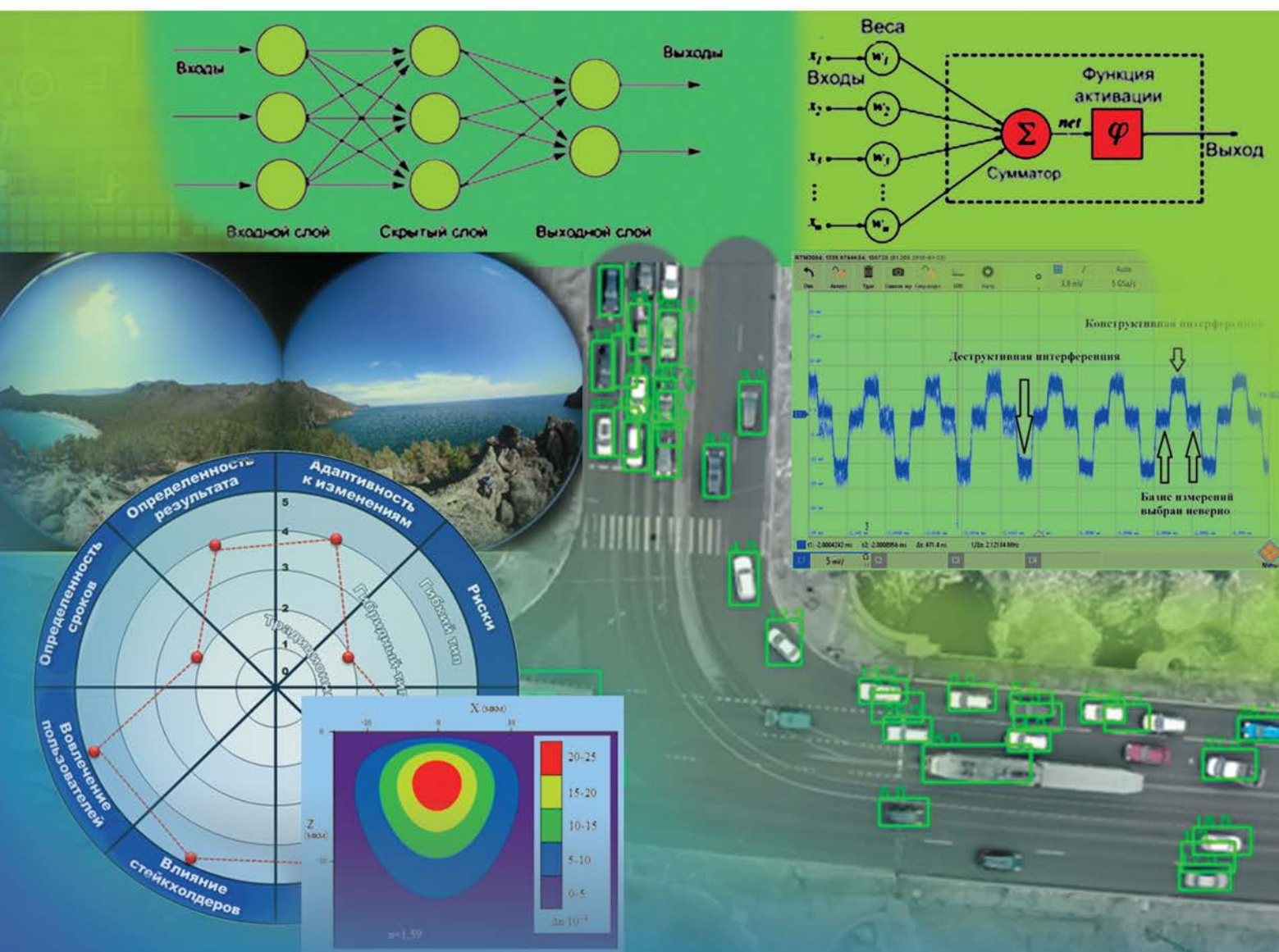


АННОТИРОВАННЫЙ СБОРНИК НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

МАГИСТРОВ

2020



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

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

Сборник трудов



Санкт-Петербург

2020

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров Университета ИТМО / под ред. д.т.н., профессора В.О. Никифорова. Сборник трудов. СПб.: Университет ИТМО. 2020. 445 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 кадров высшей квалификации.



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.

ВВЕДЕНИЕ

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

Конкурсная комиссия оценивала умение студента проводить самостоятельную творческую исследовательскую работу, профессиональную зрелость выпускника и его способность решать реальные научно-технические задачи. Конкурс проводился в целях совершенствования системы подготовки кадров высшей квалификации, в рамках реализации программы развития вуза, как Национального исследовательского университета на 2009–2020 годы.

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

Второй этап Конкурса проводился на мегафакультетах университета, где Директора мегафакультетов определили одну лучшую НИВКР магистров своего мегафакультета из числа работ лауреатов I степени предыдущего этапа. Лауреаты I степени факультетов/институтов/кластеров, не относящихся к мегафакультетам, продолжили участие в Конкурсе на заседании НТС (заключительном этапе). Таким образом, на мегафакультетах состоялось 4 Конкурса на «Лучшую НИВКР».

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

Статистические данные участия магистров в Конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители различных степеней
I	Конкурс факультетов/институтов/кластеров	147	47
II	Конкурс мегафакультетов	14	4
III	Конкурс университета	6	6

По итогам Конкурса среди магистров были определены 6 победителей на «Лучшую НИВКР университета».

Общее количество магистров, участвовавших в конкурсе на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу», составило 147 человек.

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

Основные критерии оценки работ

При оценке НИВКР учитывались следующие критерии:

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

Общие требования к материалам, представляемым на НТС

Для окончательного подведения итогов Конкурса на НТС представлялись следующие документы:

- анкета участника Конкурса;
- 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 №1653-уч от 05.08.2020 года.

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

Арефина Ирина Александровна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

студент группы №V42372с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: irina-arefina97@mail.ru

Ушакова Елена Владимировна

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: el.ushakova@gmail.com

УДК 535.34, 535.37

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ОТКЛИКОВ КОЛЛОИДНЫХ
УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
С НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА**

И.А. Арефина

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Е.В. Ушакова

Работа выполнена в рамках темы НИР №713561 «Оптические и электрические свойства гибридных наноматериалов на основе углеродных, полупроводниковых и металлических наноструктур», НИР №380130 «Светоизлучающие углеродные точки» и гранта РФФИ № 18-29-19122 «Наноструктурированные гибридные материалы на основе углеродных точек и плазмонных наночастиц для высокоэффективных эмитеров оптического излучения».

Аннотация

Работа посвящена изучению оптических свойств гибридных комплексов на основе люминесцентных углеродных точек и наночастиц золота. Были применены несколько подходов к созданию таких гибридных материалов, включая образование ковалентных связей и темплатные методы. Целью работы являлось получение оптимального протокола формирования гибридных структур, состоящих из углеродных точек и золотых наночастиц, со стабильными и улучшенными оптическими параметрами. Полученные результаты в дальнейшем помогут в решении проблем «зеленой» фотоники при создании экологически чистых материалов для оптоэлектронных устройств и их компонентов.

Ключевые слова

Углеродные точки, золотые наночастицы, локальный плазмонный резонанс, гибридные материалы, фотолюминесценция.

Развитие «зеленой» фотоники на сегодняшний день является важной глобальной задачей современной науки. С этой точки зрения углеродные точки (С-точки) обладают преимуществами перед классическими квантовыми точками (КТ), поскольку они обладают низкой цитотоксичностью и превосходными оптическими свойствами. Металлические наночастицы (МНЧ) также привлекают внимание ученых благодаря их возможности усиления локальным полем излучения люминофора. Формирование

гибридных наноструктур на основе С-точек и МНЧ позволит комбинировать их свойства.

Наибольший интерес в таких композиционных материалах представляет явление влияния поля плазмонных частиц на оптические переходы излучающих наноструктур, например, усиление фотolumинесценции (ФЛ). Усиление сигнала ФЛ становится возможным благодаря экситон-плазмонному взаимодействию, проявляющемуся в эффекте Парселла [1]. Этот эффект заключается в увеличении вероятности спонтанной излучательной рекомбинации экситонов в ближнем поле металлических наноструктур. Практическая значимость этого эффекта заключается в возможности увеличения интенсивности излучения наноструктур вместе с уменьшением времен затухания ФЛ. Однако, чтобы наблюдать увеличение ФЛ, люминофор должен быть расположен на оптимальном расстоянии от МНЧ. Это обусловлено конкуренцией следующих процессов: безызлучательного резонансного переноса энергии от люминофора к МНЧ, что приводит к тушению ФЛ, и ускорения излучательной релаксации за счет эффекта Парселла.

На первом этапе работы было проведено исследование влияния легирования атомами азота и серы на энергетическую структуру С-точек и кинетику релаксации носителей заряда, что в дальнейшем может быть использовано для контроля свойств С-точек при легировании гетероатомами. Для этого сольвотермальным методом [2] были синтезированы три образца С-точек с мочевиной, тиомочевиной и тиацетамидом в качестве источника гетероатомов, обозначенных далее, как CD-u, CD-tu, and CD-ta, соответственно. Спектры поглощения и фотolumинесценции и кинетика затухания представлены на рис. 1. Видно, что присутствие гетероатомов в С-точках может приводить к изменению их оптических свойств, в частности, к появлению новых энергетических уровней.

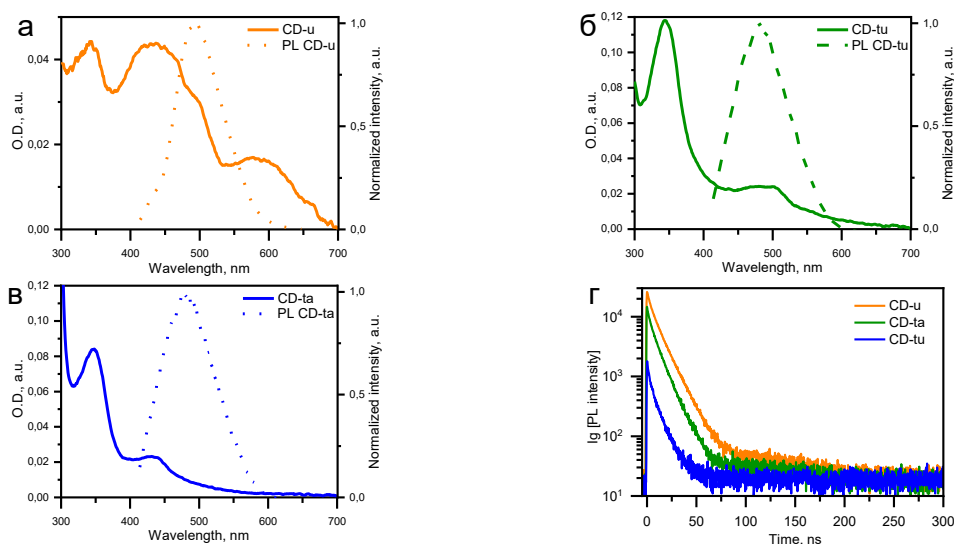


Рис. 1. Спектры поглощения и ФЛ (длина волны возбуждения 405 нм) углеродных точек CD-u (а), CD-tu (б) and CD-ta (в) и кривые затухания (г) всех образцов

Для того чтобы более детально исследовать процессы излучательной релаксации носителей заряда в синтезированных С-точках, мы провели спектрально разрешенные измерения кинетики затухания ФЛ (рис. 2а-в). Время затухания ФЛ, измеренное в узком спектральном диапазоне внутри полосы ФЛ, зависит от длины волны возбуждения. Этот факт подтверждает, что сигнал ФЛ исходит от С-точек, а не от молекул-красителей. В то же время кинетика затухания ФЛ является сложной и меняется от образца к образцу. В случае CD-ta время затухания ФЛ уменьшается с

увеличением длины волны излучения, что может быть связано с влиянием ловушечных состояний на процессы релаксации фотовозбуждения. У CD-tu время затухания ФЛ повторяет форму полос поглощения и ФЛ. Похожие зависимости наблюдались у графеновых КТ [3]. Увеличение времени затухания ФЛ у CD-u с увеличением длины волны может быть связано с безызлучательным переносом энергии фотовозбуждения внутри С-точек.

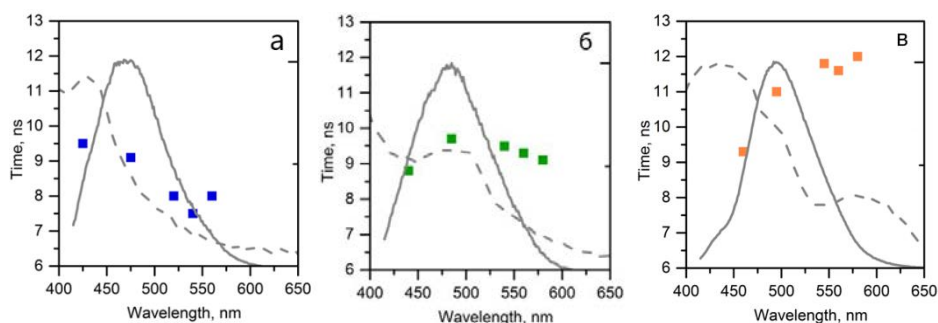


Рис. 2. Среднее время затухания ФЛ (квадраты), спектры поглощения (серая пунктирная) и ФЛ (серая сплошная) образцов CD-ta (а), CD-tu (б), and CD-u (в)

Таким образом, мы показали, что присутствие гетероатомов в С-точках приводит к изменению энергетической структуры вместе с изменением динамики носителей заряда. Однако физический механизм наблюдаемых оптических свойств требует дальнейших исследований.

До формирования комплексов, состоящих из С-точек и золотых НЧ мы были заинтересованы в исследовании их взаимодействия в коллоидном растворе. Для достижения этой цели требовалось выбрать пару С-точек и золотых НЧ, которые соответствовали условиям резонанса: перекрытие полос ФЛ и плазмонного резонанса. Были выбраны два образца С-точек с разными спектральными характеристиками для того, чтобы выявить различия во взаимодействии с золотыми НЧ в растворе. Интенсивность ФЛ обоих образцов С-точек CD-ca и CD-u уменьшилась с добавлением воды на большую величину, чем с добавлением золотых НЧ (рис. 3). Это может быть объяснено электростатическим взаимодействием между наночастицами в растворе, что привело к небольшому усилению ФЛ. Для дальнейших экспериментов были выбраны углеродные точки CD-u по причине большей области перекрытия спектров поглощения и ФЛ со спектром поглощения золотых НЧ.

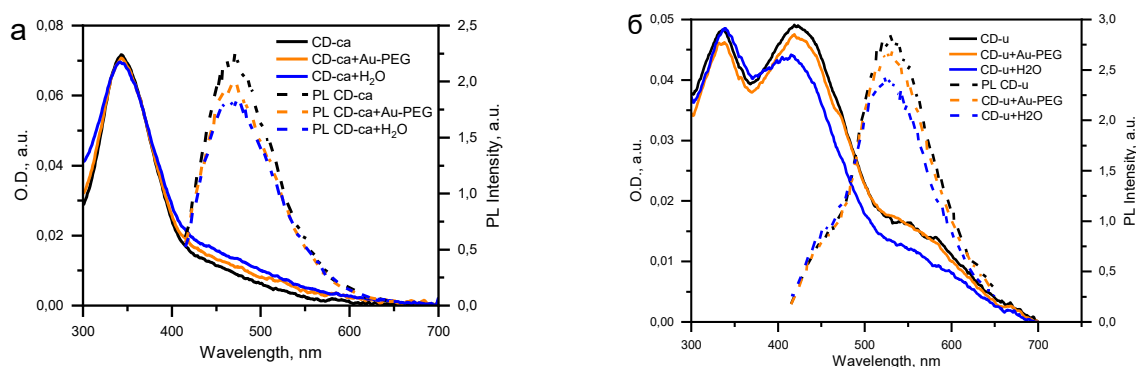


Рис. 3. Спектры поглощения и ФЛ CD-ca (а) и CD-u (б) с максимальными добавками воды и золотых НЧ

Далее мы выяснили условия усиления излучения люминесцентных наночастиц, ковалентно связанных с золотыми НЧ на примере модельной системы на основе квантовых точек с люминесценцией в зеленой (QD1) и красной (QD2) областях спектра

(рис. 4 а, б). В качестве молекул лигандов были использованы три типа меркаптокарбоновых кислот различной длины (рис 4в): 3-меркаптобензойная кислота (3-МБА), 6-меркаптогексановая кислота (6-МНА) и 11-меркаптоундекановая кислота (11-МУА). Комплексы были получены по процедуре, описанной в [4], в результате чего было получено 6 образцов коллоидных растворов комплексов КТ-МНЧ и 2 образца чистых КТ для сравнения.

Для всех серий образцов большее усиление ФЛ наблюдалось для меньшей длины молекулы лиганда (рис. 4г). Для комплексов с зелеными КТ было достигнуто усиление ФЛ в 3 раза (рис. 4д) по причине того, что спектры поглощения и ФЛ были полностью в плазмонном резонансе золотых НЧ, в то время как у QD2 область перекрытия с плазмонным резонансом была только частичная. Средние времена затухания ФЛ практически не зависят от расстояния между наночастицами в комплексах. Это указывает на то, что взаимодействие между КТ и золотыми НЧ не влияет на скорость излучательной рекомбинации КТ. Следовательно, можно предположить, что усиление в основном вызвано эффектом локального поля, который влияет на поглощение КТ. Таким образом, нами было показано, что усиление ФЛ зависит от соблюдения резонансных условий и расстояния между металлической НЧ и люминофором.

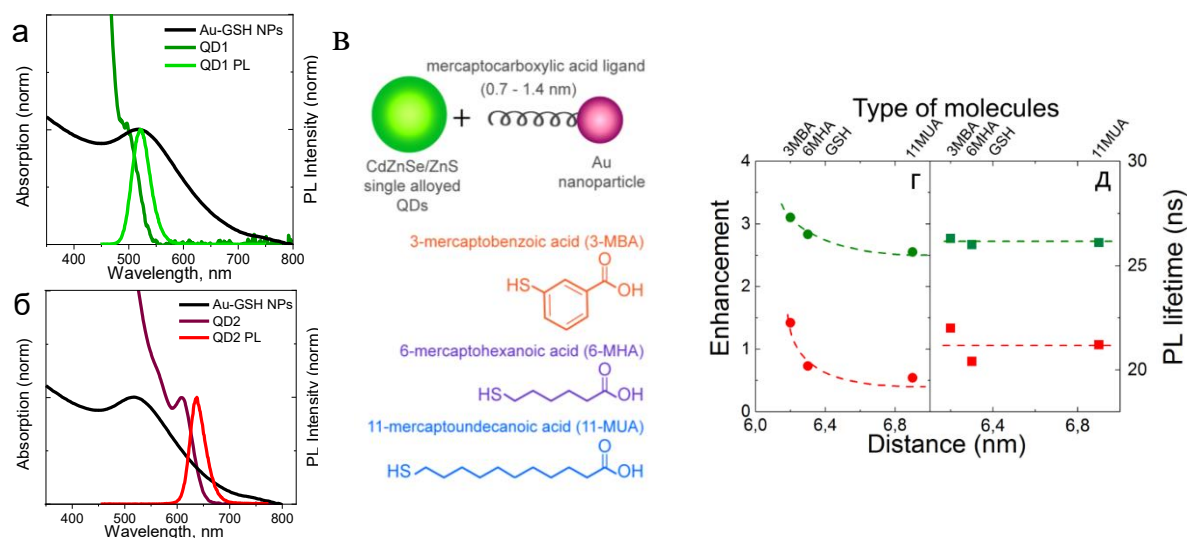


Рис. 4. Спектры поглощения и ФЛ наночастиц QD1 (а), QD2 (б) и поглощения золотых НЧ; схематическое изображение структуры комплексов и использованных меркаптокарбоновых кислот (в); зависимость сигнала (г) и времени затухания ФЛ (д) от расстояния между центрами КТ и золотых НЧ

В случае С-точек мы не можем использовать меркаптокарбоновые кислоты в качестве лигандов. Вместо этого мы можем связать частицы ковалентно с помощью реакции между 1-Этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимидом (EDC) и N-гидроксисукцинимидом (NHS). Для этого мы выбрали золотые НЧ, стабилизированные цистеамином (Au-cys) и имеющие на свободном конце цепи аминогруппу. Наличие карбоксильных групп на поверхности С-точек было подтверждено по наличию характерных полос в ИК-спектре (рис. 5а). Формирование комплексов происходило в два этапа. Сначала раствор NHS в буфере смешивался с раствором Au-cys, а раствор EDC в буфере – с раствором С-точек CD-и. Затем оба раствора смешивались при температуре 37 °С. Из спектра поглощения, представленном на рис. 5б, можно заключить, что только малая часть всех золотых НЧ прореагировала с NHS и соединилась с CD-и, так как наблюдалось очень слабое увеличение оптической плотности на длине волны 530 нм, соответствующей пику плазмонного резонанса. Интенсивность ФЛ, возбужденной на длине волны поглощения золотых НЧ,

показывает такую же тенденцию, как и при возбуждении на других длинах волн (рис. 5в).

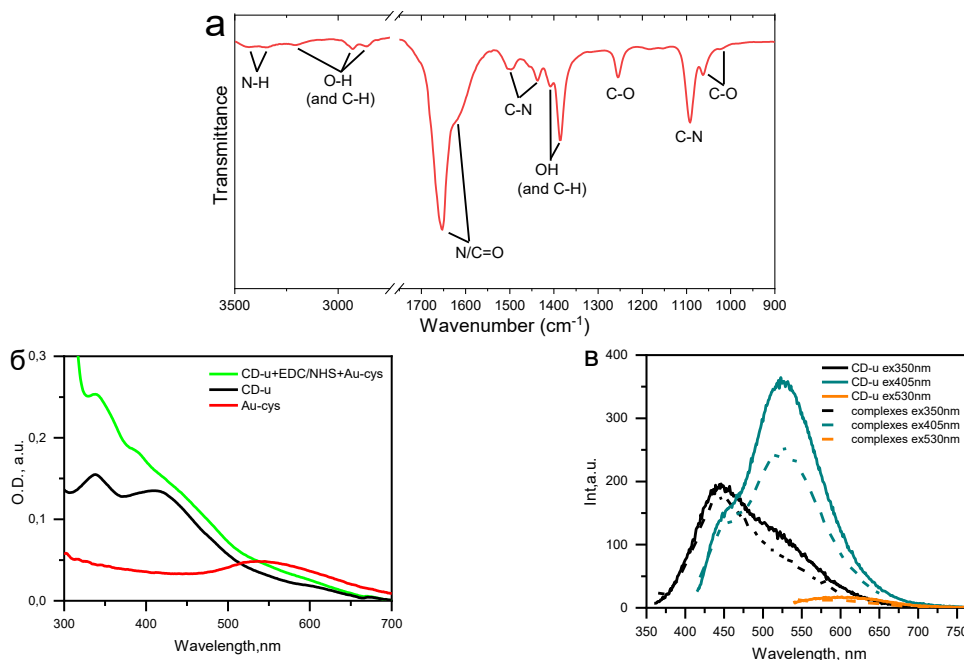


Рис. 5. FTIR спектр с химическими связями, соответствующими CD-u (а); спектры поглощения (б) и ФЛ (в) углеродных точек, золотых НЧ и комплексов

Другой подход к формированию комплексов основан на использовании матриц, в качестве которых могут выступать диэлектрические микросферы, при этом расстояние между частицами может меняться с помощью варьирования количества слоев полиэлектролитов.

До формирования комплексов с использованием микросфер, была проведена модификация поверхности С-точек полиэлектролитом поли (алиламин гидрохлорид) (РАН), содержащим аминогруппу, для дальнейшего соединения и контроля расстояния между С-точками и золотыми НЧ. РАН был использован для модификации поверхности на основе процедуры, описанной в [5]. Нанесение РАН привело к небольшому усилению ФЛ с сохранением положения полос поглощения и ФЛ (рис. 6).

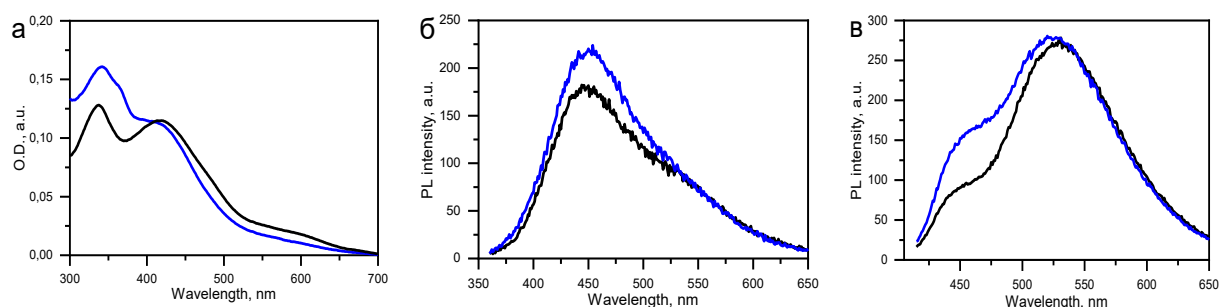


Рис. 6. Спектры поглощения (а) и ФЛ при возбуждении на 350 нм (б) и 405 нм (в) исходных углеродных точек (черные линии) и модифицированных С-точек (синие линии)

Сначала в качестве матрицы для нанесения слоев С-точек были использованы сферы карбоната кальция (CaCO₃). Для этого было реализовано 4 конфигурации с различным расположением С-точек, которые представлены на рис. 7а. Только для 4-й конфигурации, где CD-u расположены на максимальном расстоянии от микросферы

CaCO_3 , наблюдался спектр поглощения схожий со спектром поглощения исходных С-точек (рис. 7б). Во всех конфигурациях наблюдалось полное тушение сигнала ФЛ С-точек. Можно сделать вывод, что микросферы CaCO_3 не подходят для использования их в темплатном методе.

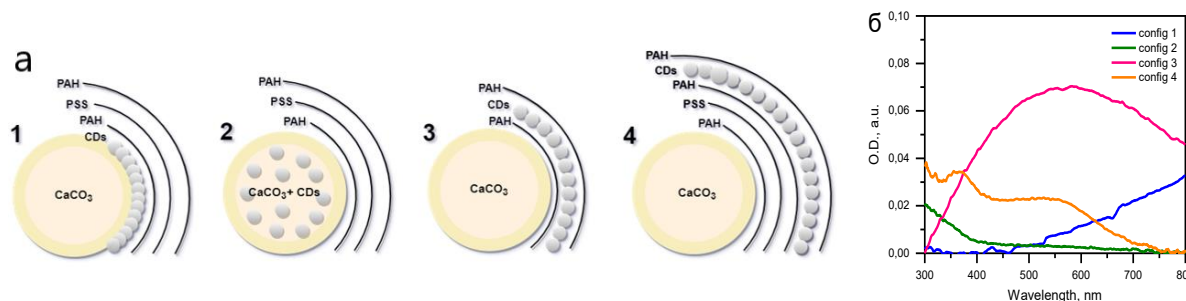


Рис. 7. Схематическое представление четырех конфигураций гибридного материала состоящего из CD-и CaCO_3 (а); спектры поглощения комплексов с различным расположением С-точек (б)

Далее мы выбрали пористый диоксид кремния (SiO_2) в качестве матрицы для получения комплексов С-точек и золотых НЧ темплатным методом. Для этого были использованы микросферы SiO_2 с синтезированными внутри С-точками. Оптические свойства исходных компонентов комплекса представлены на рис. 8а. Измерения Z-потенциала показали, что С-точки в SiO_2 (CD@SiO_2) и золотые НЧ имеют сильный отрицательный заряд. Таким образом, компоненты гибридного материала должны быть связаны посредством положительно заряженного полимера. Для достижения оптимальных оптических свойств, концентрация золотых НЧ и расстояние до С-точек варьировались. Последнее контролировалось по количеству нанесенных слоев полиэлектролита. Было получено 12 образцов с 1, 3 и 5 слоями полиэлектролитов и концентрациями золотых НЧ в диапазоне от 0.1 до 1.0 от стокового раствора.

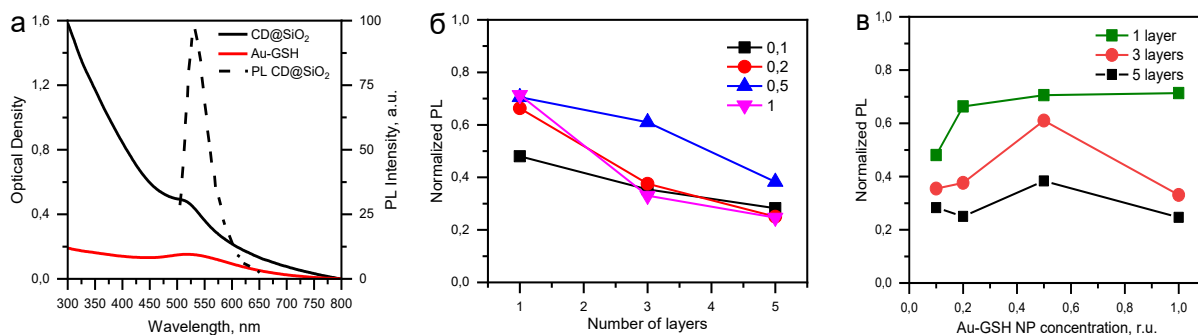


Рис. 8. Спектры поглощения и ФЛ CD@SiO_2 и поглощения золотых НЧ (а); зависимости интенсивности ФЛ от числа слоев полиэлектролитов (б) и концентрации золотых НЧ (в)

С увеличением расстояния между поверхностью CD@SiO_2 и золотых НЧ интенсивность ФЛ С-точек уменьшается. Наименьшая интенсивность ФЛ наблюдается в случае с наименьшей концентрацией золотых НЧ. Гибридные материалы с концентрацией золотых НЧ равной 0.2 и 1.0 показывают схожие зависимости изменения интенсивности ФЛ от количества слоев. Наибольшая интенсивность ФЛ зафиксирована для 3 и 5 слоев полиэлектролитов с концентрацией золотых НЧ, составляющей 0.5 от стокового раствора. Мы показали, что темплатный метод является перспективным для формирования комплексов на основе С-точек и золотых НЧ с улучшенными оптическими параметрами, так как позволяет точно контролировать расстояние и концентрацию НЧ.

Таким образом, в работе были изготовлены новые гибридные материалы на основе С-точек / НЧ золота и детально исследованы их оптические свойства. Мы показали, что легирование гетероатомов влияет не только на оптические переходы, но и на динамику носителей заряда. Также в коллоидном растворе С-точки и НЧ золота могут взаимодействовать друг с другом, что приводит к более высоким значениям интенсивности ФЛ по сравнению с образцом С-точек в воде. На модельной системе на основе полупроводниковых КТ и НЧ золота было показано, что для получения улучшенных оптических свойств гибридных комплексов важны резонансные условия и контроль расстояния между компонентами. Образование люминесцентных комплексов темплатным методом с микросферами CaCO_3 и С-точками в любой конфигурации привело к снижению их оптических характеристик. Однако подходы к образованию комплексов с использованием ковалентного связывания и с помощью мезопористых сфер SiO_2 в качестве матрицы являются многообещающими и требуют дальнейшего изучения.

Литература

1. Glazov M.M. et al. Purcell factor in small metallic cavities //Physics of the Solid State. 2011. Т. 53. №. 9. С. 1753.
2. Li D. et al. Near-infrared excitation/emission and multiphoton-induced fluorescence of carbon dots //Advanced materials. 2018. Т. 30. №. 13. С. 1705913.
3. Xiong Y. et al. Influence of molecular fluorophores on the research field of chemically synthesized carbon dots //Nano Today. 2018. Т. 23. С. 124-139.
4. Kormilina T.K. et al. Luminescence enhancement of alloyed quantum dots bound to gold nanoparticles by mercaptocarboxylic acids in colloidal complexes //Nanotechnology. 2019. Т. 30. №. 46. С. 465705.
5. Han B. et al. Polyethyleneimine modified fluorescent carbon dots and their application in cell labeling //Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2012. Т. 100. С. 209-214.

Беген Петр Николаевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

Институт дизайна и урбанистики,

студент группы № С42551,

направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика,

e-mail: peetabegen@yandex.ru

Чугунов Андрей Владимирович

Год рождения: 1956

Университет ИТМО,

Институт дизайна и урбанистики,

к.полит.н., доцент, директор Центра технологий электронного правительства,

e-mail: chugunov@itmo.ru

УДК 004.89

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОННОГО УЧАСТИЯ**

П.Н. Беген

Научный руководитель – к.полит.н., доцент А.В. Чугунов

Аннотация

В работе представлены основные результаты проектирования и разработки интеллектуального классификатора, основанного на методах машинного обучения и методах обработки естественного языка, в рамках оптимизации процедуры подачи сообщения гражданином на портал и дальнейшей проверки сообщения модераторскими службами на портале «Наш Санкт-Петербург». Приведены результаты и анализ тестирования на проверочных и реальных данных с помощью специальных метрик и показателей, определены перспективы дальнейших работ.

Ключевые слова

Классификация, машинное обучение, искусственный интеллект, обработка естественного языка, электронное участие граждан, e-participation, портал электронного участия, Санкт-Петербург.

В рамках развития таких понятий как «электронное правительство» (англ. e-government), «электронная демократия» (англ. e-democracy), «электронного участия граждан» (англ. e-participation) происходит замена устаревших форм обратной связи на новые, с помощью которых граждане получают важную социальную и политическую информацию через свободный и открытый доступ к информационно-коммуникационным технологиям (далее – ИКТ). В свою очередь, использование современных ИКТ позволяет правительствам развитых стран добиваться эффективного решения ключевых задач в сфере государственного управления. Поэтому важным и приоритетным является оптимизация государственных бизнес-процессов с помощью ИКТ в рамках оперативного и качественного процесса принятия решений.

Основной фокус данной работы направлен на оптимизацию процессов систем электронного участия граждан. В качестве примера системы был рассмотрен городской портал «Наш Санкт-Петербург», являющийся действенным и оперативным инструментом решения общегородских проблем в Санкт-Петербурге [1].

Портал «Наш Санкт-Петербург» был создан по инициативе Губернатора Санкт-Петербурга для оперативного взаимодействия жителей города с представителями органов власти Санкт-Петербурга и запущен в 2014 году. По состоянию на апрель 2020 года подано более 2,25 млн сообщений о проблемах, из них решено (т.е. дан ответ от исполнительных органов власти) более 2,2 млн сообщений (что составляет более 96% от общего числа). Количество зарегистрированных пользователей постоянно растет и на текущий момент составляет более 170 тыс. человек. Основной функциональной особенностью портала является то, что граждане могут направить сообщения о различных проблемах, связанных с ЖКХ и благоустройством города, состоянием тротуаров и дорог, нарушением земельного или миграционного законодательства, незаконными объектами торговли и строительства и др.

В ходе работы по обследованию системы и анализу процесса подачи сообщения гражданином на портал были обнаружены некоторые недостатки и проблемы, приводящие к понижению эффективности рабочей деятельности и процедуры работы с сообщениями. Основные недостатки связаны с нетривиальной классификацией сообщений – сложность действий для пользователя в формате самостоятельного выбора одной категории проблемы из 200 доступных. Согласно статистике, размещенной на сайте Администрации Санкт-Петербурга и Городского мониторингового центра, такая ситуация приводит к тому, что модераторскими службами отклоняются 20–25% сообщений (1/4 часть всех поступающих сообщений) по причине неправильного выбора категории гражданином. Также отмечено, что в связи с нарастанием числа пользователей и отправляемых ими сообщений возникает высокая нагрузка на службы модерации в области проверки сообщений, которая приводит к повышению сроков рассмотрения и отработки сообщений и несоблюдению регламента. В результате возникла задача по оптимизации вышеупомянутого процесса и повышению результативности обработки поступающих на портал сообщений.

Для того, чтобы 1) повысить результативность и продуктивность деятельности модераторских служб в области проверки и отработки поступающих на портал сообщений; 2) минимизировать риск некорректного определения категории проблемы гражданином и повысить удобство процесса подачи сообщения, совместно с группой компании «Нетрика» и СПб ГУП «Санкт-Петербургский информационно-аналитический центр» в рамках проекта по оптимизации деятельности портала «Наш Санкт-Петербург» было предложено разработать интеллектуальный классификатор сообщений граждан, включающий в себя алгоритм автоматической классификации сообщений, основанный на методах машинного обучения и методах обработки естественного языка, относящихся к технологиям искусственного интеллекта.

Выбор такого решения основан на мировом опыте использования современных ИКТ в области оптимизации сложных и рутинных процессов. В качестве технологического решения были выбраны технологии искусственного интеллекта (далее – ИИ), являющимися главным трендом развития современных ИКТ и использования в сфере государственного управления на протяжении последних 4 лет [2]. В России развитие области ИИ отражено в утвержденной указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года».

Выбранный подход к автоматизации процесса с использованием технологий ИИ позволяет гражданину не задумываться о самостоятельном выборе среди широкого ряда категорий на портале, который на данный момент состоит из 200 позиций, что приводит к минимизации риска выбора неправильной категории и снижению процент отклонения. Для модераторских служб решение позволит в автоматизированном порядке (основное решение остается за модератором) проверять тематику сообщения и

подсказывать, если пользователь ошибся с выбором, что позволит сократить время на отработку сообщений.

В качестве задачи автоматизации процесса было предложено использовать основные методы машинного обучения, используемые в работах с текстом, и методы обработки естественного языка, проанализировать их результат работы и выбрать наиболее результативные и релевантные.

Для реализации предложенного решения был разработан интеллектуальный классификатор сообщений граждан, представляющий форму веб-сервиса, ядром которого является алгоритм автоматической классификации сообщений, базирующийся на методах машинного обучения и обработки естественного языка.

Основная цель работы алгоритма классификации сообщений заключается в автоматическом определении категории проблемы с некоторой долей вероятности (выраженной в %) по тексту сообщения, поданного гражданином на портале «Наш Санкт-Петербург». При последующей проверке сообщения на основе данной доли модерирующая служба готовит окончательное решение о корректности выбора категории проблемы гражданином и производит дальнейшую работу с сообщением, согласно регламенту. Алгоритм автоматической классификации сообщений граждан схематично изображен на рис. 1.

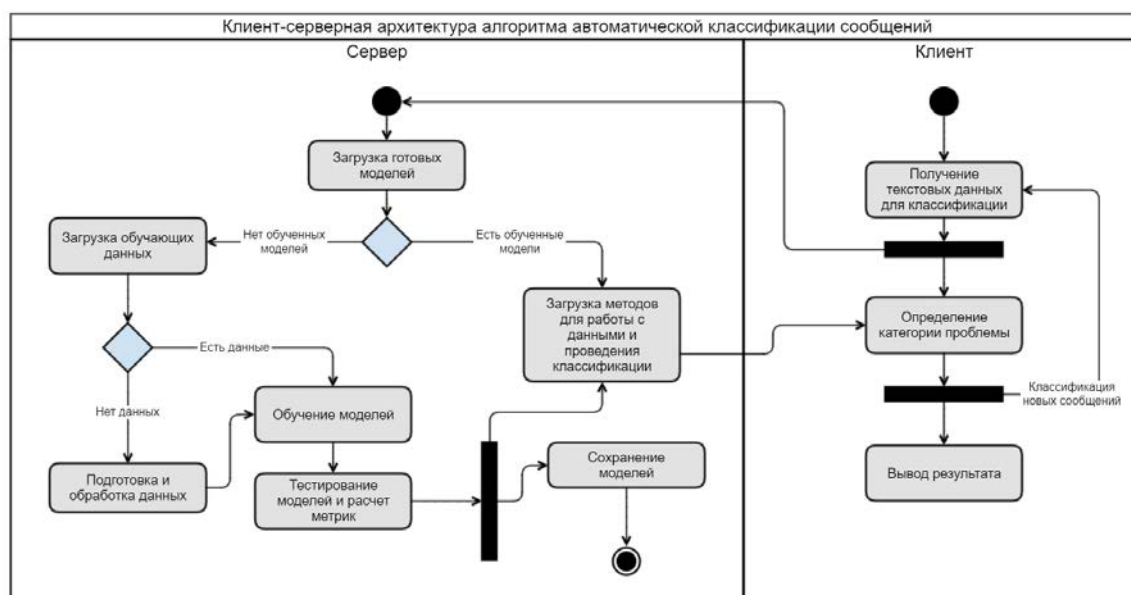


Рис. 1. Алгоритм автоматической классификации сообщений граждан (клиент-серверная архитектура)

Программная реализация алгоритма классификации сообщений велась на языке программирования Python (версия 3.6.5) с использованием открытых библиотек для машинного обучения: TensorFlow, Keras, scikit-learn. В основе алгоритма были заложены основные методы машинного обучения, которые традиционно применяются в задачах по классификации текста [3]: наивный байесовский классификатор (англ. NaiveBayesclassifier), дерево решений (англ. decisiontree), метод опорных векторов (англ. supportvectormachine, SVM) и класс искусственных нейронных сетей (англ. artificialneuralnetworks, ANN). В классе нейронных сетей рассмотрены три типа сети с разной архитектурой: сеть прямого распространения (англ. feed-forwardneuralnetwork, FFNN), сверточная сеть (англ. convolutionalneuralnetwork, CNN) и рекуррентная сеть cLSTM-блоком (англ. recurrentneuralnetworkwithlong-shorttermmemory, RNN+LSTM).

В качестве методов обработки естественного языка (англ. NaturalLanguageProcessing) применены:

- предварительная очистка данных (удаление знаков пунктуации, невидимых символов, латиницы, цифр и т.д.);
- токенизация;
- лемматизация / стемминг (в результате тестов было отдано предпочтение лемматизации);
- биграммы (т. е. фразы из 2-ух слов);
- работа со списком стоп-слов, удаление их из текста (список адресов, организаций, приветственных фраз и т.д.);
- вычисление меры TF-IDF, сокращение векторной размерности;
- формирование модели «мешка слов»;
- формирование модели «связный мешок слов» (Continuousbag-of-words) (в результате тестов предпочтение было отдано данной модели);
- формирование модели Word2Vec;
- разделение на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80% на 20%, соответственно.

Для интеграции алгоритма с основной системой портала и вынесением в отдельный независимый модуль был разработан интеллектуальный классификатор сообщений граждан в форме веб-сервиса с предоставлением RESTAPI методов доступа к алгоритму автоматической классификации сообщений. Схема основной структуры и логики работы интеллектуального классификатора сообщений на уровне концепции представлена на рис. 2. Для программной реализации интеллектуального классификатора был использован высокоуровневый фреймворк веб-разработки Django.

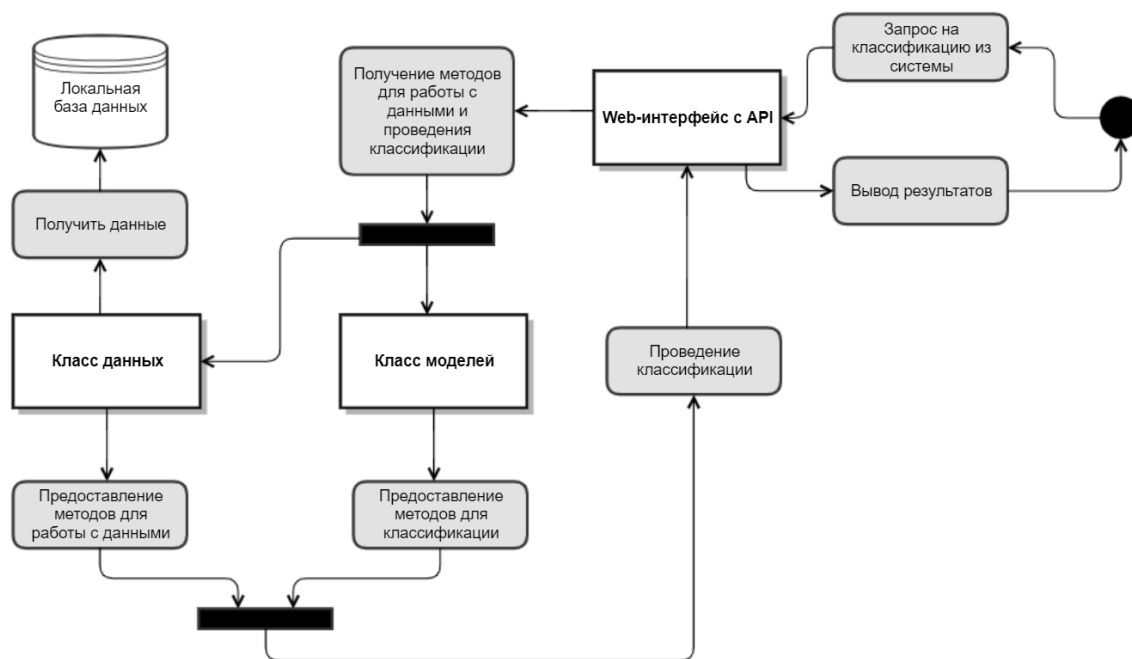


Рис. 2. Логико-структурная схема работы интеллектуального классификатора сообщений

Разработанный интеллектуальный классификатор позволяет в асинхронном режиме автоматически определять категорию проблемы на основе текста сообщения и предоставлять результат для гражданина и модерлирующих служб в виде

ранжированного списка из трех наиболее возможных категорий с указанием процента точности определения.

Обучение методов алгоритма автоматической классификации сообщений производилось на размеченном (эталонными считались метки модераторов) и предварительно подготовленном наборе данных размером 1,5 млн сообщений, полученных из локальной копии базы данных портала «Наш Санкт-Петербург».

Для каждого метода в результате конечной итерации обучения получены метрики Precision, Recall, F-score [4] (являющаяся средним гармоническим между точностью (Precision) и полнотой (Recall)), которые показывают некоторую долю уверенности (точности) или степень результативности определения категории проблемы, выраженную в %. Итоговые результаты обучения представлены в таблице.

Наивысшую долю уверенности (F-score) показала сверточная нейронная сеть (CNN) – почти 83% точности определения категории проблемы на основе текста сообщения. Наихудшие показатели отмечены у наивного байесовского классификатора – чуть более 65%.

Таблица

Результаты обучения с использованием различных методов

Метод машинного обучения	Precision (%)	Recall (%)	F-score (%)
Сеть прямого распространения (FFNN)	82.0	81.7	81.893
Сверточная нейронная сеть (CNN)	82.3	81.6	82.990
Рекуррентная нейронная сеть с LSTM-блоком (RNN+LSTM)	80.2	81.4	80.950
Наивный байесовский классификатор	65.0	67.0	65.176
Дерево решений	67.9	65.0	67.643
Метод опорных векторов (SVM)	71.0	70.1	71.008

Также был проведен более точечный анализ метрик по каждой из представленных 200 категорий. Наиболее популярными категориями проблем, по которым было подано наибольшее количество сообщений, стали «Незаконное размещение информационной и (или) рекламной конструкции на территории Санкт-Петербурга» (60945 сообщений), «Несанкционированные надписи/ объявления на стенах дома» (56035 сообщений) и «Неудовлетворительное состояние парадной» (55045 сообщений). Для этих категорий модели, основанные на нейронных сетях, показали более 95% точности определения, что связано с большим и разнообразным объемом обучающих примеров по сравнению с другими категориями. Традиционные методы для данных категорий показали менее 80% точности.

Аналогично были отмечены самые непопулярные у жителей категории проблем, по которым было подано не более десятка сообщений от граждан: «Отсутствие сестринского поста в стационарном лечебном учреждении» (10 сообщений), «Герметизация стыков стеновых панелей» (9 сообщений) и «Шум от инженерных сетей и оборудования» (5 сообщений). Соответственно для этих категорий проблем модели показывали неадекватные показатели обучения (0 или 100%), что коррелирует с крайне низким количеством данных для обучения. Для такого случая рекомендовано либо дополнить данные категории новыми обучающими примерами, утвержденными модераторскими службами, либо объединить данные категории с наиболее близкими по контексту на основе модели Word2Vec.

Также для проверки результативности работы разработанного интеллектуального классификатора проведено тестирование на основе новых реальных данных, поступивших в период с 3 по 16 июня 2019 года. В качестве основного метода

классификации были использованы сверточные нейронные сети (CNN), показавшие почти 83% точности определения категорий при обучении. На основе анализа результатов проделанной операции отмечено, что интеллектуальный классификатор показал 95% точность определения категории проблем в сообщениях за указанный период. Таким образом, применение интеллектуального классификатора на практике помогло снизить процент отклонения сообщений по причине неверно выбранной категории с 20–25% до 5%.

Разработка решения была завершена в 2019 г., в марте 2020 г. интеллектуальный классификатор был внедрен в программную инфраструктуру портала «Наш Санкт-Петербург» в рамках запуска тестового режима.

В ходе теоретических расчетов времени на обработку одного сообщения (без учета времени на обработку ответов от исполнительных органов власти) у модераторской службы в среднем уходит до 4 минут (до использования решения). Разработанное решение позволяет сократить время обработки сообщения в области проверки корректности выбора категории до 3 минут (т.е. на 25%).

Дальнейшим направлением развития данной темы является возможность применения разработки в проектах развития информационных систем электронного взаимодействия граждан с органами власти, которые обеспечивают обратную связь в экосистеме «Умного города». Одним из примеров ключевых задач по развитию данной экосистемы является необходимость создания единого и автоматизированного классификатора объектов городского хозяйства. Создание такого классификатора на основе технологий искусственного интеллекта позволит снизить трудозатраты при классификации большого множества объектов, и повысить скорость получения результатов для обеспечения оперативного процесса принятия решений.

Литература

1. Чугунов А.В., Рыбальченко П.А. Развитие системы электронного взаимодействия граждан с властями в Санкт-Петербурге: опыт портала «Наш Петербург»: 2014-2018 гг. // Информационные ресурсы России. 2018. № 6. С. 27–34.
2. Искусственный интеллект (ИИ) // TAdviser. Государство. Бизнес. ИТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/a/202007> (дата обращения: 01.07.2020).
3. Aggarwal C.C. Data Classification: Algorithms and Applications. Text Classification. – Chapman & Hall/CRC. 2014. 705 p.
4. Derczynski L. Complementarity, F-score, and NLP Evaluation // Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation. 2016. P. 261–266 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.aclweb.org/anthology/L16-1040> (дата обращения: 02.07.2020).

Иванов Лев Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

студент группы № W42061,

направление подготовки: 16.04.03 – Технологии сжиженного природного газа,

e-mail: levladiv@mail.ru

Баранов Александр Юрьевич

Год рождения: 1956

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

д.т.н., профессор,

e-mail: abaranov@corp.ifmo.ru

УДК 629.556

**КРИОГЕННАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ СПГ ДЛЯ РЕЧНЫХ
ТАНКЕРОВ-ГАЗОВОЗОВ**

Л.В. Иванов

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Ю. Баранов

Аннотация

В работе рассматривается концепт речного-танкера газовоза, используемого для транспортирования сжиженного природного газа (СПГ) для нужд автономной газификации отдаленных северных населенных пунктов. Определены корпусное решение судна, тип и конструкция системы хранения груза, параметры теплового ограждения. Проведено математическое моделирование параметров эксплуатации криогенной системы и выполнена оптимизация режимов ее работы.

Ключевые слова

Малотоннажный танкер, бункеровка СПГ, автономная газификация, CCS, танк типа С, напыляемая изоляция.

Топливная логистика в северо-восточной части России организована крайне нерационально. Выбор рациональной схемы для снабжения потребителей СПГ является важной технико-экономической задачей развития внутреннего рынка энергоносителей Российской Федерации. В настоящее время отдаленные северные населенные пункты снабжаются дизельным топливом (ДТ). Подобная схема доставки топлив носит название «Северный Завоз». Главным недостатком этой системы является крайне большое расстояние между местом производства ДТ и местом его потребления. СПГ же уже производится в северных районах, что позволяет значительно снизить длину плеча доставки.

Из-за географических особенностей северо-восточных регионов России, с низкой плотностью населения и большим удалением населенных пунктов друг от друга наиболее рациональным видом транспорта является водный транспорт.

СПГ предполагается доставлять по магистральным сибирским рекам: Оби, Енисею и Лене. В Ямало-Ненецком Автономном округе (ЯНАО) водным транспортом могут быть газифицированы населенные пункты в акватории Обской и Тазовской губы. Дальнейшая газификация в Ханты-Мансийском Автономном округе, Томской и Тюменской областях нерациональна, так как населенные пункты, находящиеся на побережье уже газифицированы или входят в планы газификации на ближайшие годы.

Источником СПГ выступает существующий завод ЯмалСПГ. Прогнозируемый объем потребления СПГ в ЯНАО составляет 24256,67 т/год [1].

В Красноярском крае источником СПГ будет перевалочных хаб-накопитель в Дудинке, куда СПГ будет доставляться с завода ЯмалСПГ. Посредством водного транспорта можно газифицировать группу северных районов. Группа центральных районов может быть газифицирована традиционным трубопроводным транспортом с Имбинского месторождения. Группа районов вокруг Красноярска уже входит в планы на газификацию. Прогнозируемый объем потребления СПГ по этому направлению составляет 60100,6 т/год.

В Якутии по реке Лене и ее притоку Алдану автономно газифицированы могут быть населенные пункты в заречных улусах. Группа центральных улусов может быть газифицирована отводами от магистрального трубопровода «Сила Сибири». Источником СПГ будет выступать будущий завод Якутский ГПЗ в городе Ленск. Совокупное потребление СПГ по этому направлению составляет 30224 т/год.

Для концепта речного танкера класса-река море в качестве корпусного решения был выбран корпус танкера «Ленанефть Проект 621», поскольку этот корпус уже адаптирован к волновым и ледовым условиям навигации по сибирским рекам. В настоящее время этот танкер не может эксплуатировать из-за несоответствия нормам безопасности МАРПОЛ для малых танкеров дедвейтом меньше 5000 т. В случае модернизации существующих судов этого типа можно быстро нарастить газоналивной флот России. А в случае строительства новых судов – можно сэкономить используя готовое корпусное решение.

Судовые системы хранения СПГ бывают 4 основных типов:

- мембранные;
- танки типа А;
- танки типа В;
- танки типа С.

Мембранные хранилища непригодны для эксплуатации при неполном заполнении из-за слошинга (волны СПГ внутри криогенного танка). Поэтому невозможно их применения в существующих условиях. Танки типа А очень тяжелые, поскольку их конструкция предусматривает полный вторичный барьер. Танки такого типа не нашли большого применения. В последние годы был пресс-релиз новой системы танков типа А – LNTA-BOX, однако пока не построено ни одного судна, использующего их. Танки типа В бывают двух видов: сферические танки Moss и призматические танки IHISPB. Эти танки крайне сложны в производстве и при их выборе могут возникнуть проблемы с лицензированием этих систем. Наиболее рациональными являются танки типа С. Они применяются на всех существующих малых газоналивных танкерах. Они представляют собой сосуды под давлением и из-за толстой стенки слошинг не представляет для них опасности. В России уже производятся аналогичные криогенные резервуары для железнодорожной перевозки сжиженных газов [2].

Объем танков определяется при помощи интерполяции зависимости «дедвейт судна – объем танков». Каждая точка на графике соответствует существующему малому танкеру с танками типа С. График зависимости представлен на рис. 1.

По графику определено, что для корпуса «Ленанефть Проект 621» с дедвейтом 2245 т суммарный объем танков СПГ составляет 3000 м³. Согласно классификационному обществу Lloyd's Register в этом случае рекомендовано использовать 2 цилиндрических танка типа С.

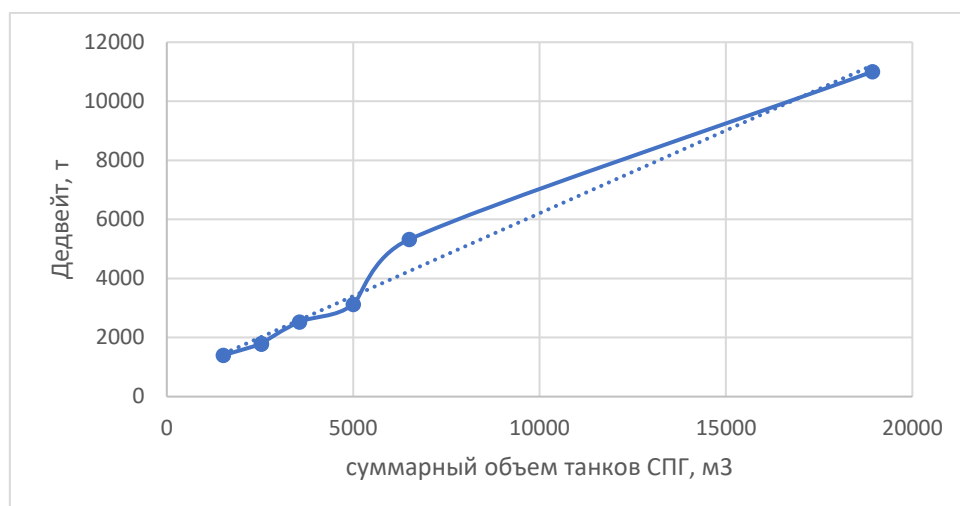


Рис. 1. Зависимость объема танков от дедвейта судна

Исходя из среднего удельного веса танков типа С ($0,076 \text{ т/м}^3$) и геометрических параметров трюмного пространства были определены конструкционные параметры танка. Диаметр полусферических крышек – 9 м. Длина цилиндрической части танка – 20 м. Толщина полусферической и цилиндрических частей 10 и 20 мм соответственно. В качестве материала изготовления танка принимается российский аналог стали SUS304L, из которой чаще всего изготавливаются подобным танки – 08X18H10. Максимально допустимое внутренне избыточное давление паров СПГ определяется по формуле [3]:

$$p = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 159,6 \cdot 0,95 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{9000 + 20} = 0,67 \text{ Мпа} \quad (1)$$

Тепловое ограждение для танков типа С бывает трех видов:

- Вакуумная изоляция;
- Газозаполненная изоляция в виде сэндвич-панелей;
- Газозаполненная напыляемая изоляция.

Вакуумная изоляция применяется только для малых топливных танков. Газозаполненная изоляция в виде сэндвич-панелей не нашла большого распространения из-за технологических трудностей крепления сэндвич-панелей непосредственно к корпусу металла. Наиболее рациональным типов изоляции является напыляемая изоляция на основе пенополиуретана. Она наносится непосредственно на корпус танка и не образует тепловых мостов и несплошностей. Поверхность напыленной пены покрывается слоем праймера.

Для моделирования режима работы криогенных танков составлена математическая модель. Основу математической модели криогенного хранилища составляет уравнение энергии для жидкой и паровой фракции. При этом энтальпия внутри этого объема является функцией от внутренних источников q_v и теплоты, подводимой в этот элементарный объем по трем осям q_x , q_y и q_z :

$$\rho_{жс} \cdot \frac{dh_{жс}}{d\tau} = \frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} + \frac{dq_z}{dz} + q_v \quad (2)$$

Режим работы танков типа С – бездренажный. Поэтому слагаемые по элементарным осям равны нулю. Распределенные источники теплоты складывается из

теплопритока из окружающей среды q_{oc} и теплоты, поглощаемой при испарении жидкости:

$$q_v = q_{oc} + \frac{dg_{ж}}{d\tau} \quad (3)$$

Методом замены переменных и получена упрощенная запись уравнения:

$$\rho_{ж} \cdot \frac{\Delta h_{ж}}{\Delta \tau} = q_v \quad (4)$$

Отсюда получается алгебраическое выражение пригодное для вычисления энтальпий жидкости в следующий момент времени:

$$h'_{ж} = h_{ж} + \frac{q_v \cdot \Delta \tau}{\rho_{ж}} \quad (5)$$

В тех случаях, когда новое значение энтальпии жидкости, оказывается выше энтальпии насыщенной жидкости выполняется расчет потерь жидкости за счет испарения. Количество потерянной жидкости вычисляется с учетом удельной массы жидкости и отношения к разности энтальпий насыщенной жидкости, отнесенной к теплоте парообразования жидкого СПГ при данном давлении. h'' – это давление насыщенных паров при текущем значении давления пара $h'' = f(P_n)$.

$$\Delta g_{ж} = g_{ж} \cdot \frac{(h'_{ж} - h)}{h'' - h'} \quad (6)$$

После того, как будут определены потери жидкости от испаряемости, вычисляется масса жидкости на новом временном слое:

$$g'_{ж} = g_{ж} - \Delta g_{ж} \quad (7)$$

По известной плотности жидкой фракции $\rho_{ж} = f(P_n)$ рассчитывается удельный объем занимаемой жидкостью на новом временном слое:

$$v'_{ж} = g'_{ж} / \rho_{ж} \quad (8)$$

Объем, который будет занимать пар на новом временном слое:

$$v'_n = 1 - v'_{ж} \quad (9)$$

Расчетное значение потерь жидкости от испаряемости позволяет определить количество пара, которое будет находиться в паровом пространстве на новом временном слое:

$$g'_n = g_n + \Delta g \quad (10)$$

По массе пара же рассчитывается плотность пара на новом временном слое:

$$\rho'_n = \frac{g'_n}{v'_n} \quad (11)$$

Для того, чтобы определить текущее давление паров СПГ используется матрица давлений, которая описана зависимость плотности от давлений в интервале $0,1 \leq P_i \leq 2$ МПа.

Сравнивая новое значение плотности пара в паровом пространстве с табличными значениями плотности паров при различных давлениях, выбираются значения давлений, при котором разница расчетного давления паров и табличного значения минимальна $\Delta_{min} = \rho'_n - \rho_i$. Шаг $\Delta P_i = 0,001$ МПа. На следующем временном шаге в паровом пространстве устанавливается новое давление: $P'_n = P_i$

После того, как вычислено новое значение давления в паровом пространстве – происходит присвоение новых значений переменным. Если произошло испарение жидкости, $\Delta g_{жс} > 0$, то энтальпии жидкости присваивается значение энтальпии насыщенной жидкости: $h_{жс} = h'$. Давление пара устанавливается равным давлению определенному по новому значению плотности пара $P_n = P'_n$

Для расчета изменения энтальпии паров используется уравнение энергии паровой фракции:

$$\rho_n \cdot \frac{\partial h_n}{\partial \tau} = \frac{\partial q_y}{\partial y} + q_v \quad (12)$$

Уравнение энергии паровой фракции вычисляет изменение энтальпии паров с учетом подвода теплоты из ОС и количество теплоты, перенесенное с парами жидкой фракции, проникающих в паровое пространство. Используя метод замены производных конечными разностями, преобразуем уравнение к алгебраическому виду:

$$\rho_n \cdot \frac{h_n}{\Delta \tau} \approx \frac{\Delta q_y}{\Delta y} + q_v \quad (13)$$

где Δq_y – это количество теплоты, внесенное насыщенными парами в паровое пространство: $\Delta q_y = \Delta g \cdot (h'' - h_n)$.

Ранее было указано, что большая толщина стенки и высокое качество контакта между жидкой фракцией и стенкой приводит к тому, что стенка сосуда выполняет функции экрана, т.е. жидкость отводит на себя все теплопритоки, проникающие сквозь изоляцию. Поэтому для паровой фазы принимается, что теплота от внутренних источников равна нулю и, соответственно, так как нет теплопритоков из ОС: $q_v = q_{oc} = 0$.

Теплоприток от окружающей среды определяется по уравнению Фурье для многослойной стенки:

Цилиндрическая стенка:

$$q_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \cdot \ln \frac{d_4}{d_3}} \quad (14)$$

Полусферическая стенка:

$$Q = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_4)}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1 \cdot d_1 \cdot d_2} + \frac{\delta_2}{\lambda_2 \cdot d_2 \cdot d_3} + \frac{\delta_3}{\lambda_3 \cdot d_3 \cdot d_4} \right)} \quad (15)$$

Анализ времени бездренажного хранения при различной толщине тепловой изоляции и различном уровне первоначального заполнения (рис. 2).

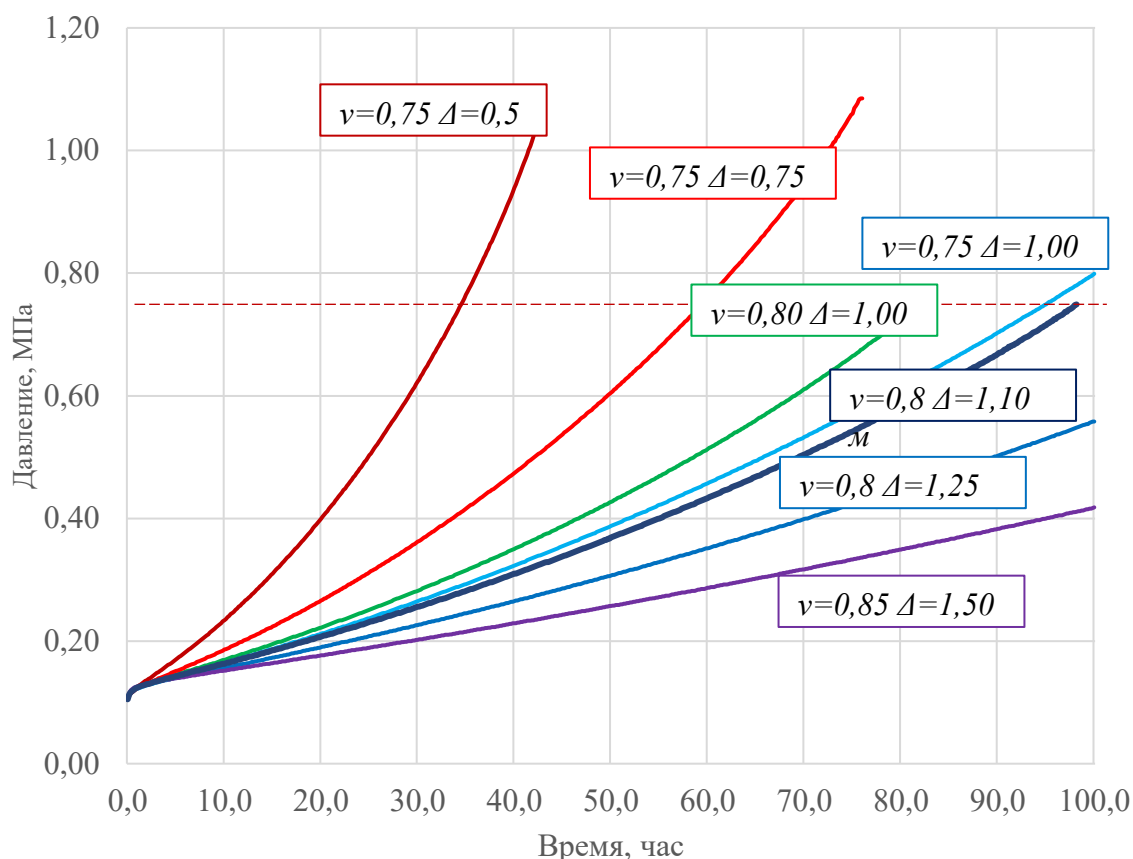


Рис. 2. Результаты моделирования времени бездренажного хранения

В нормативной документации приведена методика, по которой определяется уровень заполнения танка. Он определяется по формуле [4]:

$$Ll = Fl \cdot \frac{\rho_{min}}{\rho_{max}} = 0,98 \cdot \frac{371,75}{423,73} = 0,86,$$

где Fl (*filling limit*) – максимальный уровень заполнения танка 98%, ρ_{min} – минимальная плотность жидкой фракции СПГ (достигается при максимальном избыточном давлении паров СПГ), кг/м³; ρ_{max} – максимальная плотность жидкой фракции (в момента загрузки, при нулевом избыточном давлении паров СПГ), кг/м³.

При перевозке СПГ на большие расстояния загрузка до фиксированного уровня не рациональна. В случае аномально длительного перехода возрастает вероятность перехода в экстремальный режим работы емкости. А в случае короткого перехода емкость можно было бы использовать в большей мере.

Изменяя уровень первоначального заполнения, можно добиться максимально эффективной эксплуатации криогенных резервуаров (рис. 3).

Однако подобный подход, с фиксированным уровнем заполнения танка не является оптимальным. В случае длительного перехода – давление превысит максимально допустимое и часть пара будет сброшено, а в случае короткого перехода – давление не успеет достигнут максимально допустимого, что означает, что за рейс могло быть перевезено большее количество СПГ. Результаты моделирования для перегонов разной длины приведены в таблице.

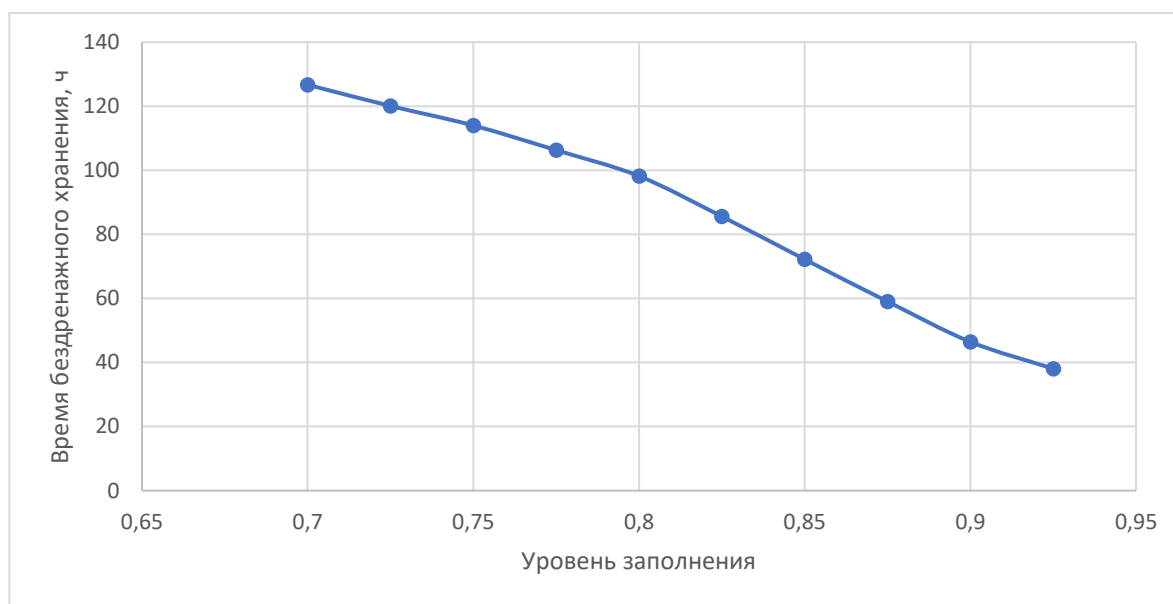


Рис. 3. Зависимость времени бездренажного хранения от начального уровня заполнения танка

Таблица

Оптимизация режимов работы криогенной системы

Рассматриваемый перегон	Время транспортирования, час	Оптимальный уровень начального заполнения жидкостью	Масса возможных потерь СПГ из-за превышения давления, т	Дополнительная масса СПГ, т
Якутск - Тикси	94,4	0,807	2,062	—
Дудинка - Новоназимова	82,5	0,832	2,062	—
Дудинка - Бор	65,2	0,860	—	—
Якутск - Жиганск	44,5	0,886	—	31,2
Сабетта - Панаевск	35,6	0,896	—	43,2
Дудинка - Игарка	15,4	0,915	—	66
Сабетта - Сёяха	7,6	0,922	—	74,4

Для больших расстояний экономическая эффективность определяется по массе предупрежденных потерь СПГ. Для коротких перегонов – экономический эффект определяется дополнительной массой перевезенного СПГ на километр.

В работе проведен анализ перспектив использования водного транспорта для проведения автономной газификации отдаленных северных населенных пунктов. Наиболее рационально газифицировать таким образом населенные пункты в акватории Обской и Тазовской губы ЯНАО, северных районов Красноярского края и заречных улусов Якутии. В качестве судна выбрано корпусное решение танкера «Ленанефть Проект 621». В рамках проекта принята установка двух цилиндрических танков типа С

общей вместимостью 3000 м³. Тепловое ограждение – напыляемая пенополиуретановая изоляция толщиной 1,1 м. Также проведена оптимизация режимов эксплуатации судовых криогенных резервуаров.

Литература

1. Иванов Л.В., Баранов А.Ю., Плужникова Д.В. Перспективы использования водного транспорта СПГ для автономной газификации отдаленных регионов // Газовая промышленность – 2020. № 2(796). С. 52–58.
2. Иванов Л.В., Баранов А.Ю. Конструкционный анализ типов корпусов криогенных барж-резервуаров хранения СПГ // Морской вестник – 2020. № 1(73). С. 17–20.
3. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. Введен 08.01.2018 М.: Стандартиформ. 2019. 56 с.
4. DNVGL-CG-0135 Liquefied gas carriers with independent cylindrical tanks of type C – 2016. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CG/2016-02/DNVGL-CG-0135.pdf> (дата обращения 20.06.2020).

Капитонова Екатерина Андреевна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №42751,

направление подготовки: 27.04.05 – Инновационные транспортные технологии,

e-mail: kapitonova.ea_itmo@mail.ru

Новожилов Михаил Владимирович

Год рождения: 1985

Университет ИТМО,

факультета технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н.,

e-mail: nmv@orgp.spb.ru

УДК 681.518

**ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ВЫЯВЛЕНИЯ
И ОЦЕНКИ ТОЧЕК ПРИТЯЖЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ**

Е.А. Капитонова

Научный руководитель – к.э.н. М.В. Новожилов

Работа выполнена в рамках темы НИР №618279 «Формирование транспортной модели выявления и оценки точек притяжения пассажиропотоков».

Аннотация

Фундаментальная задача, которую геоинформационные системы все чаще предполагают решить с помощью инновационных возможностей и различных функций, заключается в интеграции и обмене информацией во всем ее разнообразии. Именно поэтому данная технология получила широкое распространение практически во всех сферах, таких как экономическая, исследовательская, административная и конечно в повседневной жизни обычных людей.

Ключевые слова

Геоинформационные системы, транспорт, эффективность, транспортная доступность, точки притяжения пассажиров.

Одной из важных характеристик транспортных систем является широкое разнообразие и расширение сетей, в результате чего транспортный сектор является одной из главных областей использования геоинформационных систем (ГИС). Исходя из того, что ГИС работают с географическими данными они являются лучшей платформой как для решения отдельной задачи, так и целого комплекса задач в области транспорта. Это широкий спектр активов и средств, разветвленные сети, мультимодальные логистические и логистические цепочки для выполнения задачи по доставке товаров и людей. Они используются в управлении, проектировании, строительстве, обслуживании, развитии и эксплуатации транспортных систем, мониторингом и получением ситуационного изображения, навигацией с поиском объектов и построением идеальных транспортных маршрутов, задачами разработки и управления на уровнях муниципальных, региональных и национальных и многое другое.

Одним из важных направлений является координация дорожного движения, анализ транспортных потоков, безопасность дорожного движения и анализ дорожно-транспортных происшествий, а также защита важных транспортных инфраструктур.

Еще одно направление относится к распространенным, это информационные услуги по предоставлению сведений населению о дорогах, маршрутах, расписаниях.

Формирование рациональной системы организации пассажирских перевозок и эффективного использования транспортного парка не представляется возможным без тщательного изучения свойств изменений пассажиропотоков в зависимости от различных факторов. Изучение структуры, источников и характеристики геолокационных данных пассажирских перевозок позволяет выявить характерные особенности пассажиропотоков и является одним из основных направлений эффективного прогнозирования пассажиропотока.

Около 80-90% существующей информации включает в себя геоинформационные данные, содержат в себе сведения о распределении объектов в пространстве или по территории объекта, явлениях и процессах. Работа именно с такими данными, имеющие координатную привязку и является сущностью технологии ГИС [1].

Таким образом, основной отличительной чертой ГИС по сравнению с другими информационными системами является тот факт, что все объекты и явления, моделируемые в географических информационных системах, связаны с пространственными критериями и позволяют оценивать и анализировать эти объекты по отношению к другим пространственно определенным объектам. Каждую точку, представленную в ГИС, можно изучить, а именно получить дополнительную информацию из свойств объекта.

При исследовании транспортных потоков применяются различные информационные системы (ИС), которые позволяют анализировать огромное количество информации. Главными атрибутами характеристик данных является определение состава, сбор, систематизация и предварительный анализ исходных данных, в зависимости от метода обработки. Исходя из этого, одной из составных частей технологий являются алгоритмы работы с исходными данными [2].

Получать исходные данные для анализа можно с помощью систем сбора данных по транспорту на федеральном, региональном и местном уровнях. ИС имеют функционал не только для сбора, систематизации и хранения полученной информации, но и позволяет использовать её для упорядочивания данных и проводить требуемые исследования.

В настоящее время статистическая информация на уровне муниципального образования, города, района и т.п. необходима для стратегического планирования развития территории в различных направлениях.

Для анализа пассажиропотоков были использованы данные полученные от СПб ГКУ «Организатор перевозок» [3] и геосервиса NextGis [4], который также предоставляет в использование, открытую, бесплатную, на русском языке ГИС, именно данная ГИС была использована в работе, так как ее функции отвечали всем предполагаемым требованиям.

Для анализа движения пассажиропотоков на остановках были получены данные валидации о количестве входящих и выходящих пассажиров на каждой остановке Санкт-Петербурга в будние и выходные дни.

В данных СПб ГКУ «Организатор перевозок» содержится информации о входящих и выходящих пассажирах в зависимости от времени (с 5:30 утра до 00:45 ночи), но не было географических данных по каждой остановке, поэтому необходимо было структурировать данные из двух файлов в один, для того чтобы у каждой остановки имелись id остановки, название остановки, вид транспорта, рассматриваемый день (будни/выходные) и географические данные. Данные были по пассажирообороту

были использованы за октябрь 2019 года в будни и выходные дни. Далее вычислены пиковые нагрузки с наибольшим пассажиропотоком в будние и выходные дни, путем сложения данных по входам и выходам и выявлением резкого повышения пассажирооборота в течение дня. В будние дни это с 8 до 9 утра и с 17 до 18 вечера, в выходные дни присутствует только один пик с 14 до 15 часов.

Все выше перечисленные данные будут использованы при решении задачи разработки алгоритма визуализации данных пассажиропотоков наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ) и оценки транспортной доступности территорий Санкт-Петербурга.

Транспортная система одна из главных элементов развития, как целой страны, так и отдельного города. Транспортная сеть оказывает большое влияние на форму всей территориальной общественной системы. Транспортная система в аспекте городского пассажирского транспорта (ГПТ) в данном случае не представляет исключения из вышеперечисленного.

Благодаря эффективной городской транспортной системы определяются формы и границы районов и микрорайонов. Несомненно, велико влияние транспорта на географический и урбанистический характер роста городских агломераций и прилегающих территорий. Установлена прямая зависимость транспортной доступности и транспортно-географического расположения городских районов с расположенными на их территории социально-значимыми, жилыми, производственными, торговыми и коммунальными объектами от конфигурации транспортных коммуникаций.

Общественный транспорт является одним из главных факторов, так как именно он значительно определяет мобильность населения городов. Еще определяет формы и границы городских зон и влияет на географические направления роста городов.

От вида маршрутной сети общественного транспорта зависит транспортная доступность населения и географическое расположение районов.

Доступность объектов иллюстрирует начальный уровень транспортной доступности. Наиболее это принципиально для больших населенных пунктов, так как время передвижения людей к рабочему месту, месту проживания и обслуживания определяет обычно их территориальную застройку. Эти показатели отображают отсутствие или наличие доступности данных услуг.

Систему ГПТ Санкт-Петербурга формируют электрический (трамваи и троллейбусы) и автомобильный транспорт. В настоящее время существует 42 трамвайных маршрутов, 50 троллейбусных маршрутов, 687 автобусных маршрутов.

В масштабе исследования доступность остановок в г. Санкт-Петербург была рассчитана на основе требований к удаленности остановок по СП 42.13330.2016 [5] и по существующей УДС, т.е. рассчитан путь жителя до остановки по существующим улицам, а не абстрактно на основе только задаваемого радиуса. Результат представлен на рис. 1, зеленым цветом обозначены объекты с доступностью: 0-300 метров, желтым цветом – 300-500 метров, красным – максимально недоступные с расстоянием 800 метров, серым цветом выделены границы Санкт-Петербурга.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что не все районы Санкт-Петербурга имеют доступ к объектам транспортной инфраструктуры: многие территории испытывают дефицит мобильности. Ближайшее рассмотрение «красных» зон показало, что, в основном, это территории вдали от станций метро, а также районы, отделенные от транспортной инфраструктуры промышленными зонами, реками, парками, автомагистралями и другими естественными преградами. Подобным методом была рассчитана доступность станций метрополитена.

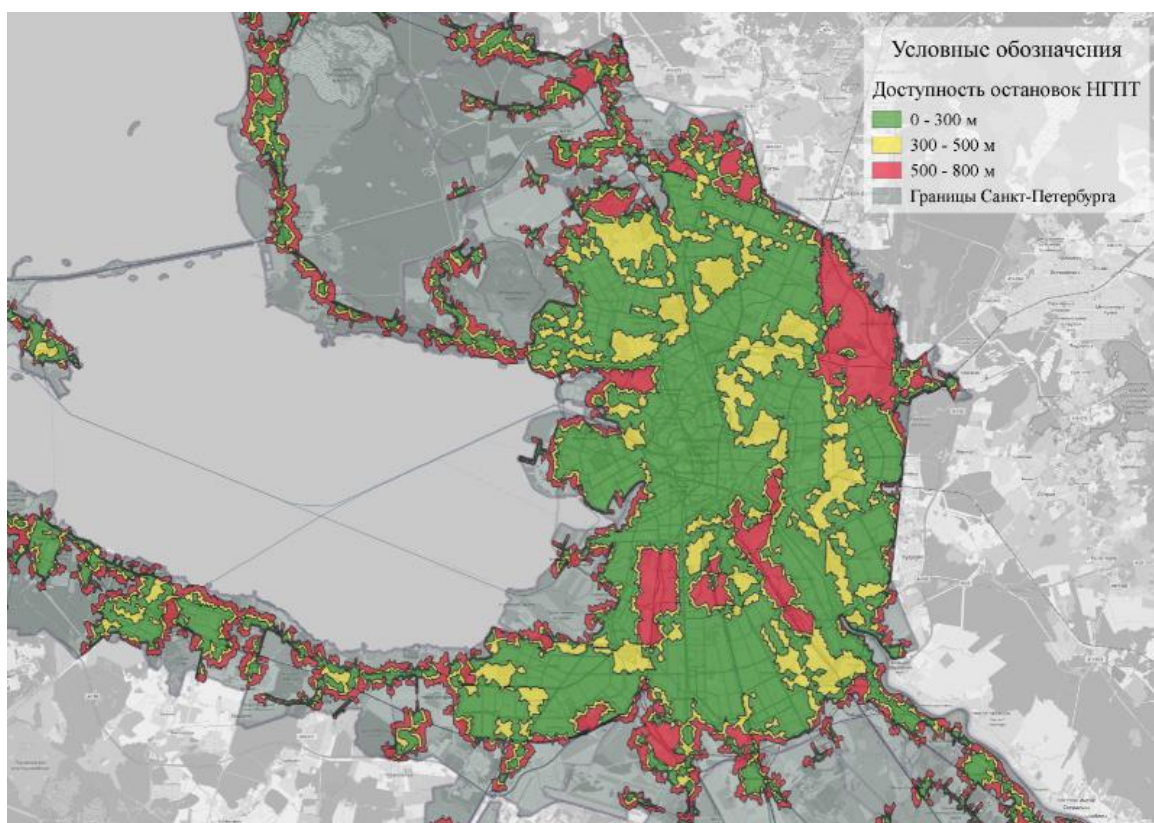


Рис. 1. Доступность остановок НГПТ Санкт-Петербурга

С помощью проведенного анализа были выявлены необслуживаемые территории, за пределами доступности станций метро, а именно вычислен размер недоступной площади по районам, тип застройки на недоступной территории и рассчитано количество жителей, проживающих вне зоны станций метро на основе существующей плотности населения.

Соотнеся полученные результаты по доступности остановок НГПТ и доступности станций метрополитена, были выявлены наиболее критические места, которые не обслуживаются ни НГПТ, ни метрополитеном. К такой территории относится морской фасад Васильевского острова, а именно ЖК «Морская набережная», на рис. 2 представлена данная недоступная территория.

В настоящий момент после расчетов транспортной доступности в Санкт-Петербурге было выявлено, что на большей части территории города нормативы по транспортной доступности выполняются. Стоит отметить, что показатели транспортной доступности могут быть использованы не только транспортными службами, но и другими организациями, не связанными с транспортным обслуживанием, но для создания благоприятного климата на рабочем месте своих сотрудников.

Одним из важных направлений урбанизации городов выступает развитие метрополитена, который определяет архитектурный образ и уровень жизни большого города в современном мире. В настоящий момент метрополитен является наиболее важным признаком образа современного города. Полученные данные от СПб ГКУ «Организатор перевозок» по пассажиропотоку станций метрополитена позволили выявить наиболее загруженные станции метрополитена. В таблице представлены наиболее загруженные станции метрополитена в зависимости от типа дня, указано количество пассажиров в пиковые часы: утренний пик с 8 до 9 утра, вечерний пик с 18 до 19 вечера, в выходные выявлено одно пиковое время с 17 до 18 часов.

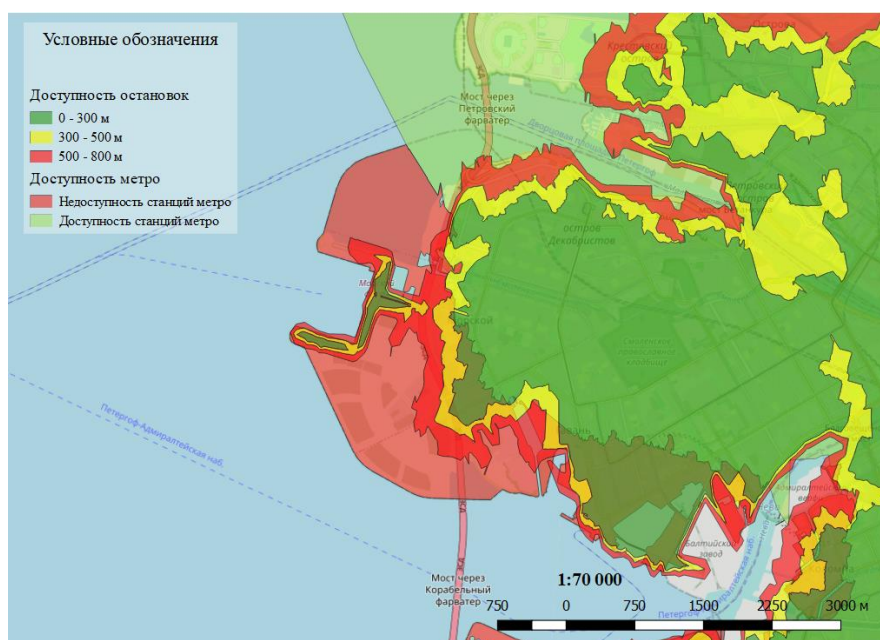


Рис. 2. Недоступная территория Василеостровского района

Таблица

Пассажиропоток метрополитена в будни

№ п/п	Наименование станции метро	Утренний пиковый пассажиропоток, будни, чел/час	Вечерний пиковый пассажиропоток, будни чел/час	Общий пассажиропоток, чел/день
1	Пл. Восстания	12 194	16 252	152 024
2	Девяткино	17 951	14 084	145 910
3	Московская	13 576	11 976	115 286
4	Пр. Ветеранов	13 053	9 716	106 688
5	Пр. Просвещения	12 061	10 095	106 112

Как следует из таблицы, наибольшей популярностью пользуется центр города, а именно станция метро «Площадь Восстания», это связано с взаимодействием различных видов транспорта в данном узле Московского железнодорожного вокзала, обширной сетью НГПТ и личного транспорта. На втором месте по величине пассажиропотока стоит станция метро «Девяткино», что объясняется плотной застройкой многоквартирными домами, и отсутствием других способов передвижения у жителей, не имеющих собственный автомобиль.

Проанализировав данные по пассажиропотоку и выявленные ранее наиболее загруженные остановки НГПТ, были выявлены потенциальные ТПУ Санкт-Петербурга и даны рекомендации в качестве предложения по оптимизации транспортных потоков на примере ТПУ «Автово». Пассажирооборот за будни и выходные потенциального ТПУ «Автово» составляет 70 351 пасс/сут. Станция метрополитена «Автово» в пиковые часы одна из наиболее напряженных станций красной ветки метрополитена.

В настоящий момент пространство у станции метро недостаточно комфортно организовано для использования пассажирами разного вида транспорта, поэтому в

качестве рекомендации предлагается следующее: учитывая, что сейчас на пр. Стачек у станции метрополитена «Автово» расположено по три полосы для движения автомобилей длиной 3,75 м и выделенная полоса в крайнем правом ряду для движения общественного транспорта шириной 4,25 м, есть возможность организовать выделенную полосу, а из существующего автобусного «кармана» создать пересадочный узел для междугородних маршрутов.

На данные остановки прибывают не только внутригородской транспорт, но и междугородний, поэтому предлагается разделить эти потоки, тем самым внутригородской транспорт не будет терять время при высадке и посадке пассажиров, так как на текущий момент водители автобусов на междугородних маршрутах останавливаются в «кармане» для накопления пассажиров. Такое пространство предлагается организовать с двух сторон пр. Стачек, у станции метрополитена и на противоположной стороне. Данные рекомендации не требуют капитальных затрат для модернизации существующей транспортной инфраструктуры.

Также в работе изучены виды точек притяжения городских жителей в городской среде. Произведен расчет связей точек притяжения и остановок НППТ, что в дальнейшем дает большие возможности по изучению подвижности населения. На основании анализа недоступных территорий представлено проектное предложение по модернизации части Ленинского проспекта, был произведен расчет параметров обслуживания социальных маршрутов.

На основании проделанного расчета и анализа составлен алгоритм работы с исходными данными в ГИС. Выявлены проблемы при работе с исходными данными, описаны используемые инструменты при обработке, представлены проделанные анализы согласно имеющимся данным. Которые, конечно не являются окончательными, ГИС-технологии дают возможность для большого количества видов анализа, как по существующей ситуации, так и прогнозирование на будущее.

Дана рекомендация по созданию единой онлайн-платформы, которая будет содержать актуальные данные по пассажиропотоку для анализа загруженности тех или иных объектов ГПТ, содержать данные валидации для дальнейшего анализа денежных потоков, градостроительную часть, связанную со сферой транспорта.

Рассмотрены не все возможности предполагаемой будущей онлайн-платформы для качественного анализа ГПТ, данная тема имеет большие перспективы и требуется дополнительная проработка для анализа работы платформы и выявления всех выполняемых задач.

Литература

1. Блиновская Я.Ю., Задоя Д.С. Введение в геоинформационные системы: Учебное пособие. М: Инфра-М, Форум, 2018. С. 112.
2. Ананьев Ю.С. Геоинформационные системы: Учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. С. 70.
3. Официальный сайт СПб ГУП «Пассажироавтотранс». Режим доступа: <https://www.avtobus.spb.ru/>. Дата обращения: 01.04.2020.
4. Официальный сайт компании NextGis. Режим доступа: <https://nextgis.ru/>. Дата обращения: 05.06.2019.
5. Свод правил «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» от 1 июля 2017, №42.13330.2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054209>. Дата обращения: 30.03.2020.

Королева Алена Вячеславовна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

Институт международного развития и партнерства,

студент группы № D42001,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика, Искусство и наука / Art&Science,

e-mail: aquarelleyer@gmail.com

Никитина Екатерина Борисовна

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

Институт международного развития и Партнерства,

ph.d. in literary studies,

e-mail: katya.althea@gmail.com

УДК 171

THE CHUSO-POLYANA MEADOW 2.0: RELOCATION OF RARE PLANT SPECIES TO A GALLERY SPACE

А.В. Королева

Научный руководитель –ph.d. in literary studies Е.Б. Никитина

Аннотация

В работе рассматривается междисциплинарный контекст вымирания биотопа Чудо-поляна (г. Гатчина, Ленинградская обл.), населенного более 200 растениями, 16 из которых носят статус редких. Исследование предлагает новый подход к контексту локального вымирания через практику рассказывания историй (storytelling) и домашнего выращивания редких видов с последующей их релокацией в общественное пространство галереи.

Ключевые слова

Чудо-поляна, исследования вымирания, исследования растений, рассказывание историй, акторно-сетевая теория, редкие растения, Гатчина, релокация, межвидовой узел, междисциплинарность, домашнее садоводство.

Монохромные, визуально устойчивые и массивно покрывающие почву растения напоминают ландшафт, а в отношениях с человеком часто выступают провайдерами, чья способность к интенсивному росту активно используется индустриально и кустарно. Метафора «феодалов и крепостных», предложенная исследователем Майклом Мардером, точно описывает антропоцентричный взгляд человека на растительное сообщество [4, Р 98]. Растения, укорененные в земле (такой же стабильной и однотонной, как и населяющие ее растения), встраиваются в территории, определенные человеком, как политические, географические и правовые. Помечая землю строгими и с трудом смещаемыми абстрактными демаркациями, люди решают, какие территории пригодны для взращивания растительности, а какие стоит оставить нетронутыми.

Культивируемые культуры – яркий пример растений, присвоенных человеческими «феодалами», управляющими, казалось бы, неподвижными «крепостными» растениями и их репродуктивной энергией. Большое опасение также вызывает биотехнологическая природа сельскохозяйственной промышленности, поскольку все массово культивируемые растения генетически модифицированы и, тем самым, адаптированы для человеческого потребления на генетическом уровне.

Параллельно с обрабатываемыми землями и их жителями, попавшими под потребительский гнет, существуют территории, превращаемые в природные заповедники, где промышленная деятельность запрещается. Подобные места часто опосредованы вымиранием и артикулируемы повесткой природоохранных движений. Но есть и территории, существующие в мерцающей неопределенной области между эксплуатацией и сохранением. Чудо-поляна, часть территории парка Зверинец в Гатчине, Ленинградская область, образует биоценоз из шестнадцати редких и находящихся под угрозой исчезновения растений. В настоящее время участок помечен как «перспективный» в списке Особо Охраняемых Природных Территорий России, что означает, что законодательные нормы не коснутся луга до 2025 года [2, 3]. Чрезвычайно близкую к жилым кварталам, местам купания и выгула собак Чудо-поляну часто посещают и по неосторожности разрушают местные жители и туристы.

На картах луг появился в 1979 году, когда российский ботаник Адо Оскарович Хааре обнаружил редкие и исчезающие виды (напр. *Valerianadiolica*, *Carexdavalliana*, *Sesleriacerulea*), плотно растущие на площади не более 56 га. Несмотря на неопределенный правовой статус, с тех пор исследователи и осведомленные жители Гатчины называют Чудо-поляну памятником природы. С одной стороны, концентрация редких видов на такой небольшой площади привлекает местных специалистов и внимание СМИ. С другой, отсутствие интеграционных образовательных инициатив ведет луг к бесповоротной точке полного исчезновения. Параллельно физическому вымиранию Чудо-поляна сталкивается с серьезными этическими проблемами, коренящимися в абстрагировании живых существ.

Задолго до провозглашения луга Чудо-поляной, он существовал безымянной и неприметной частью парка Зверинец, сформированного в XVII в. фаворитом Екатерины II – графом Григорием Григорьевичем Орловым – как охотничья земля с большим количеством импортируемых животных и кормовых культур. Дискурс о вымирании тогда не затрагивал Чудо-поляну, и не потому, что она процветала: ее просто не существовало как обозначенной исчезающей территории. Ограниченная Центральной аллеей с севера, Пильненской дорогой с запада, Дворцовым парком с востока и рекой Теплая с юга, в такой географической разметке Чудо-поляна возникла только благодаря биологическому знанию и картографии. Через полевые исследования растений луга ботаники определили найденные виды в список «редких», «исчезающих» и «низкого риска». Демаркация, в свою очередь, определила географический корпус Чудо-поляны. Физическое взаимодействие между людьми и местом, никогда не ставившееся под вопрос, теперь стало противоречить новому научному подходу. Садоводы-любители, раскапывающие почву биотопа в поисках привлекательных растений, и спортсмены, непреднамеренно вытаптывающие редкие осоки во время активного отдыха, стали нежеланными гостями.

Большинство местного населения привыкли видеть Зверинец местом отдыха и взаимодействуют с территорией и ее видами преимущественно физически. Некоторые гатчинцы осведомлены о существовании Чудо-поляны и называют место памятником природы, хотя даже не знают о том, где оно находится: почти никто не может назвать точное местоположение луга несмотря на то, что посещают его не реже местного продуктового магазина. В результате биотоп, обнаруженный в 1970-х, до сих пор географически неизвестен большинству местного населения. Парк Зверинец, тем временем, обременен вымиранием, а существующие природоохранные меры бессильны.

В рамках исследования мы надеемся познакомить заинтересованные стороны, а именно местные гатчинские сообщества, СМИ и ученых с экспериментальной междисциплинарной практикой, направленной на работу с локальным вымиранием. Концептуально подкрепленные исследованиями растений (plantstudies),

исследованиями вымирания (extinction studies) и научным искусством, опробованные практики включают в себя разработку альтернативного языка о вымирании, основанного на рассказывании историй (storytelling) и взаимодействии людей и растений на границах различных дисциплин – через домашнее культивирование и создание мультимедийной инсталляции.

Проведенное исследование предполагает, что населенный редкими и исчезающими растениями луг Чудо-поляна создан научным аппаратом в 1979 году как социально, научно и политически классифицируемый объект. Его многогранные живые и неживые акторы, в основном растения, стали объектами обобщающей систематизации, оценивающей виды как редкие (R), исчезающие (EN) и таксоны низкого риска (LC). Природоохранные практики, построенные исключительно на подобных редукционистских теориях, не учитывают экологические, исторические и другие контекстные включения, способные впустить новые связи в общий узел места.

Существующий статус места не представляет возможным взаимовыгодное взаимодействие человека и редких растений, поскольку местные сообщества и СМИ видят пространство памятником природы, но не комплексным динамичным обществом живых организмов. Физическая репрезентация места теряется за его абстрактно очерченным изображением: местные жители Гатчины используют Чудо-поляну как зону отдыха, но также относятся к пространству как к хрупкому природному образованию. Разрыв в материальной ткани луга, вызванный отсутствием интеграционных образовательных программ, ярко выражен в статьях местных гатчинских медиа-порталов и в научных работах, посвященных месту.

В рамках данного исследования мы предлагаем отказаться от превосходства традиционных и неэффективных методов консервации и начать живой, встроенный в пространство разговор о Чудо-поляне и ее адаптивных частях. Первостепенная мотивация исследования состоит в привлечении внимания общественности к вымиранию, происходящему на Чудо-поляне в отсутствие правового регулирования. Ситуация одновременно инициирует неконтролируемое землепользование и требует человеческую ответственность и гибкость в межвидовых отношениях. Перспективная партисипативная цель работы состоит в проведении индивидуальных и групповых практик в контексте Чудо-поляны. Практики рассказывания историй, будь то об охоте на экзотических зайцев и высушивании болот в царские времена или о культивировании редкой валерианы восьмым классом местной школы в 2015 и домашнее выращивание редких видов объединяют текучесть и многоконтекстуальность места и создают альтернативу существующему пониманию поляны как мемориальной коллекции редких видов. До 2025 года территория парка «Зверинец» будет открыта для отдыха и садоводства, и любой, кто заинтересован во взаимодействии с редкими и находящимися под угрозой исчезновения видами, свободен действовать вне рамок правовых норм, но путем создания личного межвидового опыта.

Чудо-поляна и ее растительное сообщество находятся в положении запутанного объекта или, согласно теориям Деборы Берд Роуз, в модусе межвидового узла этического времени, где контексты истории, вымирания и систематики переплетаются и создают новую перспективную историю места [5]. Неэкспансивный язык о пространстве луга строится на основе пересекающихся времен множества акторов на Чудо-поляне: людей и их историй, растений и их путях выживания и пр. Важным пунктом в отношениях людей и растений на вымирающем лугу является историческое сожительство человека и редких видов. Согласно теориям Адо Хааре, Чудо-поляна и многие похожие биотопы региона тысячелетиями поддерживались деятельностью людей. Именно людские поселения и сельское хозяйство не позволяли лесам разрастаться и экспансировать луговые площади [5]. Парадоксально, в настоящее время

именно деятельность человека является главной причиной вымирания редких растений Чудо-поляны.

Новые практики взаимодействия с Чудо-поляной, основанные на исследованиях вымирания и исследованиях растений, интегрируют ботанический и философский теоретические корпуса, специфические для межвидового взаимодействия. Здесь важны концепции Майкла Мардера о политичности растительных сообществ, а именно о возможности апроприации принципов растительной организации человеческой политикой [4]. Многослойные концепции природокультуры (*natureculture*) и игры в веревку (*stringfigures*), предложенные Донной Харауэй, помогают распутать клубок контекстов Чудо-поляны. Природокультура постулирует невозможность отдельного существования культурного и природного: то, что традиционно называется культурным, здесь может присваиваться не только человеческими агентами, а любыми, кто проявляет или готов проявить действие. А то, что именуется природным охватывает и человеческие, урбанистические, рациональные общества. Игра в веревку (*stringfigures*) – это сетевая методология сбора и обработки информации об изучаемом объекте: все участники рассматриваемого узла равно активны и способны менять его общее состояние. Например, садовник-любитель, изымая привлекательную орхидею *Cypripedium calceolus* из ее родной среды обитания, разрывает связь растения с микоризным грибом, осуществляющим оптимальное минеральное питание корневой системы.

Теория межвидовых узлов этического времени Деборы Берд Роуз и акторно-сетевая теория (АСТ) Бруно Латура поддерживают многогранное понятие Чудо-поляны. Теория АСТ играет важную роль в определении нечеловеческих агентов акторами, то есть существами и явлениями, активно влияющими на жизнь всего узла. История Чудо-поляны включает в себя предыдущие релокации растений, освоение земель и массовые убийства, поэтому происхождение и жизнь луга – это природокультурный феномен, существующий в форме межвидового узла.

Практика спекулятивного повествования, в рамках которой растения Чудо-поляны предстают перед читателем героями междисциплинарного рассказа, основана на методе рассказывания историй (*storytelling*), предложенным Донной Харауэй [1]. Как самые редкие виды местности (например, *Valerianadioca*), так и инвазивные сорняки (например, *Ajugareptans*) в междисциплинарном повествовании являются одновременно нежными созданиями, активными созидателями, рождающимися и умирающими телами и узлами исторического взаимодействия.

В рамках взаимодействия с растениями Чудо-поляны оба вида, *Valerianadioca* и *Ajugareptans*, культивировались в городской квартире в ходе экспериментов по релокации редких видов под контролем специалистов Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН. Ход и итоги релокации представлены в двух рассказах в свободной форме. Один из них повествует о редком существе, исчезающем из-за высушивания территорий. Другая история – об инвазивном, но чувствительном растении, которое веками использовалось в качестве лекарства.

Аккумулированные теоретические знания и практики рассказывания историй и домашнего культивирования предшествуют и сопровождают взаимодействие с Чудо-поляной и ее автономными организмами, адаптируемыми к переселению и открытыми для неинвазивных и интегрированных встреч с людьми и их городской средой. Чтобы лишить редкие виды их эксклюзивного статуса классифицированных объектов и абстрактных идей, взаимодействие между двумя видами – человеком и редким растением – осуществляется, во-первых, посредством релокации редких растений и домашнего садоводства; и далее через публичное взаимодействие людей и растений в пространстве галереи. Упомянутая теоретическая совокупность играет роль описательной и регулятивной в рамках взаимодействия растений и людей. Методы

научного наблюдения и релокации являются основой в домашнем садоводстве.

Инсталляция, продолжение настоящей исследовательской работы, нацелена на свободное взаимодействие человека с редкими видами Чудо-поляны посредством звука и физического со-присутствия в пространстве, лишенном предустановленного концептуального слоя. Инсталляция размещается в галерейном пространстве и состоит из 5 платформ, каждая из которых предполагает сидячее место и область для растения, находящегося под фито-лампой. Динамика зрительского внимания к растениям регулируется звуком: каждая из платформ оснащена детектором движения и акустической системой, которые наполняют выставочное пространство фоновыми звуками Чудо-поляны. Звук платформы затихает при приближении зрителя и усиливается, когда тот отстраняется. Таким образом, если все платформы заняты сидящими зрителями, в помещении царит тишина. Звук, в отличие от традиционных методов классификации, дает возможность получить опыт общения с редкими видами в реальном времени, без лишней лимитирующей теоретической нагрузки.

Образовательная часть проекта представлена раздаточным материалом с короткими рассказами о растениях Чудо-поляны, иллюстрированным петербургскими художниками. После двухнедельной выставки растения будут перемещены обратно в городскую квартиру, где они были выращены, или будут переданы в ботанические институты Петербурга. Некоторые растения могут быть релоцированы на Чудо-поляну при позволяющих погодных условиях.

Экспериментальный поворот от традиционного дискурса институционализированных методов природоохраны, данная работа представляет собой попытку пересмотреть существующий научный и медийный дискурсы вокруг Чудо-поляны, а также реализовать новые способы взаимодействия человека и растений, направленные на непосредственное изучение редких растительных организмов (рисунок).



Рисунок. Визуализация инсталляции Чудо-поляна 2.0

Междисциплинарное повествование, одна из финальных фаз проекта, стало возможным благодаря комплексному теоретическому базису и ежедневному взаимодействию с редкими видами. В рамках проекта методом домашнего садоводства были выращены шесть растений Чудо-поляны: *Valerianadiolica*, *Ajugareptans*, *Carexflacca*, *Sesleriacaerulea*, *Primulaelatoir* и *Cirsiumrivulare*. Истории ботаников, десятилетиями изучавших Чудо-поляну, исторические источники и статьи в СМИ создали новый образ места, не экспансируемый человеком и многогранно артикулируемый. Перемещение растений в пространство галереи, в свою очередь, создаст новые способы существования Чудо-поляны и информирует местные сообщества и интересующие стороны о настоящей ситуации вымирания редких видов растений в регионе.

Литература

1. Haraway D.J. Staying with the trouble: making kin in the chthulucene / D.J. Haraway. – Durham and London: Duke University Press. 2016. 296 p.
2. Khaare A.O. Novoemestonakhozhdeniereliktovykhvidov v Leningradskoioblasti. Novosti sistematikivysshikhrastenii. AN SSSR. 1979. 15. pp. 240-247.
3. Latour B. On actor-network theory. A few clarifications plus more than a few complications / L. Bruno // Soziale Welt. 1996. 47. pp. 369-381.
4. Marder M., Mendes M. The Phenomenology of Vegetal Life / B. Romanelli // Urban Fauna Lab. Valley of Beggars. Venezia. 2015. pp. 93-99.
5. Rose, D.B. Multispecies Knots of Ethical Time / D.B. Rose // Environmental Philosophy. 2012. 9(1). pp. 127–140.

Овчаров Алексей Олегович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42334,

направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: ovcharov.alex.o@gmail.com

Ведяков Алексей Алексеевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н.,

e-mail: vedyakov@itmo.ru

УДК 681.5.015

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОЙ
РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ С ЛИНЕЙНО ЗАВИСИМЫМИ
КОМПОНЕНТАМИ РЕГРЕССОРА НА ПРИМЕРЕ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

А.О. Овчаров

Научный руководитель – к.т.н. А.А. Ведяков

Работа выполнена в рамках темы НИР №380284 «Адаптивное бессенсорное управление синхронным электроприводом для интеллектуальных робототехнических и транспортных систем».

Аннотация

В работе рассмотрено решение проблемы оценивания параметров линейной регрессионной модели на примере электромеханических систем при невыполнении условия интервального возбуждения из-за наличия линейно зависимых компонент в регрессоре. Предложен метод оценивания параметров из редуцированной модели и метод ее получения для удаления линейно зависимой части из регрессора. Рассмотрены условия экспоненциальной сходимости предложенного метода и применение к электромеханическим системам.

Ключевые слова

Линейная регрессионная модель, оценка параметров, избыточная параметризация, условие неисчезающего возбуждения, адаптивное управление, электромеханическая система.

Введение

Для оценивания параметров электромеханических систем, динамическую модель приводят к линейному регрессионному виду:

$$y(t) = \omega^T(t)\theta, \quad (1)$$

где $y(t) \in R$ – выход, $\omega(t) \in R^m$ – регрессор, $\theta \in R^m$ – вектор неизвестных параметров. Примерами являются: манипуляционные системы, синхронные; асинхронные и др. приводы, система магнитной левитации, гиросtabilизированные системы. Параметризация модели играет очень важную роль, от нее зависит сама возможность

оценивания параметров, погрешность и качество сходимости. Сложно провести параметризацию для громоздких моделей, зачастую на выходе получается избыточно параметризованная система и регрессор с линейно зависимыми компонентами. Также стоит отметить, что линейная зависимость компонент регрессора может возникать при разных управляющих воздействиях.

В данной работе рассматриваются онлайн методы, где важно качество сходимости оценки. Классическими представителями являются метод градиентного спуска и рекуррентный метод наименьших квадратов, они гарантируют экспоненциальную сходимость ошибки оценивания к нулю, если выполняться условие *неисчезающего возбуждения*:

$$\int_t^{t+T} \omega(\tau) \omega^T(\tau) d\tau \geq \alpha E_m, \quad \alpha, T \in R_{>0}, \quad \forall t \in R_{>0}. \quad (2)$$

Это условие сложно обеспечить и проверить во время работы системы. В отличие от условия (3), оно точно не выполняется для медленно затухающих элементов регрессора. Методы обеспечивают монотонную сходимость нормы ошибки оценивания вектора θ . Гарантировать монотонность для каждого компонента вектора ошибки оценивания и одновременного уменьшить время переходного процесса позволяет метод динамического расширения и смешивания регрессора (ДРСР) [1], для которого уже требуется выполнение условия *квадратичной неинтегрируемости*:

$$\int_0^\infty \det^2\{\Phi(\tau)\} d\tau \geq \alpha, \quad \alpha \in R_{>0}, \quad (3)$$

где $\Phi(t) \in R^{m \times m}$ – расширенный регрессор, полученный с помощью линейных устойчивых динамических фильтров. Проще всего обеспечить условие *интервального возбуждения*:

$$\int_{t_e-T}^{t_e} \Phi(\tau) \Phi^T(\tau) d\tau \geq \alpha E_m, \quad t_e, \alpha, T \in R_{>0}, \quad (4)$$

в отличие от предыдущих условий, оно должно выполняться лишь на промежутке времени, для этого в электромеханических системах активно применяют инъекцию высокочастотных сигналов, а для оценивания параметров известны методы сходимости за конечное время; одновременного и композитного обучения. Однако *все* приведенные выше методы не способны оценить параметры при *невыполнении условия интервального возбуждения*.

Основная часть

Целью данной работы является синтез алгоритма оценивания вектора параметров θ , обеспечивающий нулевую ошибку оценивания при наличии линейно зависимых компонент регрессора $\omega(t)$ на всем промежутке работы системы:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \theta - \hat{\theta} = 0 \quad (5)$$

и при выполнении следующих допущений:

Допущение 1. Структура модели (1) строго определена и не меняется в ходе функционирования системы.

Допущение 2. Все компоненты $y(t)$ и $\omega(t)$ непрерывно измеряемы.

Допущение 3. Модель (1) избыточно параметризована. Вектор θ является известной функцией от постоянного вектора $\theta \in R^n$ меньшей размерности, чем θ , то есть

$\theta = f_\theta(\eta)$, $m > n$.

Чтобы выявить линейно зависимые компоненты, скалярная регрессионная модель (1) расширяется с помощью линейного стационарного фильтра с одним входом и m выходами $H: L_\infty \rightarrow L_\infty^m$, в результате получается расширенная модель:

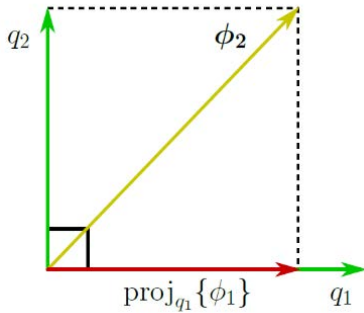
$$Y(t) = \Phi(t)\theta \quad (6)$$

где сигналы $Y(t) \in R^m$ и $\Phi(t) \in R^{m \times m}$ генерируются как:

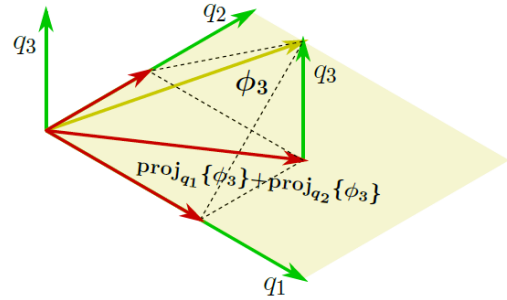
$$Y(t) = H[y(t)], \quad \Phi(t) = H[\omega^T(t)]. \quad (7)$$

В выпускной работе доказывается, что наличие линейно зависимых компонент в $\omega(t)$ эквивалентно невыполнению условия интервального возбуждения (4) для модели (6).

Далее рассмотрим пространство столбцов регрессора $\Phi(t) = [\phi_1 \ \phi_2 \ \dots \ \phi_m]$, $\phi_i \in R^m$, $i = \overline{1, m}$ и применим метод ортогонализации Грама-Шмидта [2], который представлен на рис. 1. В результате из $\Phi(t)$ получается ортогональная матрица $Q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_m]$. Её столбцы имеют нулевую длину лишь в том случае, когда столбец регрессора можно представить как линейную комбинацию из набора предыдущих его столбцов.



(а) Двумерный случай



(б) Трёхмерный случай

Рис. 1. Ортогонализация Грама-Шмидта

Выражения для векторов матрицы $Q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_m]$ для двумерного и трехмерного случая представлен ниже:

$$q_1 = \phi_1, q_1 = \phi_2 - \text{proj}_{q_2}\{\phi_2\}, q_1 = \phi_3 - \text{proj}_{q_2}\{\phi_3\} - \text{proj}_{q_3}\{\phi_3\}, \quad \dots (8)$$

Из индексов векторов нулевой длины формируется множество линейно зависимых столбцов:

$$G = \{ i \in N \mid \|\phi_i\|_2 \leq \varepsilon_q, \ \varepsilon_q \in R_{\geq 0} \}, \quad g = \dim\{G\}. \quad (9)$$

Все эти индексы $l_1 < l_2 < l_3 < \dots < l_g \in G$ запишем в упорядоченном массиве:

$$L = [l_1 \ l_2 \ \dots \ l_g] \quad (10)$$

Для удобства введем оператор редуцирования:

$$\text{red}_R^C\{A\} = [A]_{i \in P \setminus R, j \in Q \setminus C} \quad (11)$$

здесь R, C – множество индексов строк и столбцов, которые удаляются из матрицы, $P = \{1, 2, \dots, p\}$, $Q = \{1, 2, \dots, q\}$ – множество всех индексов строк и столбцов.

Из особенности метода Грама-Шмидта составляется система из матричных уравнений (12). Линейно зависимые столбцы φ_{l_i} матрицы $\Phi(t)$ раскладываются на линейную комбинацию от всех предыдущих:

$$\varphi_{l_1} = \Phi^{1,l_1-1} K_{l_1}, \quad \varphi_{l_2} = \Phi^{1,l_2-1} K_{l_2}, \quad \varphi_{l_3} = \Phi^{1,l_3-1} K_{l_3}, \dots, \varphi_{l_g} = \Phi^{1,l_g-1} K_{l_g}. \quad (12)$$

Матрица $\Phi^{1,l_i-1} \in R^{m \times (l_i-1)}$ и вектор коэффициентов линейной комбинации $K_{l_i} \in R^{l_i-1}$ компонентами $k_{i,j} \in R$ определяются следующим образом:

$$\Phi^{1,l_i-1} = [\phi_1 \quad \phi_2 \quad \Lambda \quad \phi_{l_i-1}], \quad K_{l_i} = [k_{l_i,1} \quad k_{l_i,2} \quad \Lambda \quad k_{l_i,l_i-1}]^T, \quad i = \overline{1, g}.$$

Из системы (12) можно оценить неизвестные вектора K_{l_i} , однако матрицы Φ^{1,l_2-1} , Φ^{1,l_3-1} , ..., Φ^{1,l_g-1} содержат линейно зависимые столбцы, поэтому они вырождены. Удалим эти столбцы и получим систему:

$$\begin{aligned} \varphi_{l_1} &= \Phi^{1,l_1-1} K_{l_1}, & &= \bar{\Phi}^{1,l_1-1} \bar{K}_{l_1}, \\ \varphi_{l_2} &= \text{red}^{l_1}\{\Phi^{1,l_2-1}\} \text{red}_{l_1}\{K_{l_2}\}, & &= \bar{\Phi}^{1,l_2-1} \bar{K}_{l_2}, \\ \varphi_{l_3} &= \text{red}^{l_1,l_2}\{\Phi^{1,l_3-1}\} \text{red}_{l_1}\{K_{l_3}\}, & &= \bar{\Phi}^{1,l_3-1} \bar{K}_{l_3}, \\ &\dots & & \\ \varphi_{l_g} &= \text{red}^L\{\Phi^{1,l_g-1}\} \text{red}_L\{K_{l_g}\}, & &= \bar{\Phi}^{1,l_g-1} \bar{K}_{l_g}. \end{aligned} \quad (13)$$

Редуцирование гарантирует линейную независимость матриц полученной системы, благодаря чему неизвестные вектора $\bar{K}_{l_i}$, $i = \overline{1, g}$ оцениваются с помощью метода наименьших квадратов (МНК):

$$\hat{\bar{K}}_{l_i} = ((\Phi^{1,l_i-1})^T \Phi^{1,l_i-1})^{-1} (\Phi^{1,l_i-1})^T \varphi_{l_i}, \quad i = \overline{1, g} \quad (14)$$

Далее примем редуцированную часть K_{l_i} равной нулю, а остальную часть оценке $\hat{\bar{K}}_{l_i}$.

Утверждение 1. Рассмотрим расширенную модель (6), её всегда можно привести к редуцированной:

$$Y(t) = \Phi_r(t) K(t) \theta, \quad (15)$$

здесь $Y(t) \in R^m$ – выход расширенной модели, $\Phi_r(t) \in R^{m \times (m-g)}$ – редуцированный регрессор, $K(t) \in R^{(m-g) \times m}$ – матрица трансформации вектора неизвестных параметров θ . Регрессор $\Phi_r(t)$ получается удалением линейно зависимых столбцов φ_i , $i \in G$:

$$\Phi_r(t) = \text{red}^L\{\Phi(t)\} \quad (16)$$

Матрица трансформации вычисляется по рекуррентному алгоритму:

$$K_0 = E_m \quad (17)$$

$$K_i = T_{i-1}^i K_{i-1}, \quad i = \overline{1, g}, \quad g = \dim\{G\} \quad (18)$$

$$T_{i-1}^i = \begin{bmatrix} E_{l_{i-1}} & K_{l_i} & 0_{(l_{i-1}) \times (m-l_i)} \\ 0_{(l_i-1) \times (m-l_i)} & 0 & 0_{1 \times (m-l_i)} \\ 0_{(m-l_i) \times 1} & 0_{1 \times (l_i-1)} & E_{l_i-1} \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$$K(t) = \text{red}_L\{K_g\}, \quad (20)$$

где E_a , $0_{a \times b}$ – единичная матрица $a \times a$ и матрица нулей размером $a \times b$. Отметим случай $K(t) = K_0$, который соответствует отсутствию линейно зависимых столбцов в регрессоре $\Phi(t)$, здесь редуцированная модель (15) эквивалентна расширенной (6). Доказательство утверждения приведено в выпускной квалификационной работе.

Утверждение выше выполняется в случае $\varepsilon_q = 0$ или $\|q_i\| = 0$, $i = \overline{1, m}$. Если $\varepsilon_q > 0$ и $\|q_i\| > 0$, то выход редуцированной модели (15) отличен от расширенной и равен $Y_r(t)$, это связано с ненулевой ошибкой оценивания векторов $\tilde{K}_{l_i}$. Подробней вопрос раскрыт в выпускной работе.

Концепция синтеза системы оценивания на основе метода редуцирования расширенной модели строится на оценках матрицы трансформации $K(t)$ с помощью МНК (14) и вектора редуцированных параметров $\theta_r(t) \in R^{m-g}$. Для оценивания последнего редуцированную модель (15) приведем к виду:

$$Y(t) = \Phi_r(t) \theta_r(t) \quad (21)$$

$$\theta_r(t) = f_{\theta_r}(\theta) = K(t) \theta \quad (22)$$

Применим метод динамического расширения и смешивания регрессора для получения оценки вектора $\theta_r(t)$:

$$\dot{\hat{\theta}}_r(t) = \gamma \Delta(t) (y(t) - \Delta(t) \hat{\theta}_r(t)) \quad (23)$$

где γ – коэффициент адаптации, модель (21) приводится к квадратному виду, откуда $\Delta(t)$ и $y(t)$ генерируются с помощью:

$$\Delta(t) = \det\{\text{red}_L\{\Phi_r(t)\}\}, y(t) = \text{adj}\{\text{red}_L\{\Phi_r(t)\}\} \text{red}_L\{Y(t)\}.$$

Искомый вектор θ восстанавливается из выражения (22) и оценок $\hat{\theta}_r(t)$, $\hat{K}(t)$ из (23), (17)-(20) и (14) и благодаря существованию зависимости $\theta = f_{\theta}(\eta)$ из допущения 2.

Чтобы переходные процессы ошибки $\tilde{K}(t)$ минимально влияли на сходимость оценки параметров, примем:

Допущение 4. Выбрана такая ε_q , что все элементы $\tilde{K}(t)$ пренебрежимо малы при $\Phi(t) \neq 0$, то есть $\tilde{K}(t) = 0$.

Поскольку ранг матрицы $\Phi(t)$ может меняться со временем, оценка $\hat{\theta}_r(t)$ может никогда не сойтись к истинному значению. Для упрощения анализа введём допущение:

Допущение 5. Существует такое $t_e \in R_{>0}$, после которого ранг матрицы $p = \text{rank}\{\Phi(t)\}$ постоянен и не меньше размерности вектора η .

Если оно выполняется и редуцированный регрессор $\Phi_r(t) \neq 0$, то при $t > t_e$ вектор редуцированных параметров стационарен и гарантируется экспоненциальная сходимость его оценки:

$$\tilde{\theta}_r(t) = \tilde{\theta}_r(t_e) e^{-\gamma \int_{t_e}^t \Delta^2(\tau) d\tau} \Rightarrow \|\tilde{\theta}_r(t)\|_1 \leq C_0 e^{-\rho_0 t}, \quad t > t_e, \quad (24)$$

где C_0 и ρ_0 – положительные постоянные. Метод редуцирования регрессора всегда обеспечивает $\Delta^2(t) > 0$ при $\Phi_r(t) \neq 0$.

Допущение 6. Существует обратная функция $f_{\theta_r}^{-1}$ и функция f_θ является билипшицевой.

Утверждение 2. Предложенный алгоритм оценивания гарантирует экспоненциальную сходимость ошибки оценивания $\tilde{\theta}(t) \rightarrow \theta - \hat{\theta}(t)$ к нулю, если выполняются допущения 1-6:

$$\|\tilde{\theta}(t)\|_1 \leq C_2 e^{-\rho_0 t}, \quad t > t_e.$$

Доказательство сходимости подробно приведено в выпускной работе.

Пример применения

Рассмотрим систему магнитной левитации с одной степенью свободы [3] в задаче оценивания начального значения магнитного потока $\eta \in R$. В статье А. А. Бобцова и др. [4] синтезируется система бездатчикового управления, которой нужна оценка значения η . Для этого в [4] выполняется параметризация модели этой системы:

$$y(t) = \omega^T(t) \theta(\eta), \quad \theta(\eta) = [\eta \quad \eta^2 \quad \eta^3 \quad \eta^4 \quad \eta^5 \quad \eta^6]^T, \quad (25)$$

где $y(t) \in R$ и $\omega(t) \in R^6$. Скалярная регрессионная модель расширяется с помощью устойчивых линейных фильтров $H_i = \frac{\sigma_i}{p + \sigma_i}$, $\sigma_i > 0$, $i = 1, 6$:

$$Y(t) = \Phi(t) \theta(\eta) \quad (26)$$

здесь $p = d/dt$ – оператор дифференцирования. В результате применения предложенного метода редуцирования расширенной модели и оценки $\hat{K}(t)$ с помощью МНК (14) получаем:

$$Y_r(t) = \Phi_r(t) \underbrace{\hat{K}(t) \theta(\eta)}_{\theta_r(t)} \quad (27)$$

Отсюда оценивается $\theta_r(t)$ методом ДРСР (23) и из первого компонента соотношения $\hat{\theta}_r(t) = \hat{K}(t) \theta$ получается алгебраическое уравнение для оценивания $\hat{\eta}$:

$$\hat{\theta}_{r,1} = \eta + k_{2,1} \eta^2 + k_{3,1} \eta^3 + k_{4,1} \eta^4 + k_{5,1} \eta^5 + k_{6,1} \eta^6 \quad (28)$$

В работе [4] начальное значение магнитного потока оценивается напрямую из расширенной модели (27) с помощью метода ДРСР. Результаты сравнения предложенного алгоритма (II) и метода из статьи [4] (I) представлены на рис. 2а. Как видно из графика для метода (I) не выполняется условие (3), эту проблему решает предложенный метод (II). На рис. 2 также представлен график оценки матрицы $K(t)$, чья ошибка равна нулю, сразу как все $\|q_{li}\|_2 = 0$, это также видно на графике ошибки

модели $\tilde{Y}(t) \leftarrow Y(t) - Y_r(t)$. (рис. 2) График 2г представляет количество линейно-зависимых столбцов (рис. 2).

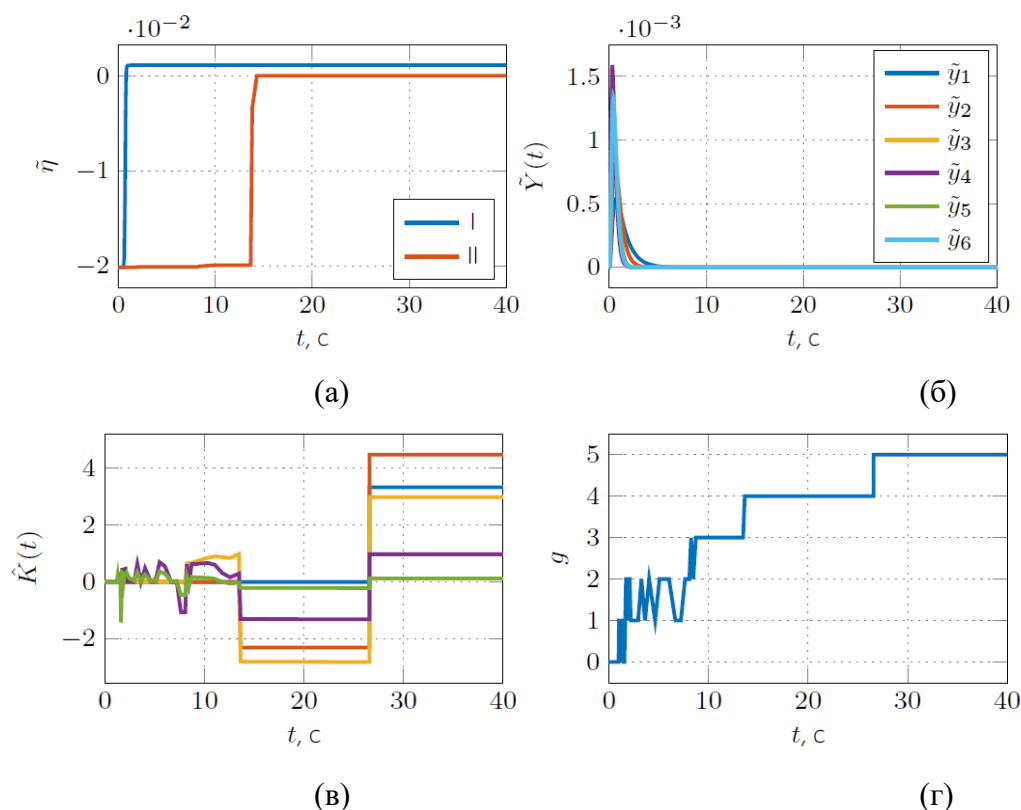


Рис. 2. Результаты моделирования оригинального (I) и нового (II) методов оценивания

Заключение

В выпускной квалификационной работе проведено исследование проблемы оценивания параметров линейной регрессионной модели при наличии линейно-зависимых компонент регрессора. Предложен метод редуцирования регрессора из расширенной регрессионной модели, на его основе предложен метод оценивания параметров, для которого ослаблено условие интервального возбуждения. Доказана экспоненциальная сходимость метода оценивания при выполнении допущений 1-6. Продемонстрировано применение алгоритма на системе магнитной левитации с одной степенью свободы и приведены результаты моделирования.

Литература

1. Performance Enhancement of Parameter Estimators via Dynamic Regressor Extension and Mixing / S. Aranovskiy [et al.] // IEEE Transactions on Automatic Control. 2017.
2. Horn R.A., Johnson C.R. Matrix Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 2013.
3. Magnetic Bearings / ed. by E. H. Maslen, G. Schweitzer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
4. Sensorless Control of the Levitated Ball / A. Bobtsov [et al.] // IFAC Papers OnLine. 2019. Jan. Vol. 52, no. 29. P. 274–279.

**ЛАУРЕАТЫ I СТЕПЕНИ КОНКУРСА
НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ
ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»**

Вавилова Алина Сергеевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N42495,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: alina.vavilova.96@rambler.ru

Левина Алла Борисовна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: levina@cit.ifmo.ru

УДК 004.021

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ
ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ
ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

А.С. Вавилова

Научный руководитель–к.ф.-м.н., доцент А.Б. Левина

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

Аннотация

В рамках работы в качестве механизма защиты информации в облаке была разработана методика обеспечения безопасности передаваемых данных на основе алгоритмов гомоморфного шифрования. Для практического применения и апробации методики была выбрана облачная система биометрической аутентификации на основе сравнения двух векторов биометрических признаков с помощью вычисления расстояния Хэмминга. При сравнении полученных результатов наблюдается более высокая производительность и более короткий размер зашифрованного текста относительно существующих разработок, в основе которых лежат алгоритмы полностью гомоморфного шифрования.

Ключевые слова

Облачные технологии, гомоморфное шифрование, биометрическая аутентификация, идеальные решетки, механизмы защиты информации

Технология облачных вычислений стремительно набирает популярность и является одной из самых востребованных ИТ-решений в настоящий момент. Поставщики облачных вычислений – компании, предоставляющие клиентам услуги по организации обработки и хранения данных удаленно, способны решить проблему растущей потребности в больших вычислительных мощностях предприятий, обеспечить масштабируемость систем, улучшить программную и аппаратную оснащенность компаний, обеспечить постоянную доступность сегментов облака в

любое время [1].

Однако одновременно с количеством получаемых преимуществ возрастает необходимость непрерывного контроля и управления процессами в облаке.

Шифрование передаваемых данных является одним из ключевых механизмов защиты информации в существующих облачных сервисах. Ввиду постоянного развития сферы ИТ-услуг возникает необходимость осуществления обработки зашифрованных данных без раскрытия секрета вычислительным сервисам. Такую возможность дает применение алгоритмов гомоморфного шифрования. В существующем многообразии схем гомоморфного шифрования ввиду наличия некоторых преимуществ выделяются алгоритмы полностью гомоморфного шифрования, эффективная практическая реализация которых требует разработки протоколов и схем для различных категорий облачных систем.

В рамках исследования был проведен анализ существующих программных реализаций схем полностью гомоморфного шифрования [2-4], которые оказались неприменимы в реальных сервисах ввиду создаваемых ограничений для пользователей облака. Также были рассмотрены различные библиотеки [5-7] для разработки на различных языках программирования, применение которых показали лучшие результаты, однако недостаточные для эффективной работы в облаке.

Следующим этапом исследования стала разработка собственной схемы шифрования с применением гомоморфных операций, в основе которой лежит четыре алгоритма (см. рис. 1): алгоритм генерации ключей, алгоритм шифрования, алгоритм дешифрования и алгоритм вычислений, который применяет некоторую функцию к полученным шифротекстам для получения значения результатов работы некоторой функции, идентичной значению функции при проведении операций с исходными сообщениями.

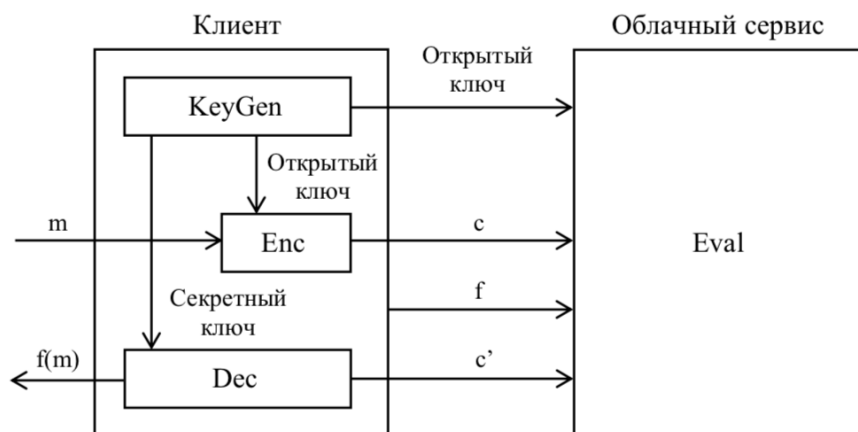


Рис. 1. Основные алгоритмы разрабатываемой схема гомоморфного шифрования

При генерации ключевой информации входными параметрами являются 3 значения: размерность решетки, длина битов коэффициентов в генерирующем полиноме и размер открытого текста. Далее задается генерирующий полином, который и становится так называемой основой нашей решетки и вычисляется обратное к генерирующему полиному по модулю неприводимого полинома $f_n(x)$. После проведенных операций формируется значение открытого ключа из определителя решетки, значения, заданного как отношение 1-го и 0-го коэффициентов полинома обратного генерирующему, размера решетки и размера открытого текста. В качестве секретного ключа берется коэффициент, удовлетворяющий особому условию. На этапе шифрования зашифрованный текст задается с учетом формирования случайного вектора шума. Также на этапе шифрования осуществляется маскирование открытого

текста для затруднения возможности восстановления исходного вектора шума из зашифрованного текста. Этап дешифрования происходит в обратном шифрованию порядке. Для разрабатываемой схемы шифрования алгоритмы вычислений задается в виде гомоморфных операций сложения, вычитания и умножения.

С целью улучшения эффективности разрабатываемой схемы необходимо была произведена оценка диапазона дешифрования. При нахождении зависимости от случайного вектора шума с помощью введения дополнительного параметра безопасности против гибридных атак и использовании метода оценки бесконечной нормы было добавлено условие при выборе генерирующего полинома для осуществления успешного дешифрования без увеличения вектора шума.

В качестве практической реализации разрабатываемой схемы шифрования определена биометрическая аутентификация на основе вычисления безопасного расстояния Хэмминга. Входными данными являются два двоичных вектора, которые шифруются и далее упаковываются двумя разными методами. Далее вычисляется расстояние Хэмминга с использованием одной операции сложения, одной операции вычитания и одной операции умножения (выбор конечной реализации разрабатываемой схемы шифрования был осуществлен на основе наличия необходимых математических операций при выполнении обработки данных).

Основным улучшением эффективности работы схемы шифрования является параллельные вычисления некоторых компонентов при генерации ключевой информации, осуществление быстрой проверки корректности и гарантируемость теоретического диапазона дешифрования. Дополнительный эксперимент сравнения эффективности разработанных методов генерации ключа показывает, что итоговый предложенный алгоритм в среднем на 25% эффективнее.

На рис. 2 представлена блок-схема этапов программной реализации разработанной методики. На этапе первичной настройки криптосистемы сервер аутентификации *A* генерирует открытый ключ pk и секретный ключ sk с помощью разработанной схемы шифрования. Затем сервер *A* распространяет только открытый ключ pk как на клиентский сервер *C*, так и на вычислительный сервер *S*. На этапе вычислений клиентский сервер *C* генерирует вектор признаков *A* из биометрических данных клиента (отпечаток пальцев), шифрует *A* и отправляет зашифрованный вектор признаков с идентификатором клиента на вычислительный сервер *S*. Вычислительный сервер *S* сохраняет зашифрованный вектор признаков в базе данных в качестве шаблона с идентификатором клиента. На этапе осуществления аутентификации клиентский сервер *C* генерирует вектор признаков *B* из биометрических данных клиента, шифрует *B* и отправляет зашифрованный вектор признаков с идентификатором клиента на вычислительный сервер *S*. Вычислительный сервер *S* извлекает шаблон, соответствующий идентификатору клиента, из базы данных *Data*, далее сервером *S* вычисляется зашифрованное расстояние Хемминга для *A* и *B* и отправляются только зашифрованные данные на сервер аутентификации *A*. Сервер аутентификации *A* расшифровывает зашифрованные данные с помощью секретного ключа sk , чтобы получить расстояние Хемминга. Сервер *A* возвращает положительный или отрицательный результат аутентификации, в зависимости от предварительно определенного порога совпадения аутентификационных данных.

Оценка эффективности методики основана на выборе ключевых параметров схемы шифрования, анализе уровня гарантируемой безопасности, который тесно связан с стойкостью атаки на уменьшение решетки, а также ресурсоемкости разработанной методики в сравнении с существующими реализациями. Для заданных наборов ключевых параметров был рассчитан искомый коэффициент γ , значение которого говорит об относительной однородности схемы и стойкости к атакам на декодирование решетки.



Рис. 2. Блок-схема программной реализации разработанной методики

При сравнении разработанной методики с похожими программными реализациями наблюдается более высокая производительность и более короткий размер зашифрованного текста относительно существующих разработок (таблица).

Таблица

Сравнение существующих реализаций схем полностью гомоморфного шифрования

Название	Размер векторного признака	Скорость вычисления расстояния Хемминга	Размер шифротекста
SCiFI	900 бит	310 мс (на 8-ядерном процессоре AMD Opteron 2,6 ГГц с 1 ГБ памяти)	230 КБ
Протокол Карацубы и Монтгомери	2048 бит	150 мс (на процессоре Intel Core 2 Duo 2,13 ГГц с 3 Гбайт память)	262 КБ
Разработанная методика	2048 бит	18,10 мс (на процессоре Intel Xeon X3480 с тактовой частотой 3,07 ГГц и 16 ГБ памяти)	19 КБ

В разработанной методике все векторы функций, обрабатываемые вычислительным сервером, хранятся в зашифрованном виде, что делает возможным использование облачного сервера для аутсорсинга хранения шаблонов и вычислительных ресурсов для осуществления подсчета и сравнения безопасного расстояния Хемминга. Кроме того, наличие двух методов упаковки дает дополнительное преимущество, заключающееся в том, что кража идентификационных данных не приведет к полной компрометации работы криптосистемы. Разработанная методика также будет гарантировать более высокий уровень информационной безопасности, если сервер аутентификации правильно управляет секретным ключом sk и является доверенным.

Разработанная методика позволяет построить облачную систему, основным механизмом обеспечения безопасности которой является разработанная схема полностью гомоморфного шифрования. Применяемая схема полностью гомоморфного шифрования позволяет проводить неограниченное количество операций сложения и умножения над зашифрованными данными, оставляя аргументы и значение функции вычислений для обрабатывающей облачной платформы в секрете. В ходе проведения дополнительных экспериментов было выяснено, что разработанная методика применима в любой модели предоставления облачных услуг.

Перспективами дальнейшей работы является применение разработанной методики для организации эффективного виртуального хранилища данных с применением алгоритмов гомоморфного шифрования.

Литература

1. Rittinghouse J.W. and Ransome J.F., Cloud computing: implementation, management, and security – CRC press. 2016. 340 p.
2. Gentry C., Sahai A., and Waters B., Homomorphic encryption from learning with errors: Conceptually-simpler, asymptotically-faster, attribute-based, in Advances in Cryptology–CRYPTO 2013. C. 75-92. Springer. 2013.
3. Brakerski Z., Vaikuntanathan V., Lattice-based FHE as secure as PKE, in Proceedings of the 5th conference on Innovations in theoretical computer science. C. 1-12. ACM. 2014.
4. Chen Z., Wang J., Zhang Z., Xinxia S., A fully homomorphic encryption scheme with better key size, China Communications. 11(9). C. 82-92, 2014.
5. Popa R.A., Zeldovich N., Balakrishnan H., CryptDB: A practical encrypted relational BMS. 2011.
6. Porticor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.porticor.com>, свободный (дата обращения: 16.04.2020).
7. Acar A., Aksu H., Uluagac A.S., Conti M., A survey on homomorphic encryption schemes: Theory and Implementation. 2017.

Данилюк Мария Александровна

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

студент группы №Т42503,

направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,

e-mail: Maria-a-d@yandex.ru

Павлова Анастасия Сергеевна

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии

к.э.н., ст. преподаватель,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

e-mail: nastya.s.pavlova@gmail.com

УДК338.439

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

М.А. Данилюк

Научный руководитель – ст. преподаватель, к.э.н. А.С. Павлова

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

Аннотация

Стремительный рост применения технологии блокчейн на мировом рынке и реализация национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» обуславливают актуальность исследования экологических аспектов технологии блокчейн. Блокчейн технология на сегодняшний день является серьезным инновационным прорывом как за рубежом, где были разработаны первые блоки для реализации идеи создания цифровых монет «биткойн», так и в России, где блокчейн развивается быстрыми темпами. В качестве методологии анализа экологических аспектов была выбрана оценка рисков с использованием матрицы вероятностей. Выполненная оценка рисков, позволила выявить и качественно, на основе литературных данных, оценить экологические аспекты в жизненном цикле криптовалюты от потребления энергии и добычи полезных ископаемых для производства вычислительной техники до утилизации опасных электронных отходов в конце жизненного цикла оборудования. Одним из наиболее важных экологических аспектов является потребление энергии. Очевидно, если промышленность продолжит использовать энергию, получаемую при сжигании топлива, это нанесет большой вред окружающей среде в виде загрязнения и выбросов парниковых газов. В результате проведенного исследования, сделан вывод, что, используя традиционные источники энергии в технологии блокчейн, цифровая экономика будет формироваться вразрез с интересами устойчивого развития и принципами низкоуглеродной экономики. Учитывая, что майнинговые компании имеют свои фермы в странах с низкими затратами на электроэнергию, сложность майнинга продолжает расти, увеличивая потребность в электроэнергии. В целях реализации национальной программы

«Цифровая экономика Российской Федерации», переход на возобновляемую энергетику позволит обеспечить прорыв в трансформации существующей экономической модели в цифровую без значительного ущерба окружающей среде.

Ключевые слова

Экологическая оценка, экологический аспект, блокчейн технология, криптовалюта, «зеленая» криптовалюта, энергоэффективность, альтернативная энергетика, устойчивое развитие, цифровая экономика, система экологического менеджмента.

Актуальность темы исследования

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утверждена в декабре 2018 года с целью реализации комплексной цифровой трансформации экономики и социальной сферы России к концу 2024 года. Цифровая экономика направлена на создание устойчивой и безопасной информационно-коммуникационной инфраструктуры высокоскоростной передачи, обработки и хранения больших объемов данных. Технология блокчейн активно используется для формирования цифровой экономики, в частности для «производства» криптовалюты, отслеживания товаров, исполнения контрактов и пр. [1]. Стремительный рост использования технологии блокчейн в мире привлек внимание к его экологическим аспектам, поскольку данная технология основана на использовании значительных вычислительных мощностей, следовательно на потреблении большого количества энергоресурсов. В большинстве случаев используются традиционные невозобновляемые источники энергии, что приводит к истощению природных ресурсов. Для достижения устойчивого развития цифровой экономики необходимо разработать альтернативную стратегию развития блокчейн с использованием возобновляемых источников энергии [2]. Необходимость перехода к новому курсу в развитии «зеленой» или «низкоуглеродной» экономики в области применения технологии блокчейн определяет актуальность выбранной темы исследования [3-5].

Блокчейн представляет собой выстроенную по определенным правилам непрерывную последовательную цепочку блоков, где каждый последующий блок хранит в себе данные всей цепи, начиная с самого первого. Криптографическая подпись связывает между собой все блоки, которые расположены в строгом хронологическом порядке. Такой подход обеспечивает высокую степень безопасности и надежности, что обуславливает актуальность использования в финансовой сфере и не только. Блокчейн технология на сегодняшний день является серьезным инновационным прорывом как за рубежом, где были разработаны первые блоки для реализации идеи создания цифровых монет «биткоин», так и в России, где блокчейн развивается быстрыми темпами. С созданием блокчейна наступила новая эра в области хранения данных. Технология вскоре изменит мир, причем не только в финансовом секторе, но и в правительстве, медицине, логистике, образовании и бизнесе. Технология блокчейна актуальна в области защиты людей от мошеннических схем и в других областях, где требуется работа с большими данными. Конечно, этой системе присуще как преимущества, так и недостатки. Блокчейн делает передачу данных быстрее, безопаснее и дешевле, поскольку исключает участие посредников, обеспечивает безопасность информации, работает автоматически и снижает риск человеческих ошибок. В этой прозрачной базе данных информация защищена от незаконных манипуляций, изменений или искажений частей блокчейна, потому что практически невозможно контролировать все компьютеры, которые работают в Интернете, для создания блоков и цепочек [1]. Правительство Российской Федерации официально объявило о политике полного реформирования государственного аппарата и переориентации приоритетных задач страны на цифровую экономику. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» охватывает широкий спектр

применения технологии блокчейн, в частности в банковской и коммерческой сферах - размещение частных акций малых и средних предприятий в сфере денежного обращения; торговля и погашение крупных залоговых кредитов; работа с пенсионными фондами, фондами социального страхования; документооборот; ипотечное кредитование, земельные кадастры, удостоверения личности и многое другое [3].

Целью научного исследования является проведение экологической оценки технологии блокчейн с целью выявления значимых экологических аспектов и возможностей перехода на использования альтернативных источников энергии для устойчивого развития цифровой экономики.

Таким образом, в рамках научного исследования были поставлены следующие задачи:

- определить сущность технологии блокчейн для производства криптовалюты и ее роль в развитии цифровой экономики;
- провести анализ тенденций развития цифровой экономики и криптовалюты в Российской Федерации и за рубежом;
- идентифицировать и выявить значимые экологические аспекты криптовалюты в соответствии с требованиями международного стандарта системы экологического менеджмента ISO 14001;
- сформулировать рекомендации по внедрению «зеленой» криптовалюты, а также месту возможного размещения майнинговых ферм в РФ.

Решаемая проблема

Проблема видится в использовании гигантского количества электроэнергии на обеспечение действия технологии блокчейн и использования традиционной энергетики для данных целей. Так как этот процесс основан на использовании значительной вычислительной мощности, которая потребляет большое количество электроэнергии. Новый блок появляется в результате решения сложной криптографической задачи, сродни математической задачи, для этого используются вычислительная техника, которая 24 часа в сутки решает сложные криптографические задачи, используя полные мощности оборудования, таким образом обеспечивается высокая степень безопасности и надежности системы от взлома, и высокая актуальность использования в финансовых системах.

Теоретическую и методологическую основу исследования составили фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросам экологической оценки, энергоэффективности, экономики замкнутого цикла. В научной работе использована методология анализа экологических аспектов. Матрица последствий и вероятностей является одним из наиболее распространенных инструментов оценки рисков. В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» данная методология является средством объединения качественных или смешанных оценок последствий и вероятностей для идентификации, анализа и определения уровня риска. В качестве входных данных к процессу используются шкалы, установленные в соответствии с требованиями заинтересованных сторон, и матрица, которая их объединяет. Вероятность следует рассматривать, как возможность наступления события, которое может привести к возникновению риска. Определение вероятности может быть основано на анализе имеющегося опыта, исторических данных, географического месторасположения, политических и социальных аспектах [3-5].

Шкала последствий / воздействий на окружающую среду охватывает весь диапазон рассматриваемых последствий, который необходимо учитывать, и включает в себя финансовые потери, прямые и косвенные затраты, экологические и другие параметры. Диапазон варьируется от критического воздействия до незначительного или

очень низкого. Даже если вероятность возникновения риска мала, но затраты на ликвидацию последствий высокие, то необходимо разработать меры по управлению данным видом риска [3].

Результирующая матрица с указанием вероятности и последствий позволяет определить зоны допустимого риска.

Выбор категории риска преимущественно основан на экспертной оценке. С помощью матрицы вероятностей и последствий авторами проведена идентификация и оценка экологических аспектов, а также определены значимые экологические аспекты и связанные с ними экологические риски (таблица).

Таблица

Анализ экологических аспектов технологии блокчейн

№	Экологический аспект	Влияние на окружающую среду	Вероятность	Уровень воздействия	Риск
1	Потребление энергии для технологии блокчейн	Истощение природных ресурсов	Очень высокий	Критический	Критический
		Загрязнение воздуха (углеродный след)	Высокий	Высокий	Высокий
2	Использование вычислительной техники для технологии блокчейн	Загрязнение воздуха в результате выделения тепла	Очень высокий	Критический	Критический
3	Энергопотребление для охлаждения вычислительной техники	Истощение природных ресурсов	Очень высокий	Высокий	Высокий
4	Потребление редкоземельных металлов для производства оборудования	Истощение природных ресурсов	Высокий	Высокий	Высокий
5	Образование электронных отходов в конце жизненного цикла оборудования	Загрязнение почв опасными отходами	Высокий	Средний	Высокий

Согласно требованиям международного стандарта системы экологического менеджмента ISO 14001 анализ экологических аспектов является основным элементом для дальнейшего управления экологическими рисками.

Анализ экологических аспектов майнинга криптовалюты. Анализ экологических аспектов включает в себя рассмотрение каждой стадии жизненного цикла криптовалюты: от извлечения природных ресурсов для производства вычислительной техники до утилизации электронных отходов, образовавшихся в конце срока службы оборудования. На стадии майнинга цифровых монет проводится оценка воздействия на окружающую среду, а именно потребление электроэнергии для производства криптовалюты и для охлаждения вычислительной техники, выделение тепла во время

работы ферм, а также воздействие на атмосферный воздух в результате выбросов парниковых газов (таблица) [3, 4].

Результаты и обсуждение

Использование редкоземельных металлов для производства вычислительной техники. Редкоземельные металлы признаны экономически и стратегически важными, поскольку являются незаменимыми в высокотехнологичных отраслях, таких как металлургия, солнечная энергетика, медицина, электроника. Промышленность и экономика большинства стран, в том числе стран Европейского Союза, зависят от импортных поставок редкоземельных металлов. Однако основной проблемой редкоземельных металлов заключается в их воздействии на окружающую среду во время добычи, в результате которой образуется большое количество токсичных выбросов.

Потребление энергии для технологии блокчейн

В соответствии со статистикой Digiconomist, в марте 2020 года количество электроэнергии, расходуемой на технологию блокчейн только для майнинга биткоина, превысило 56 тераватт в час в год. По показателю потребления электроэнергии общий уровень майнинга превысил потребление электричества во многих странах, например в Ирландии, Люксембурге, Исландии, Молдове.

Загрязнение атмосферного воздуха (углеродный след)

Анализ австралийского бизнесмена Ника Гогерти показывает, что себестоимость криптовалюты состоит на 90% из затрат на электроэнергию. По его расчетам на каждый мегаватт электроэнергии, расходуемой на добычу биткоинов, в атмосферу выбрасывается 0,65 тонны CO₂. Однако истинное воздействие на атмосферный воздух оценить проблематично, так как использование технологии блокчейн (майнинг) может происходить и в центрах обработки данных, и на фермах, а также дома или в гаражах. Данный факт делает оценку «углеродного следа» очень сложной, поскольку для майнинга используется множество различных типов оборудования.

Загрязнение воздуха в результате выделения тепла и потребления энергии для охлаждения компьютеров

Оборудование для блокчейн, находясь в постоянной работе, выделяет большое количество тепла. Без достаточного кондиционирования помещений техника может перегреваться и выходить из строя. Для правильной работы данного оборудования необходимо поддержание постоянной температуры окружающей среды. Следовательно, требуется дополнительное холодильное оборудование, кондиционеры или вентиляторы, которые в свою очередь потребляют значительное количество электроэнергии.

Образование электронных отходов в конце жизненного цикла оборудования

Большое количество компьютеров и электронного оборудования используются для майнинга. Развитие технологии блокчейн требует модернизации и постоянного обновления майнинговых ферм. Таким образом, образуется значительное количество электронных отходов. Электронные отходы – это один из видов отходов, содержащих электронные и другие электрические устройства, а также их части. Электронные отходы могут иметь высокий класс опасности из-за содержащихся в них веществ, таких как свинец, ртуть, полихлорированные бифенилы, поливинилхлорид и пр.

Анализ источников электроэнергии для технологии блокчейн

Проведен сравнительный анализ технологии блокчейн в зависимости от источника энергии. Для этого был оценен жизненный цикл технологии блокчейн, в соответствии с международным стандартом ИСО 14041, 42 и 43, который включает в себя: производство программного обеспечения, производство электроэнергии для майнинга, производство вычислительного оборудования, производство охлаждающего оборудования. Так как потребление электроэнергии при анализе значимых экологических аспектов является критичным, то была разработана экологическая декларация для технологии блокчейна с учетом сравнительной оценки использования традиционных и альтернативных источников электроэнергии. Проведенный анализ лег в основу экологической декларации, которая позволяет оценить какой источник энергии, используемый для майнинговых ферм, имеет наименьшее воздействие на окружающую среду. В данной работе был проведен сравнительный анализ использования энергии, получаемой на гидроэлектростанции, от ветряных и солнечных установок и ТЭЦ, работающих на природном газе.

По результатам экологического анализа получается, что оказывающей наименьшее негативное влияние на окружающую среду, является гидроэнергетика, особенно по выбросам CO₂, которые приводят к глобальному потеплению, эти выбросы у гидроэнергетики ниже в 13 раз по сравнению с солнечной энергетикой, в 23 раза по сравнению с ветряной энергетикой и в 323 раз по сравнению с традиционной энергетикой. Таким образом наиболее перспективной является гидроэнергетика.

Определение возможного места размещения майнинговых ферм на территории Российской Федерации

Был проведен анализ стоимости работы майнинговых ферм в 23 странах по стоимости электроэнергии за 1 кВт*ч для промышленности. Наибольшая стоимость осуществления технологии блокчейн на Кипре, а наименьшая в США. В свою очередь Российская Федерация занимает второе место.

При проведении оценки территории Российской Федерации с учетом климатических/погодных условий, стоимости электроэнергии и наличия доступной гидроэнергетики было выявлено, что наиболее подходящими регионами России для расположения майнинговых ферм, являются Мурманская область, где стоимость за 1 кВт*час электроэнергии для промышленности составляет 3,39 рубля, прохладный климат и более 92% электроэнергии вырабатывается при помощи гидроэлектростанций. А так же Иркутская область, где стоимость электроэнергии составляет 2 рубля 68 копеек за 1 кВт*час, довольно-таки прохладный климат и более 69% электроэнергии вырабатывается при помощи гидроэлектростанций.

Заключение

Блокчейн оказывается перспективной технологией, и с каждым годом он все более уверенно распространяется в различных направлениях. Криптовалюта является одним из примеров применения технологии блокчейн. Тенденция развития цифровых денег отражает интерес правительства к криптовалюте. Хотя необходимо обращать внимание на возможные угрозы и слабые стороны системы и на основе этого анализа принимать обоснованные решения о распространении криптовалюты на национальном уровне и использовании технологии блокчейна в России и возможной замене в России традиционных источников энергии на альтернативные, такие как гидроэнергетика, а также выбор региона в зависимости от стоимости электроэнергии, климата.

Анализ экологических аспектов является важным элементом при разработке нового продукта или услуги. Также это применимо для оценки воздействия новых технологий на окружающую среду. Выполненная оценка рисков, позволила выявить и

качественно, на основе литературных данных, оценить экологические аспекты в жизненном цикле криптовалюты от потребления энергии и добычи полезных ископаемых для производства вычислительной техники до утилизации опасных электронных отходов в конце жизненного цикла оборудования. Результаты анализа экологических аспектов технологии блокчейн и использования альтернативных источников электроэнергии в скопе с климатическими уже на данном этапе концептуально могут служить для выбора стратегии устойчивого развития цифровой экономики, стать своеобразным «входом» в процессы принятия решений.

Учитывая, что майнинговые компании имеют свои фермы в странах с низкими затратами на электроэнергию, сложность майнинга продолжает расти, увеличивая потребность в электричестве, поэтому индустрии криптовалюты и применения технологии блокчейн нужны альтернативные решения и вполне вероятно, что возобновляемые источники энергии могут играть большую роль в ближайшем будущем.

Теоретическая значимость результатов научного исследования заключается в развитии теоретических и методических положений по повышению эффективности управления развитием цифровой экономики. Выводы, полученные в результате исследования, дают новые знания об экологических аспектах технологии блокчейн, расширяют представления об устойчивом развитии цифровой экономики.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов исследования и выводов представителями системы управления реализацией национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

Литература

1. Pilkington Marc. Blockchain Technology: Principles and Applications. Research Handbook on Digital Transformations, edited by F. Xavier Olleros and Majlinda Zhegu. USA, EdwardElgar. 2016. p. 225-254.
2. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Пшеничников В.В., Тюлин А.С. Криптовалюта и технологии в цифровой экономике: генезис развития. Журнал Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономика. 10 (5) (2017) 9-22. DOI: 10.18721 / JE.10501.
3. Павлова А.С., Данилюк М.А., Сергиенко О.И., Павлов А.С. Экологическая оценка криптовалюты для устойчивого развития цифровой экономики // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2019. № 3(38). С. 118-127.
4. Pavlova A., Daniliuk M., Sergienko O., Savoskula V., Pavlov A. Environmental aspects of blockchain technology in accordance with ISO 14001 requirement // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2019. 2019. Т. 19.- № 5.3. С. 267-274.
5. Daniliuk M., Pavlova A., Sergienko O., Pavlov A. Environmental aspects analysis of cryptocurrency mining (статья) // CYSENI 2019, May 23-24, Kaunas, Lithuania. 2019. pp. II-63-70.

Елховская Любовь Олеговна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

студент группы №С42131с,

направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика,

e-mail: lelkhovskaya@itmo.ru

Ковальчук Сергей Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

к.т.н. доцент,

e-mail: kovalchuk@itmo.ru

УДК 004.942

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПАЦИЕНТАМ С ХРОНИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

Л.О. Елховская

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.В. Ковальчук

Работа выполнена в рамках темы НИР №619413 «Интеллектуальные технологии структурирования, интеграции и анализа разнородных данных и знаний при построении интерпретируемых предсказательных моделей в задачах медицины и здравоохранения».

Аннотация

В работе представлен метод автоматического построения моделей бизнес-процессов по данным и подходы к их оптимизации и интерпретации. Реализованное технологическое решение было протестировано и оценено на журнальных данных из медицинских информационных систем. Проведены эксперименты по интеграции полученных результатов в задачах предсказательного моделирования и кластеризации.

Ключевые слова

Интеллектуальный анализ процессов, бизнес-процесс, автоматическое обнаружение процессов, оптимизация моделей, интерпретация моделей, интеллектуальный анализ данных, медицина и здравоохранение, хронические заболевания.

Введение

Интеллектуальный анализ процессов (англ. *ProcessMining*, далее сокр. – РМ) – достаточно молодая дисциплина и многообещающий подход к анализу и улучшению внутренних рабочих процессов, присутствующих практически во всех организациях и областях. РМ использует методы интеллектуального анализа данных в управлении бизнес-процессами, т.е. сочетает в себе подход, основанный на данных, и классический анализ процессов на основе моделей. С помощью техник РМ знания извлекаются из журналов событий, хранящих регулярно записываемые данные, при этом сами данные не анализируются с целью поиска закономерностей в них. Цель РМ – обнаружить более

высокоуровневые отношения, чтобы взглянуть на реальные и (возможно) непредусмотренные в организации процессы для дальнейшей их оптимизации.

Большинство фирм и предприятий имеют информационные системы, в *протоколе*, или *журнале событий*, которых регистрируются идентификатор случая, время, результат и статус выполненных действий, информация об исполнителях, их взаимодействиях и т.п. РМ позволяет автоматически строить модели (карты) бизнес-процессов по данным журналов событий. Однако результат часто не достигает необходимого соотношения между сложностью модели и точностью её подгонки и возникает необходимость в дополнительной ручной настройке. Более того, последующий анализ модели обычно требует её интерпретации, которая может зависеть как от сложности модели, так и от согласованности состояний внутри неё. Таким образом, одна из проблем РМ — получение адекватной модели, которая была бы понятна как для аналитиков и предметных экспертов, так и для обычных пользователей, и была бы интерпретируемой с обеих точек зрения, а также хорошо и точно отражала процессное поведение. Эта проблема наиболее остро стоит при работе со сложными процессами, существующими в разнородных системах, например, в здравоохранении. Зашумлённые и неструктурированные данные могут способствовать обнаружению переобученных, сложных (*spaghetti-* и *lasagna-like*) и не интерпретируемых моделей или потере части процесса.

РМ имеет множество задач и применений в сфере здравоохранения [1] с целью помочь медицинским организациям улучшить систему управления персоналом и ресурсами и, тем самым, более эффективно предоставлять лечение пациентам. Исследования в этой области в основном посвящены поиску клинических путей и «узких мест» в них, расчёту индикаторных показателей процесса и его анализу. Сложные процессы в здравоохранении с трудом поддаются структуризации из-за их вариативности и ситуативного характера, а также требуют предметных знаний. Существует потребность в гибком и адаптируемом решении, способном автоматически обрабатывать большой объём данных, для нахождения корректных, понятных и интерпретируемых моделей процессов.

Разработанное решение

Предложенный алгоритм синтеза моделей процессов включает идеи FuzzyMiner [2], который, в свою очередь, происходит от одного из первых алгоритмов извлечения процессов Markov. Основная идея заключается в нахождении наиболее вероятных событий и переходов между ними с помощью оценки их *значимости* — относительной частоты появления во всём логе или в отдельных случаях реализации процесса. В результате алгоритм строит модель процесса в терминах нечёткой логики, которая не гарантирует достижимость вершин или даже связанный граф. Поэтому на полученном ориентированном графе дополнительно выполняется обход в глубину два раза, чтобы проверить, является ли каждая внутренняя вершина потомком начальной и родителем конечной. После обработки возможных ситуаций при проверке условий модель представляет собой исполняемый процесс в интуитивно понятной форме. Зелёная вершина в модели процесса обозначает его начало и показывает число случаев реализации процесса, а красная вершина — терминальное состояние. Внутренние вершины и рёбра графа показывают абсолютные частоты событий и переходов соответственно: чем больше значение, тем темнее или толще элемент.

Затем был предложен и реализован подход, основанный на комбинированной оценке сложности и точности модели. Для нахождения баланса между точностью и сложностью модели процесса может быть решена задача многоцелевой (в общем случае) оптимизации (1), где критерии обычно противоречат друг другу (более высокая сложность соответствует лучшей подгонке под данные). В области управления бизнес-

процессами сложная модель может быть определена как модель, с помощью которой процесс трудно анализировать, понять или объяснить. Следовательно, структура модели может служить показателем её сложности, тесно связанной с понятием интерпретируемости. Средняя степень графа может быть использована для численной оценки сложности модели процесса. Предложенный вариант, напрямую зависящий от числа рёбер и обратно пропорциональный числу вершин, позволяет сократить число переходов и оставить наиболее значимые из них, при этом не «укоротить» модель процесса. Ниже приводится формальная постановка задачи.

Пусть p – алгоритм идентификации модели процесса из журнала событий. $X^l = (e_i)_{i=1}^l$ – выборка из журнала событий, где l – её размер, e_i – переход между двумя последовательными событиями, p_{e_i} – вероятность появления перехода e_i в логе (по случаям). Пусть $p(X^l) = G(V, E)$ – ориентированный граф (модель процесса) с множеством вершин V и множеством рёбер E такими, что $|V| = n, |E| = m, n \leq m$.

Пусть $P = \{p(X^l, \theta) | \theta \in \Theta\}$ – модель алгоритмов, где $\Theta = [0; 100] \times [0; 100]$ – область определения параметров p , уровней (порогов) отображения событий и переходов. Необходимо найти алгоритм p в модели P , который минимизирует Q на X^l :

$$Q(p, X^l) = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l c(e_i) + \lambda \cdot \frac{m}{n} \rightarrow \min_{\theta}, \quad (1)$$

где

$$c(e) = \begin{cases} 1, & (e \notin E) \wedge (e \in X^l) \text{ для всех случаев,} \\ p_e, & (e \notin E) \wedge (e \in X^l) \text{ для некоторых случаев,} \\ \varepsilon > 0, & (e \in E) \wedge (e \notin X^l), \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (2)$$

Точность модели оценивается с помощью расчёта суммарной функции потерь (2), представленной комбинацией техник [3] и [4]. Значения сложности и точности модели используются для её оптимизации в параметрическом пространстве алгоритма идентификации процессов, а коэффициент регуляризации λ определяет возможность легко воспринимать информацию из модели и полноту отображения процесса.

Упрощение модели процесса может быть выполнено не только путём фильтрации событий и переходов, но и их агрегацией. В [2] авторы предложили итеративно агрегировать высоко коррелированные (в контекстном смысле) и незначимые события. В некоторых областях, например, в здравоохранении имеет смысл предложить другой способ абстракции. Весьма вероятно, что в модели будут присутствовать циклы, и это может указывать на наличие отдельных структурных элементов в ней. В здравоохранении они могут представлять собой рутинный комплекс процедур или повторяющиеся медицинские события, реализованные для пациентов. С этой точки зрения можно говорить о нахождении субъекта на некоторой стадии исполнения процесса, или *мета-состоянии*. Чтобы ввести в модели состояния более высокого уровня, позволяющие интерпретировать предметную область, был реализован метод идентификации мета-состояний с помощью структурного анализа карт процессов. Простой цикл является мета-состоянием, если вероятность его появления в журнале событий превышает заданный порог. Было предложено два типа агрегации: (1) события, которые были включены в мета-состояния, могут быть отдельно представлены в модели процесса; (2) все переходы событий (входящие и исходящие рёбра), которые были включены в мета-состояния, перенаправляются в соответствующие мета-состояния (во все или в наиболее часто встречающееся), а сами события исключаются из модели. Такое решение может усложнить или упростить модель процесса, но тем не менее, оно сохраняет важные связи между событиями,

позволяет различать значимые цикличные части процесса и исключения, а также дополнительно интерпретировать процесс.

Эксперименты по обнаружению процессов

С помощью разработанного решения были идентифицированы модели процессов: (а) оказания медицинской помощи в рамках дистанционного мониторинга (ДМ) пациентов с артериальной гипертензией (АГ); (б) осуществления рабочей деятельности и передвижений медицинского персонала в НМИЦ им. В. А. Алмазова.

Программа ДМ для пациентов с АГ осуществляется по следующему сценарию. Пациенты измеряют артериальное давление (АД) и частоту сердечных сокращений (ЧСС) в домашних условиях (обычно утром и вечером). Данные измерений, сделанных тонометром (может быть предоставлен провайдером), передаются на сервер, где они обрабатываются и затем могут инициировать несколько клинических и неклинических событий для участников процесса. Главные клинические события — «Красная зона» и «Жёлтая зона», означающие превышение критического и целевого уровней АД или ЧСС. Операторы и врачи должны отработать эти события, а затем предпринять некоторые действия, например, назначить встречу с пациентом или немедленно связаться с ним в экстренных или неотложных случаях. События «красной зоны» обычно появляются у пациентов, которым ещё не подобрали подходящую терапию. После успешно подобранного лечения «красная зона» переходит в «жёлтую зону» и пациент может быть переведён на программу контроля терапии. Неклинические события, такие как «Новая программа», возникают при регистрации пациента в программе ДМ, «Отсутствие измерений» — при непоступлении на сервер данных от пациента. Программа заканчивается событием «Мониторинг завершён», когда целевые уровни достигнуты («Достигнуты ЦУ») и прибор возвращён провайдеру ДМ («Возврат комплекта»).

По соответствующей модели (рис. 1 (а) или (б)) видно, что программа ДМ начинается с регистрации пациентов и большинство из них имеет повышенные АД/ЧСС: показания измерений превышают целевые и критические уровни в начале процесса лечения. Кроме того, можно отметить порядок отработки событий: сначала оператор реагирует на возникшее в системе событие и, например, связывается с пациентом; затем событие передается врачу, который может, например, запланировать встречу с пациентом, чтобы скорректировать лечение; после чего врач функциональной диагностики составляет полный отчёт о случившемся событии и предпринятых действиях. В модели процесса проведения ДМ также были обнаружены метасостояния, соответствующие событиям «красной зоны» и «отсутствия измерений» (рис. 1, (в)). Действительно, они происходят в большинстве случаев проведения ДМ. Циклы отработки этих событий медицинским персоналом являются основным сценарием реализации программы, поэтому они были определены как значимые и агрегированы в метасостояния.

Более сложный случай обнаружения моделей процессов — работа врачей и медсестёр в медицинском центре, так как поведение медицинского персонала ситуативно и строго не регламентировано и включает в себя широкий спектр лабораторных анализов, процедур, передвижения в рамках центра, коммуникации между отделениями и проч. Модели процессов рассматривались отдельно для каждого медицинского сотрудника. Один из примеров приведён ниже (рис. 2), где количество случаев реализации процесса — число смен. У врачей более узкая область ответственности, поэтому их поведение хорошо удалось отобразить в модели (рис. 2 (а)) так же, как и выявленные метасостояния (рис. 2 (б)), включающие непосредственные обязанности лечащего врача. Модель, скорректированная вручную, может оказаться несостоятельной без экспертной оценки, поскольку трудно сказать,

как должен выглядеть рабочий процесс врача. Поэтому оптимизированный результат алгоритма представляет больший интерес для изучения.

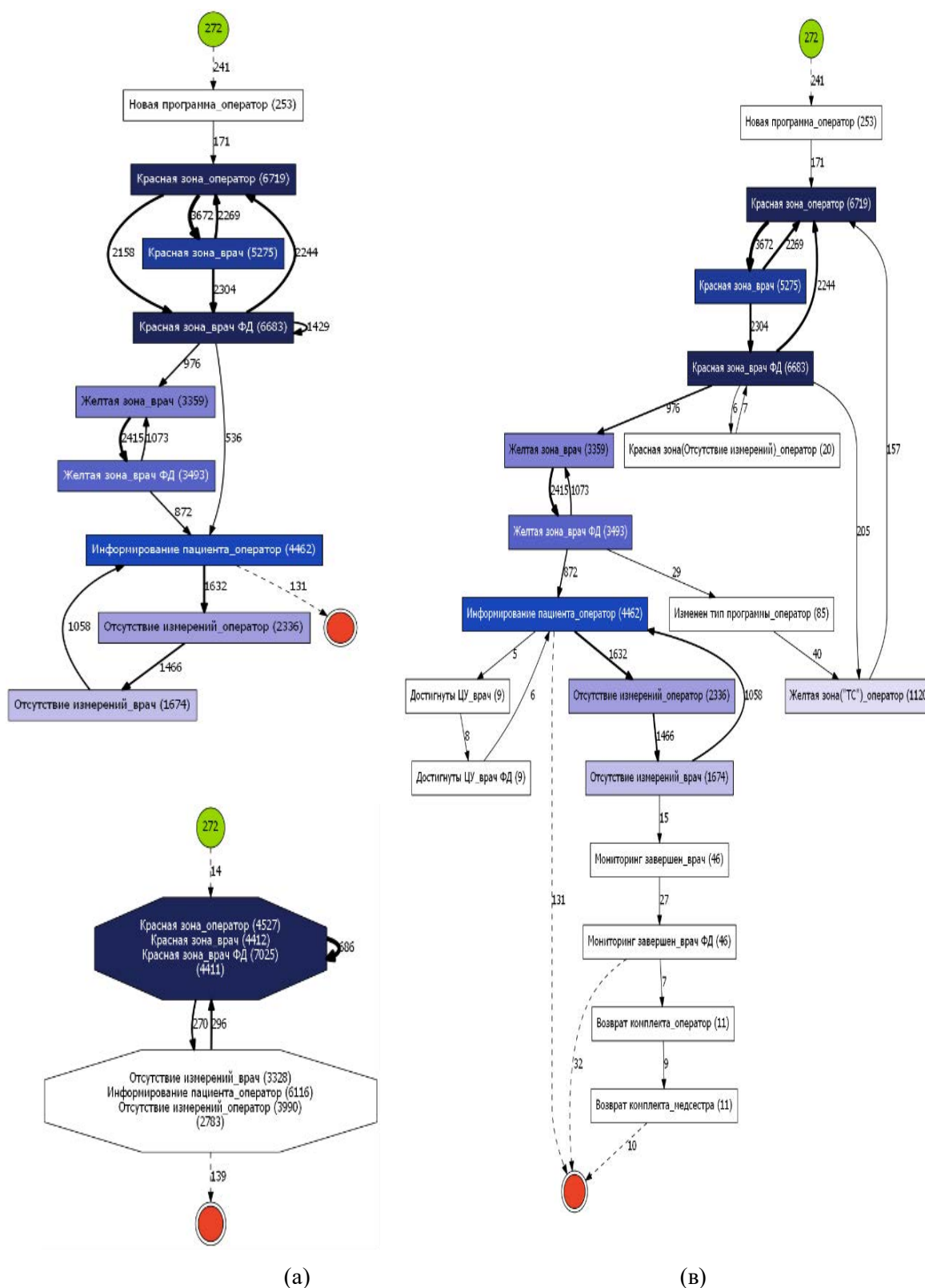
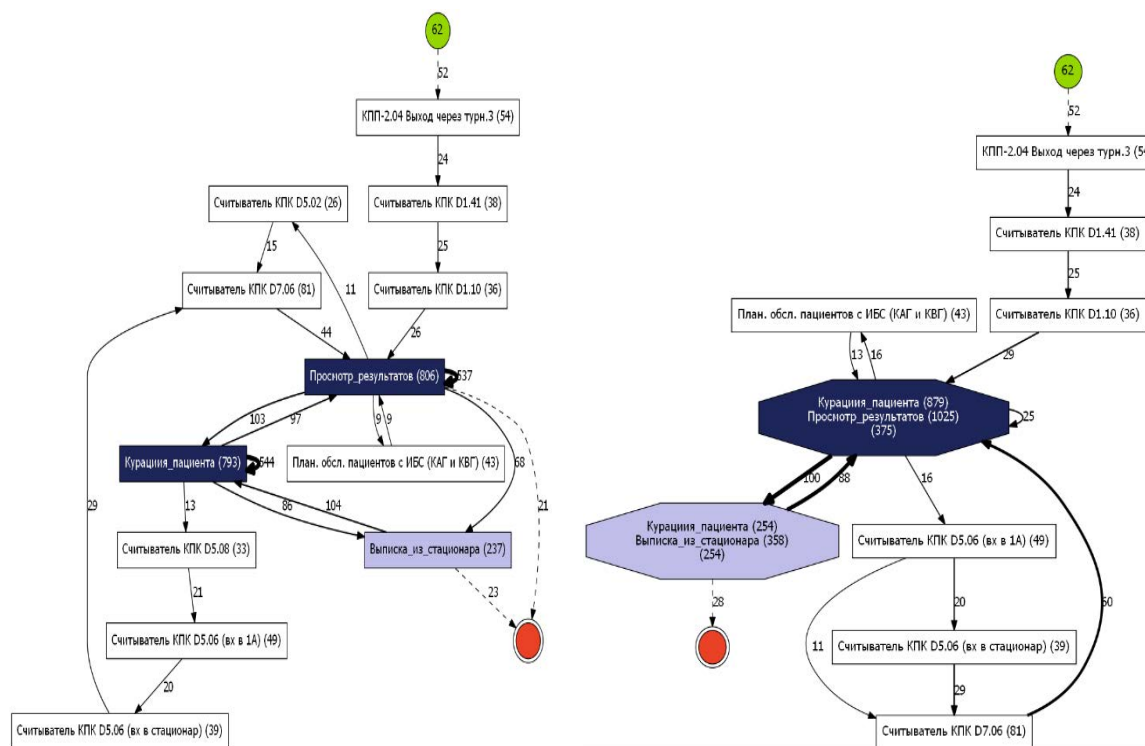


Рис. 1. Модель процесса проведения ДМ для пациентов с АГ:(а) ручная настройка параметров; (б) оптимальные параметры; (в) оптимальные параметры с агрегацией



(а)(б)

Рис. 2. Модель рабочего процесса и передвижений внутри медцентра врача-кардиолога:
(а) оптимальные параметры; (в) оптимальные параметры с агрегацией

Эксперименты по интеграции решения

Дополнительно были проведены эксперименты по интеграции решения в предсказательном моделировании и кластеризации. В первом случае была сформулирована задача бинарной классификации [5] на данных пациентов, участвовавших в ДМ. Данные включали показания измерений АД/ЧСС, пол, возраст пациента, длительность программы, регион и область проживания. Классы были представлены как контролируемое и неконтролируемое состояния АГ, т.е. удерживаются ли пациентом нормальные уровни АД/ЧСС. Для пациентов, найденных в обоих наборах данных (журнале событий и данных измерений), были сделаны предсказания с помощью модели случайного леса (значения С-статистики – 0.874, точность (precision) и полнота (recall) — 0.831). Промежутки времени, в которых пациент находился в одном из состояний контролируемости АГ, были соотнесены с соответствующими мета-состояниями, присутствующими в модели процесса проведения ДМ в период рассматриваемых наблюдений. В результате неконтролируемое состояние АГ в основном соответствовало событиям «красной зоны», агрегированных в соответствующее мета-состояние.

Во втором эксперименте были кластеризованы карты процессов, идентифицированные для каждого пациента, участвовавшего в ДМ. Пространство описаний объектов было сформировано как количество элементов модели (число вершин и рёбер) и частота переходов в потоке событий. Таким образом удалось выявить два кластера (рис. 3), соответствующие пациентам, окончившим лечение и продолжающим программу ДМ. Оба эксперимента демонстрируют адаптивность предложенного решения, а также способы интерпретации мета-состояний по данным.

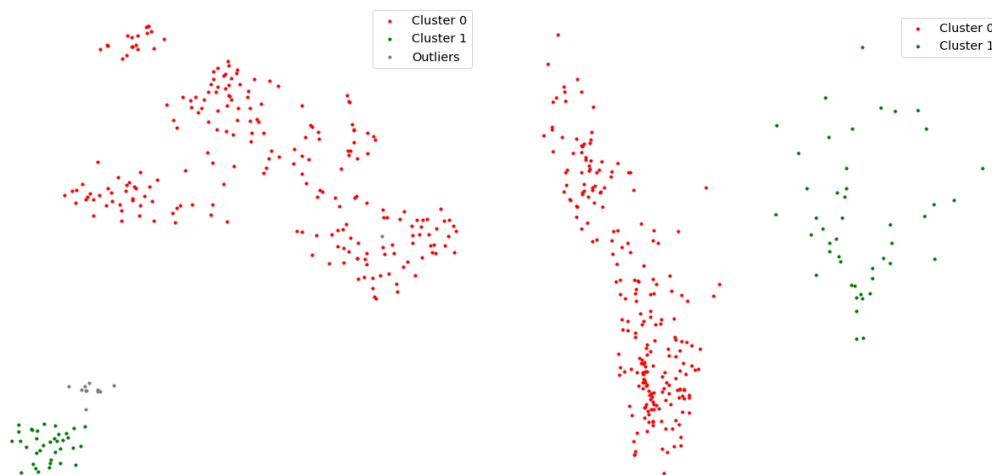


Рис. 3. Результаты кластеризации карт процессов алгоритмом: (а) DBSCAN (визуализация с помощью t-SNE); (б) K-Means (визуализация с помощью PCA)

Заключение

В данной работе были представлены алгоритмы автоматического обнаружения и абстракции моделей процессов и методы их интерпретации. Была поставлена задача оптимизации модели процесса для достижения баланса между её точностью и сложностью. Экспериментально продемонстрированы корректность и качество предложенного решения на примерах в области здравоохранения, одном из самых сложных для анализа процессов случаев. Тем не менее, разработанное технологическое решение может быть использовано в различных областях и задачах, а одно из многообещающих направлений развития работы — расширение возможностей интерпретации с использованием различных источников знаний, включая предметные знания и интеллектуальный анализ данных.

Литература

1. Ghasemi M., Amyot D. Process mining in healthcare: A systematised literature review // International Journal of Electronic Healthcare. Inderscience Enterprises Ltd., 2016. Vol. 9, № 1. P. 60–88.
2. Günther C.W., Van Der Aalst W.M.P. Fuzzy mining - Adaptive process simplification based on multi-perspective metrics // International conference on business process management. Springer Berlin Heidelberg, 2007. P. 328–343.
3. Bloemen V. et al. Aligning observed and modelled behaviour by maximizing synchronous moves and using milestones // Inf. Syst. Elsevier BV, 2019. P. 101456.
4. Rozinat A., van der Aalst W.M.P. Conformance checking of processes based on monitoring real behavior // Inf. Syst. Pergamon, 2008. Vol. 33, № 1. P. 64–95.
5. Sun J. et al. Predicting changes in hypertension control using electronic health records from a chronic disease management program // JAMIA. 2014. Vol. 21, № 2. P. 337–344.

Забелкин Алексей Андреевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М42391,

направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика,

e-mail: a.zabelkin@itmo.ru

Алексеев Никита Владимирович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

к.ф.-м.н.,

e-mail: nikita.v.alexeev@gmail.com

УДК 51-76

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОМНЫХ ПЕРЕСТРОЕК**

А.А. Забелкин

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Н.В. Алексеев

Работа выполнена в рамках темы НИР №718574 «Разработка алгоритмов для определения свойств эволюционных сценариев с учетом физических свойств молекул ДНК».

Аннотация

В работе предложен метод для обнаружения геномных перестроек, происходящих независимо в разных штаммах одного бактериального вида. Ранее подобный анализ проводился вручную, а также основывался на эвристически восстановленном эволюционном сценарии. Разработанный метод позволяет автоматизировать данный процесс, а также не содержит конкретных предположений о ходе эволюции, которые могут быть не выполнены в реальности.

Ключевые слова

Геномные перестройки, бактериальные геномы, теория графов, признаки на филогенетических деревьях

Бактериальные геномы удивительно пластичны в ходе эволюции, и геномные перестройки, такие как инверсии, делеции, вставки и дупликации, независимо происходят в геномах разных штаммов, что может служить механизмом адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды. Выявление подобных событий требует кропотливого ручного анализа и проверки согласованности филогенетического паттерна с филогенетическим деревом. Таким образом, возникает необходимость в разработке алгоритма автоматического обнаружения и анализа параллельных перестановок.

Введение

Геномные перестройки – это эволюционные события, меняющие структуру генома. Они играют важную роль в эволюции бактериальных видов, поскольку могут не только менять порядок генов, но и разрушать существующие гены и опероны, создавать новые гены, значительно менять уровень экспрессии генов за счет приближения или отдаления генов от точки начала репликации, смены цепей

(лидирующей и запаздывающей), а также небольших инверсий по гомологичным регуляторным областям.

Инверсии и транслокации являются сбалансированными перестройками, поскольку они не меняют геномный состав вида и общее количество генетического материала в геноме. Делеции, вставки и дупликации приводят к изменению количества копийности некоторых сегментов и как следствие к изменению генетической информации в геноме, поэтому их называют несбалансированными перестройками [1].

Блоки синтении – блоки, состоящие из консервативно расположенных геномных элементов. Как правило, представляет собой набор смежных генов, расположенных подряд.

Филогенетическое дерево – схема ветвления или дерево, отражающие эволюционные отношения между различными организмами, имеющими общего предка.

В данной работе предлагается искать невыпуклые признаки на филогенетическом дереве.

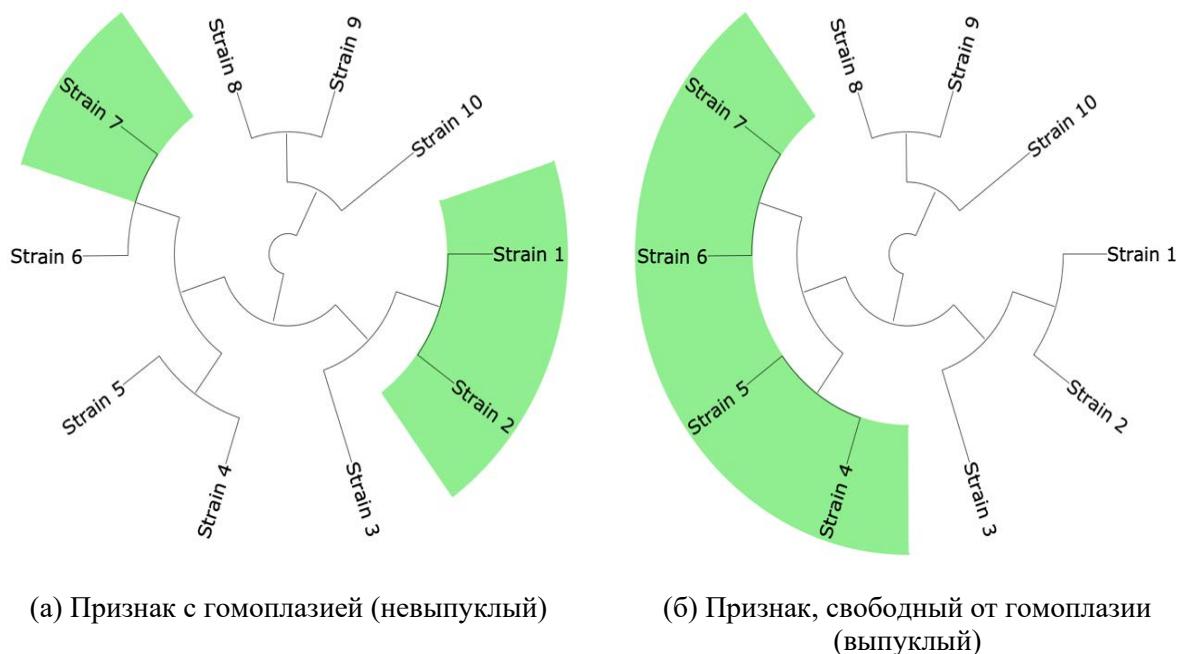


Рис. 1. Примеры возможных признаков для некоторых штаммов

Формально выпуклый признак на листьях – это такой признак, что существует покраска внутренних вершин, такая что, индуцированный подграф каждого цвета будет связан. Данные рассуждения приводят к концепции “приобретения” состояния признака, то есть событие изменения состояния признака на новое. Если событие “приобретения” некоторого признака не возникает независимо, то данный признак называется *свободным от гомоплазии*. На рис. 1 показан пример признака с гомоплазией (невыпуклого) и свободного от гомоплазии (выпуклого) на дереве.

Будем считать, что геном состоит из некоторого набора блоков, идущих подряд. Геном представляется в виде графа, вершинами которого являются начала и концы блоков.

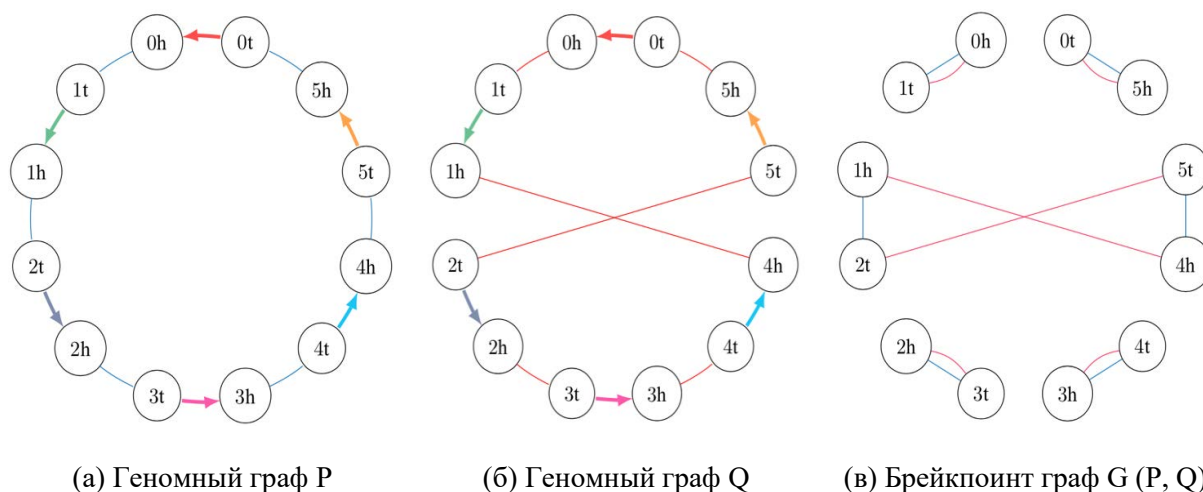


Рис. 2. Построение брейкпоинт графа для двух видов в случае циклических геномов с уникальными однокопийными блоками

А сам граф состоит из направленных блоковых рёбер (показаны толстыми и направленными ребрами на рис. 2а и 2б) кодирующих блоки и их границы, а также неориентированные рёбра смежности, кодирующих смежности (соседства) между блоками. На рис. 2а представлен геномный граф однохромосомного циклического генома $P = (0, 1, 2, 3, 4, 5)$, ребра смежности показаны синим. На рис. 2б представлен геномный граф однохромосомного циклического генома $Q = (0, 1, -4, -3, -2, 5)$, ребра смежности показаны красным.

Брейкпоинт граф $G(P, Q)$ – суперпозиция графов геномов P и Q с удаленными блоковыми рёбрами (рис. 2в). В случае наличия обоими видами одного и того же набора блоков и однокопийных блоков, красные и синие рёбра смежности в полученном графе образуют совокупность чередующихся красно-синих циклов.

Так как в данной работе рассматривается более, чем один штамм бактериального вида, то мы будем использовать множественные брейкпоинт графы. Данный вид графов отличается от классического брейкпоинт графа тем, что содержит ребра из более, чем двух видов.

Таким образом, можно выделить две основные задачи: построения признаков и их состояний на основании синтенных блоков и проверка полученных признаков на выпуклость на филогенетическом дереве.

Методы. Предобработка данных

Для получения нуклеотидных и белковых последовательностей рассматриваемых геномов был реализован скрипт на языке программирования Python 3. В качестве базы данных геномных данных была использована база NCBI, доступ к данным осуществлялся по протоколу FTP.

Филогенетические деревья были построены с помощью метода максимального правдоподобия с использованием утилиты RAxML v8.2.9 по множественному выравниванию ортологичных генов.

Для построения синтенных блоков был использован программный продукт для осуществления полногеномного выравнивания SibeliaZ [2]. SibeliaZ была разработана для данных, состоящих из нескольких похожих геномов, таких как разные штаммы одного и того же вида и основана на графах Де Брейна.

Алгоритмы построения признаков

Для построения признаков несбалансированных геномных перестроек будем для

каждого блока в рассматриваемых штаммах будем строить признак. В качестве признака будем использовать количество копий данного блока в рассматриваемом штамме.

Несмотря на простоту предлагаемого подхода, он позволяет в автоматическом режиме находить важные эволюционные события, такие как параллельные вставки, удаления или дупликации. Ранее подобный анализ осуществлялся вручную для каждого рассматриваемого региона (как правило гена), и его отсутствия или присутствия в данном виде.

Для построения признаков сбалансированных геномных перестроек будем рассматривать все мультиребра графа в цикле и строить признак и его состояния для каждого рассматриваемого ребра. Те штаммы, у которых присутствует данное ребро будем красить в белый цвет, состояния признака будем называть “ребро присутствует”. Далее будем смотреть на все на все возможные четырехугольники с использованием данного ребра и каждый тип четырехугольника будем помечать как отдельный признак и называть состояние признака “инверсия x-y-z-v”, где (x,y) – исходное ребро, (z-v) – ребро, с которым произошла инверсия. Все оставшиеся виды будем помечать как серые и рассматривать исключительно как “поломку” исходного ребра ввиду невозможности формирования более точного утверждения о эволюционном сценарии.

Если ребро присутствует в данном виде, то мы помечаем состояние признака как “ребро присутствует”, иначе проходим до соседних вершин по ребрам этого вида, будем называть их v1_neighbour и v2_neighbour. Далее проверяем образовали ли данные 4 вершины 4-угольник, то есть в графе присутствует ребро v1_neighbour–v2_neighbour. Если четырехугольник существует, аннотируем инверсию в соответствии и текущим набором вершинок как “инверсия x-y-z-v”, иначе как “поломка”.

Проверка выпуклости признака

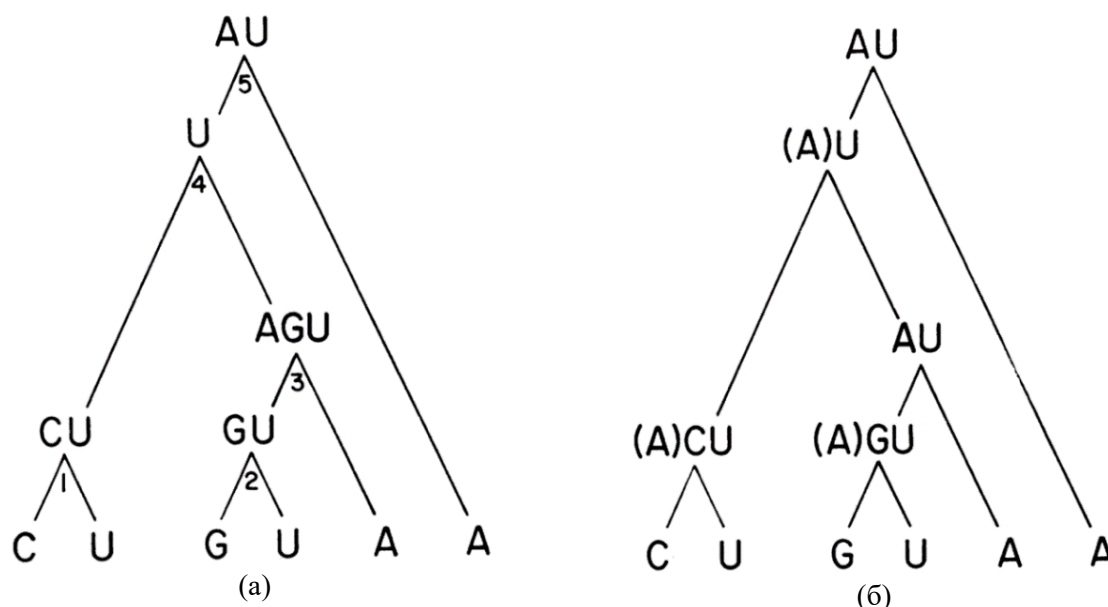


Рис. 3. Реконструкция внутренних состояний нуклеотидной последовательности. (а) Предварительная реконструкция. Каждой предковой вершине соответствует набор возможных состояний, арабскими цифрами подписан порядок рассмотрения соответствующих множеств. (б) Результат работы финальной фазы алгоритма. Нуклеотиды в скобках были выбраны [3]

После построения состояний некоторого признака для всех штаммов из рассматриваемого набора необходимо проверить выпуклость полученного признака. Для решения данной задачи будем использовать адаптированную версию алгоритма

Фитча [3] (рис. 3). Как правило, данный алгоритм используется для восстановления состояний нуклеотидных последовательностей у предков в предположении о наличии парсимонии и используется для поиска эволюционного сценария с минимальным числом замен, также называется алгоритмом поиска максимальной парсимонии.

Но также данный метод можно реализовать для произвольного признака. Важным свойством данного алгоритма является тот факт, что в случае существования выпуклой раскраски для внутренних вершин, данный алгоритм ее найдет и предъявит в явном виде.

При рассмотрении реальных геномных перестроек существует потребность в автоматическом отборе наиболее интересных случаев геномных перестроек. То есть необходимо решить задачу ранжирования перестроек по степени их несогласованности с филогенетическим деревом. Таким образом хотелось получить метрику, позволяющую оценивать степень невыпуклости рассматриваемого признака.

Для решения данной задачи воспользуемся идеей алгоритма, предложенного в [4] и будем восстанавливать внутренние состояния вершин с соответствующими приоритетами. Далее будем считать следующие метрики для оценки невыпуклости некоторого признака:

- Сумма расстояний в филогенетическом дереве между всеми событиями приобретения одного и того же состояния признака посчитанная для всех состояний признака;
- Количество состояний признака, которые приобретались независимо;
- Общее количество событий смены состояния признака для уникальных событий из б).

Так как в случае сбалансированных перестроек также могут быть интересными события параллельной поломки, будем считать следующие метрики для данных видов перестроек:

- Сумма расстояний в филогенетическом дереве между всеми событиями смены состояния для данного признака;
- Общее число событий смены состояния, то есть поломок данного региона.

Кластеризация несбалансированных перестроек по филогенетическим паттернам

В итоге работы алгоритма построения признаков для несбалансированных геномных перестроек для геномов бактериального размера может получаться большое количество признаков ввиду построения признака для каждого полученного блока. Но среди данных блоков встречаются похожие по филогенетическим паттернам, эволюция которых могла быть сцепленной или протекать похожим образом. Обычно для выявления филогенетических паттернов строят филогенетические деревья, отражающие наличие или отсутствие некоторого гена в заданном наборе организмов. А далее вручную ищут похожие по множеству состояний признака деревья.

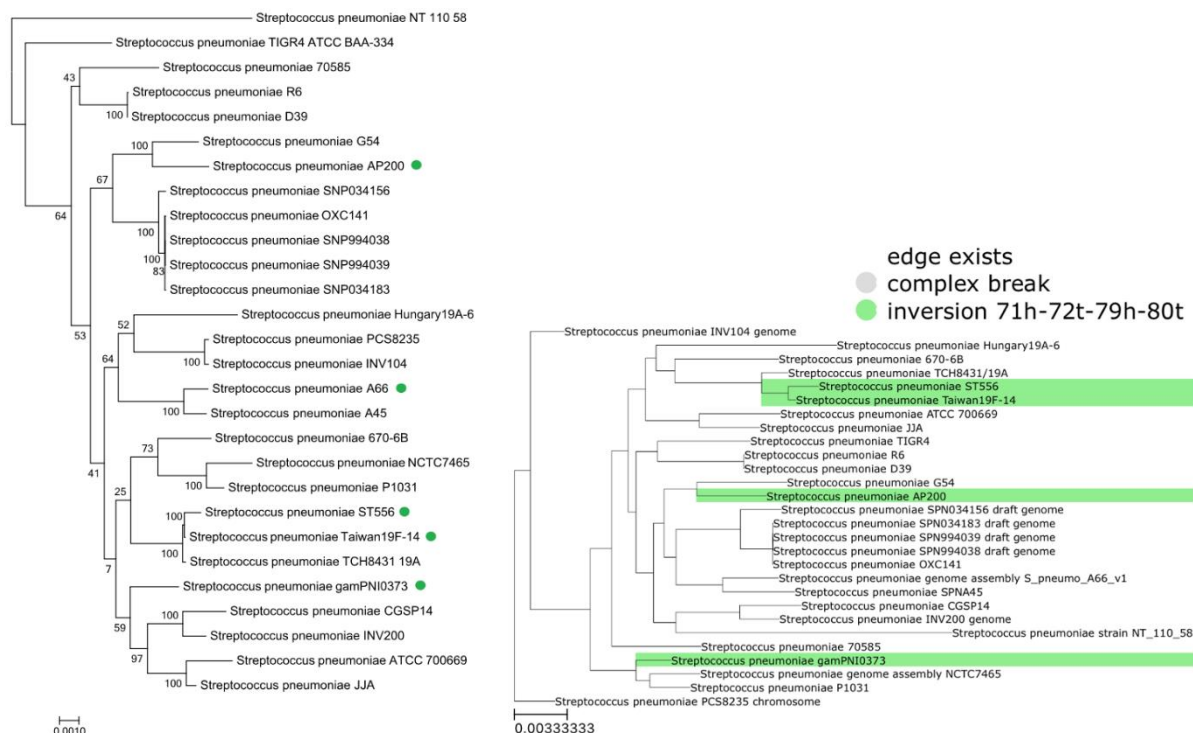
В данной работе подобные паттерны будут построены для полученных блоков, а не для генов, а также будет предложен алгоритм их автоматической кластеризации. В данном алгоритме будем учитывать следующие признаки блоков:

- матрица расстояний, основанная на похожести состояний признака.
- матрица расстояний, в качестве меры расстояния берется первая квартиль наблюдаемого распределения минимальных расстояний между данными блоками во всех рассматриваемых организмах.

Далее суммируем полученные матрицы с некоторыми коэффициентами и проведем иерархическую кластеризацию.

Результаты

Подтверждение литературных случаев параллельных инверсий



(а) Оригинальная статья [5]

(б) Реализованный метод

Рис. 4. Подтверждение найденной инверсии для штаммов вида *Streptococcus*

На датасете трех видов *Streptococcus* из работы [5] были детектированы крупные параллельные инверсии, происходящие у различных штаммов *S. suis*, *S. pneumoniae*, *S. pyogenes*. Также получилось воспроизвести результат и найти параллельную инверсию длиной 15 kb, точками разрыва которой служат гомологичные участки генов, кодирующих поверхностные антигенные белки PhtD и PhtB у *S. pneumoniae* (рис. 4). Данная перестройка приводит к обмену фрагментами данных белков, что приводит к смене поверхностных антигенов и может выступать в качестве механизма антигенной вариации.

Геномы вида *E. Coli*

Алгоритм был опробован на датасете полностью собранных и проаннотированных геномов *Shigella* и *Escherichiacoli* из базы данных GenBank (все доступные на момент апреля 2019). Для шести регионов, которые являются синтетическими у *E. coli*, но вовлеченными в рекомбинацию у шигелл, мы провели детальный анализ брейкпоинтов. Было выявлено, что в границах перестроек находятся различные транспозазы (IS1, IS3, IS4), независимо встроившиеся в те же самые локусы у разных шигелл. Наличие подобных горячих точек может свидетельствовать о давлении отбора на эти регионы.

Единственный фрагмент, который был обнаружен во всех шигеллах, но отсутствовал у всех, даже у патогенных кишечных палочек, содержит фрагмент гена ЕЗ убиквитин-лигазы, фермента, ковалентно присоединяющего убиквитин к белку-мишени для его последующей деградации в протеасоме. Этот ген является представителем семейства (IpaH — invasion plasmid antigen H), имеющий консервативный участок в 250 bp, находящийся до старта транскрипции. Кроме того, в

хромосомах *S. flexneri* мы обнаружили две копии этого фрагмента, расположенные отдаленно на хромосомах.

В рамках данной работы был разработан метод, позволяющий детектировать параллельные эволюционные события. Также были предложены метрики для оценки степени невыпуклости найденного признака для автоматического отбора наиболее интересных геномных перестроек. В качестве верификации результатов работы алгоритма были подтверждены литературные примеры геномных перестроек, а также найдены и описаны новые независимые геномные перестройки, интересные для рассмотрения. Несмотря на то, что данный метод находит параллельные эволюционные события, в дальнейшем полученные результаты требуют аннотации и интерпретации профильным биологом.

Литература

1. Periwal V., Scaria V. Insights into structural variations and genome rearrangements in prokaryotic genomes // Bioinformatics. 2014. Sept. Vol. 31. no. 1. P. 1–9.
2. Minkin I., Medvedev P. Scalable multiple whole-genome alignment and locally collinear block construction with Sibelia Z. 2019. Feb.
3. Fitch W.M. Toward Defining the Course of Evolution: Minimum Change for a Specific Tree Topology // Systematic Zoology. 1971. Dec. Vol. 20. no. 4. P. 406.
4. Erdős P.L., Székely L.A. On weighted multiway cuts in trees // Mathematical Programming. 1994. Feb. Vol. 65, no. 1–3. P. 93–105.
5. Shelyakin P.V., Bochkareva O.O., Karan A.A., Gelfand M.S. Micro-evolution of three *Streptococcus* species: selection, antigenic variation, and horizontal gene inflow // BMC Evolutionary Biology. 2019. Mar. Vol. 19 no. 1.

Леженникова Ксения Александровна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

физико-технический факультет,

студент группы №Z42452,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: ksenia.lezhennikova@metalab.ifmo.ru

Глыбовский Станислав Борисович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

физико-технический факультет,

к.ф.-м.н.,

e-mail: stas@itmo.ru

УДК 537

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАДИОЧАСТОТНОЙ КАТУШКИ ДЛЯ МРТ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО МАГНИТНОГО ЭКРАНА

К.А. Леженникова

Научный руководитель – к.ф.-м.н. С.Б. Глыбовский

Работа выполнена в рамках темы НИР №380187 «Антенны магнитно-резонансных томографов на основе искусственных магнитных экранов».

Аннотация

В данной работе численно и экспериментально продемонстрировано увеличение эффективности работы РЧ катушки типа «птичья клетка» за счет искусственного магнитного РЧ экрана. Впервые было показано, что, заменяя стандартный медный РЧ экран на магнитный, можно снизить собственные потери катушки и увеличить уровень магнитного поля в образце, пропорционального эффективности. Представленная реализация искусственного магнитного экрана представляет собой цилиндрическую гофрированную поверхность, заполненную диэлектриком.

Ключевые слова

Магнитно-резонансная томография, метаповерхность, РЧ катушка, магнитный экран, гофрированная поверхность.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является одним из наиболее информативных и безопасных методов неинвазивной диагностики заболеваний и одним из важнейших инструментов биомедицинских исследований. В МР томографе за возбуждение спинов в сканируемом объекте и детектирование их резонансного отклика, отвечают радиочастотные (РЧ) катушки, представляющие собой антенны, передающие и принимающие РЧ сигнал, источник которого находится в ближней зоне. Исследование и экспериментальная реализация новых видов РЧ катушек позволяет повысить эффективность РЧ системы в режиме передачи и ее чувствительность в режиме приема, что в конечном счете позволит повысить качество и скорость процедуры МРТ. Объемные РЧ катушки типа «птичья клетка» [1] используются в подавляющем большинстве современных МР томографов, они обычно экранированы от внешних систем МР томографа металлическим экраном (электрический РЧ экран), в большинстве случаев представляющий собой сегментированный металлический

цилиндр. Однако ближнее магнитное поле обычного электрического экрана, окружающего катушку, деструктивно влияет на магнитное поле внутри катушки, что значительно ограничивает ее эффективность. Снижение уровня поля происходит из-за того, что при отражении от РЧ экрана электромагнитные поля концентрируются в зазоре между экраном и катушкой, увеличивая диссипативные потери в элементах катушки. Деструктивное влияние экрана на поле внутри катушки можно уменьшить при помощи электромагнитных метаповерхностей (МП) [2]. МП, способные решить эту проблему, имеют большое значение в задачах построения антенн и широко известны как поверхности с высоким импедансом, например, гофрированные поверхности, и используются для создания искусственных магнитных РЧ экранов (англ. – *artificialmagneticshield* или AMS). В МРТ AMS применялись для экранирования различных РЧ катушек, обеспечивая конструктивную интерференцию отраженного поля и первичного поля катушки и улучшая распределения поля внутри сканируемого образца. Этот подход был применен к рамочной поверхностной катушке для МРТ груди на 7 Тл [3]. Численное и экспериментальное исследования показали, что рамочная катушка в присутствии AMS обеспечивает усиление магнитного поля в объекте по сравнению со случаем металлического экрана. Кроме того, AMS применялся для массива дипольных элементов с индивидуальным питанием для МРТ головы человека на 7 Тл [4]. Диполи с AMS обеспечивали на 7% более высокое РЧ магнитное поле в центре образца по сравнению с обычным металлическим экраном при одинаковой мощности передатчика, хоть взаимная связь между диполями и возросла. Однако, что ранее не было исследовано влияние магнитного РЧ экрана на характеристики РЧ катушки типа «птичья клетка», также, как и не было показано увеличения эффективности данной РЧ катушки.

Учитывая, что катушка типа «птичья клетка» является наиболее популярной и применяется в абсолютном большинстве используемых сегодня томографов, исследование возможности улучшения ее характеристик при помощи AMS, представляется крайне актуальной задачей. Целью настоящей работы является исследование, разработка и практическая реализация AMS для приемопередающей РЧ катушки типа «птичья клетка» в МРТ, обеспечивающего большую эффективность, чем у катушки с металлическим экраном. Для решения поставленной задачи была выбрана компактная РЧ катушка типа «птичья клетка» для доклинической МРТ с уровнем поля 7 Тл и настраивалась на Ларморову частоту ядер фтора ^{19}F (280 МГц), численная модель катушки, выполненная в программном пакете CSTMicrowaveStudio 2017, изображена на рис. 1а. Внутри РЧ катушки помещался однородный цилиндрический проводящий образец переменного радиуса R_{sample} , имитирующий сканируемый объект ($\sigma = 0,99 \text{ См/м}$, $\epsilon = 59$). Было проведено численное сравнение катушки в присутствии экрана в виде поверхности идеального магнитного проводника (англ. – *perfectmagneticconductor* или PMC) и медного экрана.

Была рассчитана зависимость создаваемого магнитного поля в центре при фиксированной поданной мощности, что пропорционально эффективности катушки в режиме приема и передачи, от радиуса образца (рис. 1б) и было показано, что усиление магнитного поля за счет применения магнитного РЧ экрана самое высокое для случая, когда катушка содержит небольшой объект. Для больших радиусов образца усиление за счет магнитного РЧ экрана уменьшается и становится незначительным. Другими словами, магнитный РЧ экран не улучшает эффективность сильно нагруженной катушки т.е., когда вся мощность изначально поглощалась образцом и потери в проводниках катушки малы. Численно рассчитанные распределения магнитного поля в центральной поперечной плоскости и его величина в центре катушки при радиусе образца $R_{\text{sample}}=11,5 \text{ мм}$ показаны на рис. 1в и 1г. Видно, что для медного экрана часть энергии магнитного поля концентрируется в зазоре между катушкой и экраном, что

соответствует деструктивной интерференции, для магнитного экрана интерференция становится конструктивной и концентрации полей в зазоре не наблюдается.

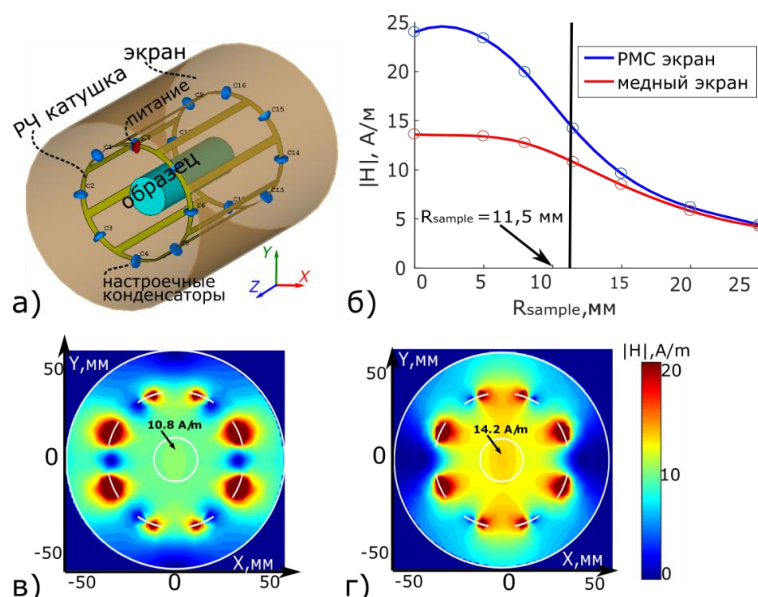


Рис. 1. Численное моделирование катушки типа «птичья клетка» с цилиндрическим экраном: численная модель (а); зависимость модуля магнитного поля в центре РЧ катушки от радиуса образца при фиксированном радиусе экрана (б); распределение модуля магнитного поля в центральной поперечной плоскости катушки для медного экрана (в); РМС экрана (в)

AMS был реализован в виде цилиндрической гофрированной структуры, заполненной материалом с высокой диэлектрической проницаемостью, свойство материала соответствует имеющейся в продаже керамике на основе CaTiO_3 ($\epsilon = 160$, $\tan\delta = 0,0005$). Экран был помещен вокруг РЧ катушки заменяя стандартный металлический, как показано на рис. 2а. Величина и распределение магнитного поля в центральной поперечной плоскости катушки с AMS без потерь в керамике (рис. 2б) идентичны катушке с идеальным магнитным экраном (рис. 1г). В реальной структуре с потерями в керамике эффективность снижается (рис. 2в), однако она все же будет больше примерно на 13% для данного размера образца, чем у катушки с медным экраном (рис. 1в).

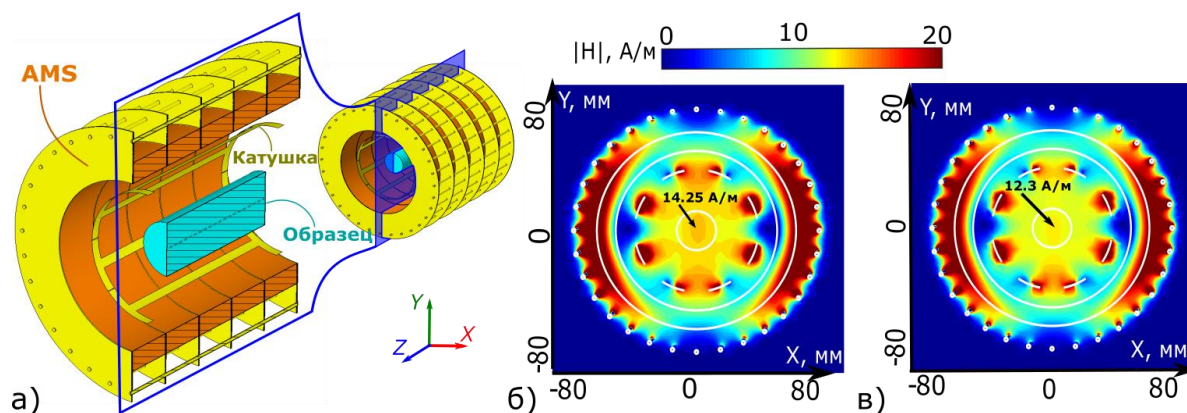


Рис. 2. Численное моделирование катушки типа «птичья клетка» внутри AMS выполненного в виде цилиндрической гофрированной структуры: численная модель (а); распределения модуля магнитного поля внутри РЧ катушки в присутствии AMS без потерь в керамике (б) и с AMS с потерями (в)

Для практической реализации были изготовлены 5 керамических колец со свойствами и размерами как в моделировании. Металлические перегородки гофрированной поверхности были напечатаны на твердых печатных платах и были помещены между кольцами. латунные провода размещены в специальных отверстиях в металлизированных печатных платах и закреплены гайками. Катушка была напечатана на тонкой гибкой печатной плате и закреплена на поликарбонатной трубке, как показано на рис. 3а. Чтобы измерить уровень магнитного поля внутри катушек с металлическим экраном и с AMS, мы использовали векторный анализатор цепей (VNA) и небольшой зонд. Зонд помещался внутри объекта, заполненного жидкостью с параметрами, как в численном моделировании (рис. 3б). Эффективность катушек на рабочей частоте 280 МГц была найдена как $S_{12}^* = S_{12} / \sqrt{(1 - S_{11}^2)}$, что пропорционально создаваемому магнитному полю.

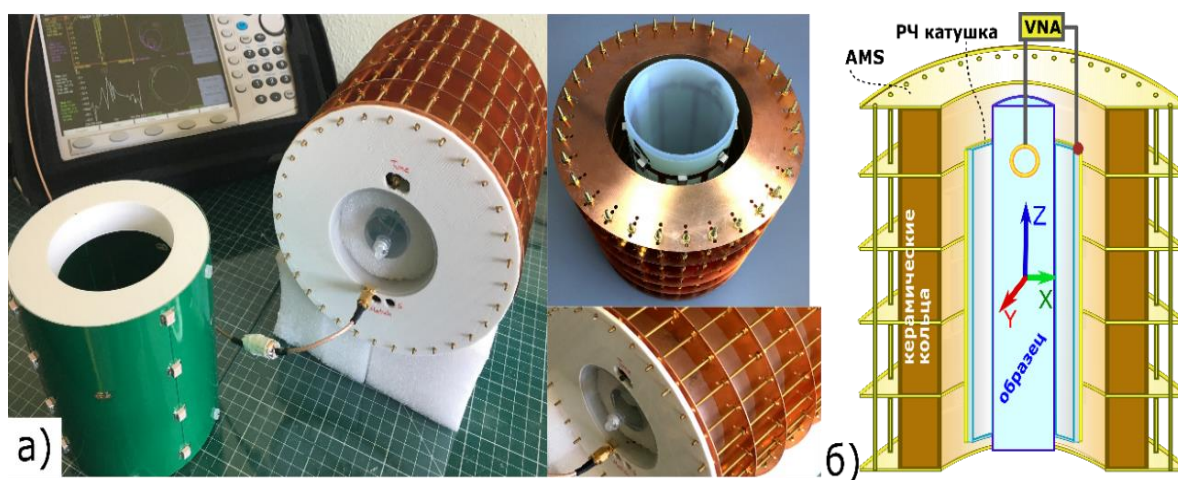


Рис. 3. Проведение стендовых измерений: изготовленный экспериментальный образец РЧ катушки с AMS и с металлическим экраном (а); схема установки для измерения распределения и уровня РЧ магнитного поля сравниваемых катушек (б)

Распределения S_{12}^* для катушки с AMS и с медным экраном, измеренные в отсутствие фантома в плоскости ZY, показаны на рис. 4а. Эти распределения амплитуды поля имеют одинаковую однородность для обеих катушек, что подтверждает результаты численного моделирования. На рис. 4б показано сравнение полученного усиления эффективности из численного моделирования и полученного в ходе описанных выше измерений. Усиление эффективности рассчитывалось как отношение модуля создаваемого магнитного поля в центре катушки типа «птичья клетка» в присутствии рассматриваемого экрана к модулю создаваемого магнитного поля в центре катушки в присутствии медного РЧ экрана. Из графика видно, что полученное из численного моделирования усиление эффективности для идеальной AMS без потерь в диэлектрике (розовая кривая) такое же, как и при для случая катушки с РМС экраном (синяя кривая). В то время как усиление, полученное в эксперименте (черные квадраты), совпадает с данными из моделирования катушки с реалистичным AMS с потерями в керамических частях. Из графика видно, что в отсутствии фантома предложенная катушка, как в эксперименте, так и в численном моделировании, обладает эффективностью выше примерно на 25% по сравнению с катушкой с медным экраном. В случае, когда катушка нагружена на проводящий образец, то катушка с предложенным AMS более эффективна, чем катушка с медным экраном более, чем на 10%.

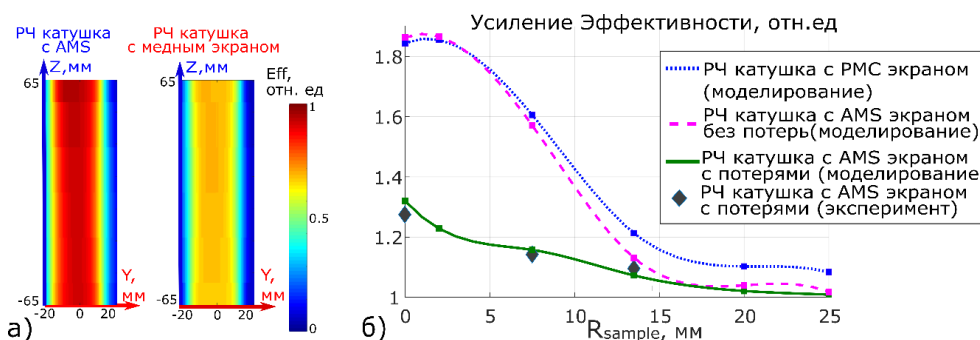


Рис. 4. Результаты измерений: Измеренное значение S_{12}^* , пропорциональное эффективности, для РЧ катушки с AMS и с медным экраном в продольной плоскости катушки (а); полученная из численного моделирования и по результатам измерений зависимость усиления эффективности при замене медного РЧ экрана другими рассматриваемыми РЧ экранами, от размера объекта, помещенного внутрь РЧ катушки (б)

Чтобы продемонстрировать работоспособность предлагаемой катушки в условиях МР-сканера, ее прототип был использован в качестве приемо-передающей катушки в томографе Siemens с уровнем поля 7 Тл (рис. 5а). В катушку был помещен однородный цилиндрический фантом радиусом 27 мм, содержащий водно-фторную смесь. Было показано, что РЧ катушка с AMS может использоваться в сверхвысокопольной томографии как в режиме передачи (выдерживает киловаттные радиочастотные импульсы использованной импульсной последовательности), так и в режиме приема – обеспечивает прием ЯМР сигналов от сравнительно слабых по отклику ядер фтора. В ходе МРТ исследования использовался метод XFL для измерения карты пространственного распределения угла поворота намагниченности (FA) с опорным напряжением 40 В, который пропорционален амплитуде магнитного поля, создаваемого РЧ катушкой во время передачи при фиксированной мощности. Таким образом, по полученным изображениям была восстановлена карта распределения радиочастотного магнитного поля РЧ катушки в присутствии искусственного магнитного РЧ экрана, которая, как и ожидалось, имеет такую же однородность в пределах объема фантома, как и для эталонной катушки. Карты распределения магнитного поля в продольной плоскости представлены на рисунке 5б и 5в.

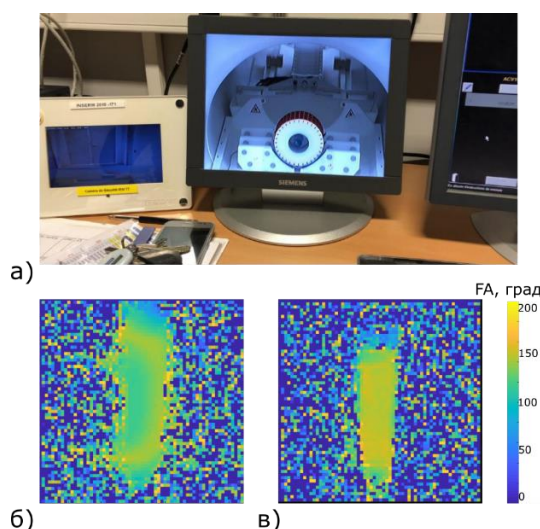


Рис. 5. Эксперимент в МР-томографе: фотография консоли управления томографом при проведении эксперимента, где видна на мониторе катушка сAMS, помещенная в изоцентр магнита в томографе Siemens 7 Тл (а); полученные распределение FA для РЧ катушки с металлическим экраном(б); распределение FA РЧ катушки с AMS (в)

В данной работе было продемонстрировано, что магнитный РЧ экран обеспечивает повышение эффективности для слабонагруженной РЧ катушки типа «птичья клетка» в МРТ. Чтобы продемонстрировать конструктивный эффект интерференции магнитного поля внутри объекта, была предложена практическая реализация AMS в виде цилиндрической гофрированной структуры, который ведет себя аналогично идеальному магнитному экрану. Для рассмотренной катушки было достигнуто увеличение эффективности на 25% без образца, и от 10% для катушки с проводящим образцом. Моделирование подтверждено экспериментом и показана работоспособность катушки в приемопередающем режиме в составе действующего томографа с уровнем поля 7 Тл. Демонстрируемый конструктивный эффект ближнего поля внутри РЧ катушки «птичья клетка» за счет отражения от AMS имеет практическое значение только в случае сравнительно слабой нагрузки на проводящий образец. В методах использования МРТ сверхвысокого поля в биомедицинских исследованиях головного мозга плохая нагрузка РЧ катушек может иметь место при относительно небольшом диаметре головы добровольца. Кроме того, для доклинических катушек могут иметь место значительные изменения размера образца в случае сканирования лабораторных животных, таких как грызуны. Наконец, недостаточная нагрузка катушки типа «птичья клетка» при проведении клинической процедуры МРТ пациентов становится проблемой при сканировании детей в полноразмерных томографах с полем 1,5-3 Тл. Следовательно, существует область практического применения изученного в данной работе эффекта, где применение предложенной реализации искусственного магнитного экрана приведет к повышению соотношения сигнал шум и, следовательно, улучшению качества изображений МРТ.

Литература

1. Vaughan J.T., Griffiths J.R. (ed.). RF coils for MRI. – John Wiley & Sons. 2012. 474 с.
2. Glybovski S.B., Tretyakov S.A., Belov P.A., Kivshar Y.S., Simovski C.R. Metasurfaces: From microwaves to visible //Physics reports. 2016. № 634. С. 1–72.
3. Chen Z., Solbach K., Erni D., Rennings A. Electromagnetic field analysis of a dipole coil element with surface impedance characterized shielding plate for 7-T MRI //IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2016. V. 64. №. 3. С. 972–981.
4. Chen Z., Solbach K., Erni D., Rennings A. Improving B1 Efficiency and Signal-to-Noise-Ratio of a Surface Coil by a High-Impedance-Surface RF Shield for 7-T Magnetic Resonance Imaging //IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2016. V. 65. №. 3. С. 988–997.

Цымбал Сергей Алексеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

Химико-биологический кластер,

студент группы № А42424,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: Serj-ponchik@yandex.ru

Штиль Александр Альбертович

Год рождения: 1958 г

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

д.м.н., доцент,

e-mail: shtil@scamt-itmo.ru

УДК 576.08

МЕХАНИЗМЫ ГИБЕЛИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ПРИ КОМБИНИРОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ И N-АЦЕТИЛЦИСТЕИНА

С.А. Цымбал

Научный руководитель – д.м.н., доцент А.А. Штиль

Аннотация

Используя окислительный стресс как активатор множества путей, ведущих к смерти клетки возможно преодолеть лекарственную устойчивость раковых клеток. В данной работе исследовались прооксидантные свойства новой комбинации наночастиц оксида меди (CuO) и N-ацетилцистеина (NAC). Было обнаружено, что N-ацетилцистеин существенно усиливает цитотоксичность CuO, при с образованием активных форм кислорода, вызывающих окислительный стресс и смерть клетки. Механизм клеточной гибели неочевидный, данные указывают на его скорее некротическую природу.

Ключевые слова

Наночастицы оксида меди, N-ацетилцистеин, окислительный стресс, лекарственная устойчивость опухолевых клеток, противоопухолевая терапия.

Введение

Довольно часто при химиотерапии раковых заболеваний возникает явление лекарственной устойчивости. Чтобы бороться с ним предлагается множество подходов, однако, зачастую удовлетворительного эффекта не удаётся достичь из-за ингибирования сигнальных путей программируемой клеточной гибели. Требуется разработка подходов, в основе которых лежит активация одновременно нескольких сигнальных каскадов, ведущих к клеточной смерти. Известно, что раковые клетки обладают повышенной чувствительностью к активным формам кислорода (АФК), обусловленной нарушениями баланса окисления-восстановления в опухоли, а также плейотропным действием АФК на клетку. Оксидативная терапия, т. е. направленное создание окислительного стресса в злокачественных клетках с целью их элиминации, активно входит в клиническую практику [1, 2].

Уникальные свойства наночастиц, такие как малый размер, оптимальное соотношение площади поверхности к объёму, возможность вариации их физических и химических параметров, позволяют применять их для решения широкого спектра

задач, в частности, в медицине. Несколько типов наночастиц одобрены для использования в клинической практике в качестве лекарственных носителей или средств визуализации. Однако потенциал наноструктур далеко не исчерпан. В последнее десятилетие активно изучаются окислительные особенности наночастиц на основе металлов и возможности для их дальнейшего использования в терапии рака. Эффект усиленного проникновения и удержания, а также применение молекулярно-мишеней позволяет контролировать и направлять действие нанокompозитов в область опухоли [3].

Медь – это элемент, относящийся к классу переходных металлов, способный производить АФК внутри клеток. Активность меди может модулироваться различными молекулами, такими как антиоксиданты, но эти взаимодействия не до конца изучены. Так, витамин Е снижает токсичность меди, в то время как витамин С обладает разнонаправленной активностью и может служить в качестве про- или антиоксиданта в зависимости от концентрации. Взаимодействие между Cu и гомоцистеином приводит к повышению внутриклеточного уровня H_2O_2 и развитию нейротоксичности. ZhengJ. et al., 2010 [4] показали, что комбинация $CuCl_2$ и N-ацетилцистеина вызывает значительный токсический эффект в различных линиях раковых клеток. Было показано, что этот эффект также связан с выработкой огромного количества пероксида водорода.

В данной работе исследуется цитотоксичность наночастиц CuO и их взаимодействие с N-ацетилцистеином в качестве противоопухолевого агента. Показано, что комбинация веществ оказывает значительное цитотоксическое влияние на различные клеточные линии рака.

Результаты

Наночастицы были синтезированы методом преципитации. Средний размер, определённый методом динамического рассеяния света, составил 80 нм.

В наших исследованиях мы обнаружили удивительный эффект взаимодействия наночастиц оксида меди (CuO) и N-ацетилцистеина (NAC): при добавлении NAC к CuO в определённой концентрации вызывало сильный цитотоксический ответ, при отсутствии такового во время использования компонентов по-отдельности (рис. 1).

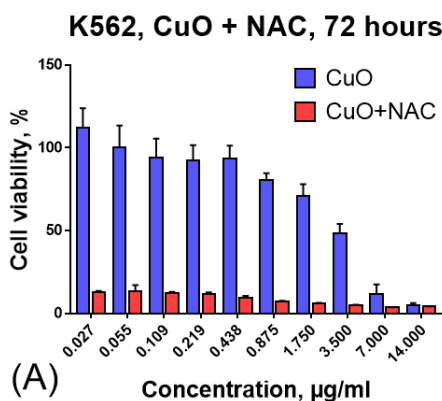


Рис. 1. Сравнение цитотоксического эффекта наночастиц CuO и комбинации наночастиц CuO + NAC на линии клеток хронического миелоидного лейкоза K562

Исследование генерации АФК показало, что уже на второй час инкубации с комбинацией появляются признаки окислительного стресса (рис. 2Б). Следует отметить, что эти данные коррелируют с кинетикой клеточной гибели (рис. 2А).

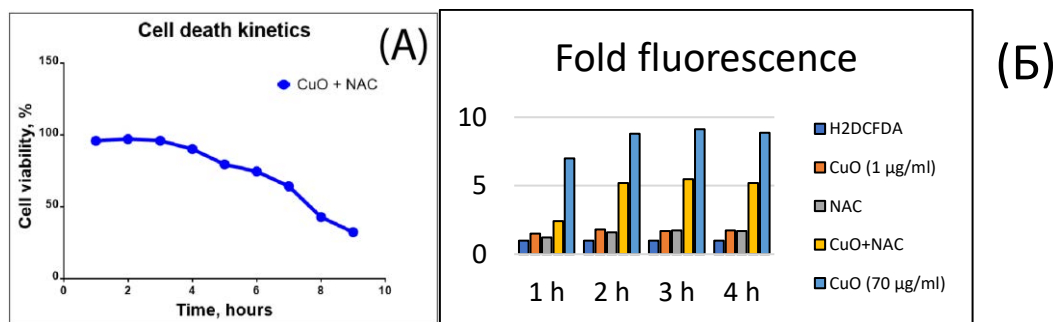


Рис. 2. Кинетика клеточной гибели (А) и исследование генерации АФК при помощи красителя CM-H₂DCFDA (Б)

Основной задачей стало определить механизм клеточной гибели, вызываемый комбинацией CuO-NAC. Среди возможных механизмов гибели рассматривались следующие: апоптоз, некроз, ферроптоз и некроптоз.

Так как клеточная гибель развивается сравнительно быстро, первым предположением была некротическая смерть клетки. Чтобы подтвердить или опровергнуть данное предположение, было проведено окрашивание Аннексин V-FITC/PI. Результаты представлены на рис. 3.

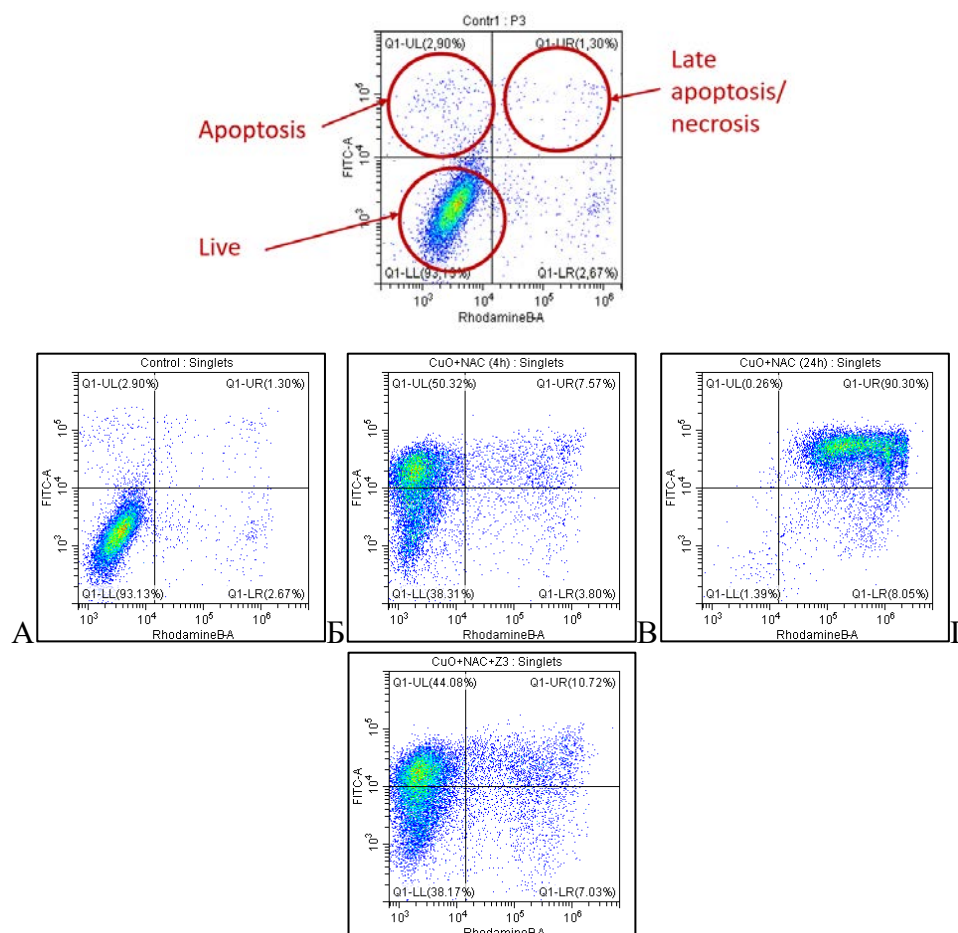


Рис. 3. Окрашивание Аннексин V-FITC/PI для клеток K562. А – контроль. Б – популяция клеток после 4 часов инкубации с комбинацией. В – популяция клеток после 24 часов инкубации с комбинацией. Г – популяция клеток после 4 часов инкубации с комбинацией и предварительной обработкой ингибитором каспаз Z-VAD

Результаты исследования клеточного цикла представлены на рис. 4. Применение комбинации CuO + NAC повлияло на распределение фаз только адгезионных клеток: HCT-116 и MDA-MB-231.

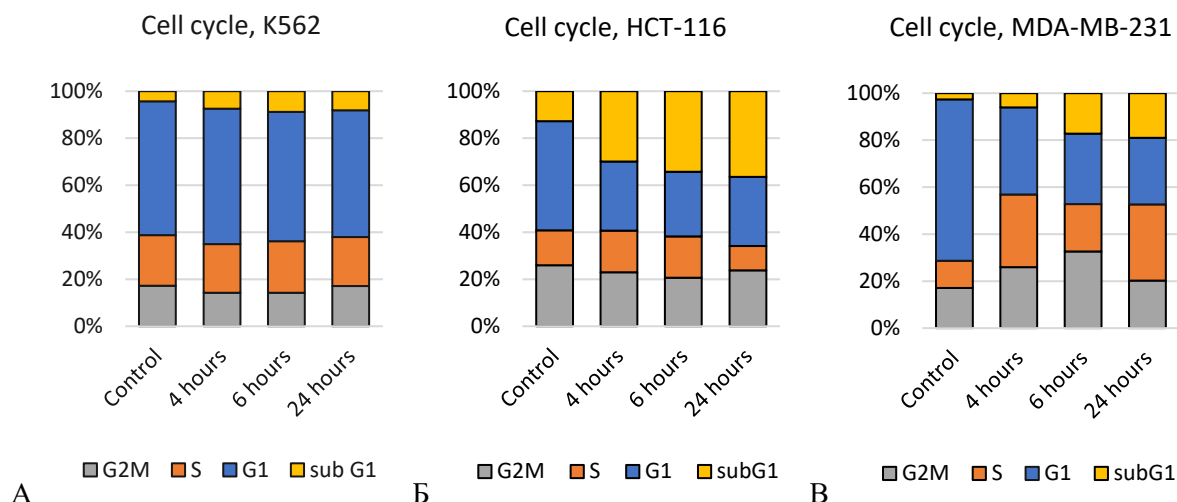


Рис. 4. Распределение фаз клеточного цикла для популяций различных клеточных линий на разных временных промежутках: А – K562. Б – HCT-116. В – MDA-MB-231

Иммуноблоттинг на типичные признаки апоптоза, такие как расщеплённая каспаза-3 и PARP (поли(АДФ-рибоза)-полимераза), показал отсутствие данных маркёров (рис. 5).

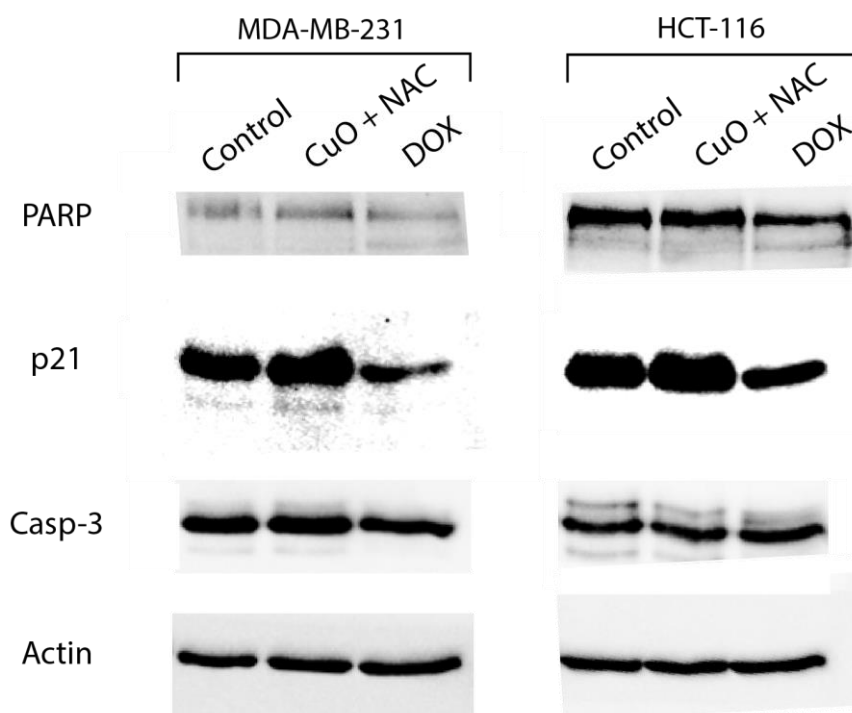


Рис. 5. Вестерн блот на расщеплённые формы каспазы-3 и PARP

Некростатин-1, как специфичный ингибитор комплекса RIPK (receptorinteractingprotein kinase) и TNF- α (tumornecrosisfactoralpha), также был протестирован в системе. Заметных отличий в выживаемости опухолевых клеток не наблюдалось (рис. 6).

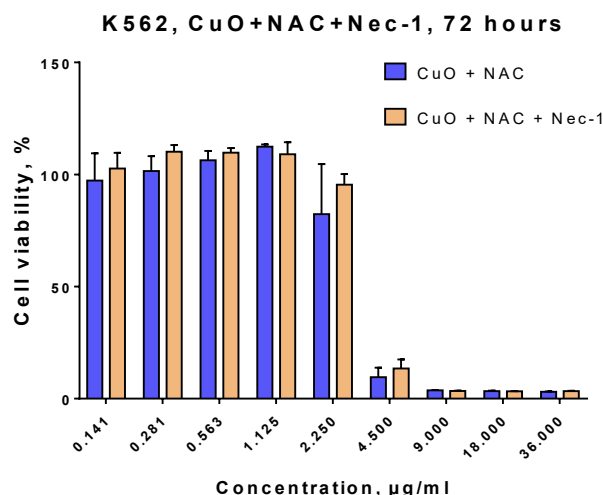


Рис. 6. МТТ-тест с некростатином

В таблице приведены свойства различных механизмов гибели, а также отмечено какие из них совпадают с нашими данными. В соответствии с полученными данными следует, что наиболее вероятными механизмами являются некроз и ферроптоз. Ферроптотическая гибель клеток не может быть правильным объяснением, так как отсутствует G₂/M блок при применении комбинации. Кроме того, жирорастворимые антиоксиданты, такие как токоферол или убихинон, должны блокировать ферроптоз, в то время как в наших экспериментах токоферол не влиял на выживаемость клеток. Эти факты приводят нас к выводу о некротической природе гибели, возникающей при инкубации с комбинацией.

Таблица

Различные свойства механизмов гибели, а также признаки, которые наблюдались после применения комбинации CuO + NAC

Cell death mechanism	AnnexinV/PI	Cell cycle	Caspases/P ARP cleavage	ROS formation	RIPK activation
Apoptosis	Annexin (+), then double (++)	subG ₁ increase	+	—	—
Necroptosis	Annexin (+), then double (++)	subG ₁ increase	—	—	+
Necrosis	Double positive	No changes	—	Not obvious	—
Ferroptosis	Annexin (+), then double (++)	G ₂ /M block	—	+	—
CuO + NAC	Annexin (+), then double (+)	No changes	—	+	—

Заключение

N-ацетилцистеин способен многократно усиливать цитотоксичность наночастиц оксида меди. Данный эффект связан с генерацией АФК, которая приводит к быстрой гибели раковых клеток. Так как окисление происходит преимущественно во внеклеточном пространстве, то плазматическая мембрана испытывает наибольший ущерб, что в конечном счёте приводит к клеточной смерти через некроз.

Дальнейшие направления изучения комбинации – это определение токсичности, а также фармакодинамики и фармакокинетики в условиях целого организма, а также выяснение механизма генерации АФК, что позволит улучшить систему и создать наноконструкцию с возможностью таргетной генерации радикалов вблизи остатков цистеина в белке, что приведёт в конечном счёте к деградации белка в целом. Реализация данных целей позволит создать противоопухолевый агент с направленным действием против специфичных белков в раковых клетках.

Литература

1. Han Y.H. et al. Induction of apoptosis in arsenic trioxide-treated lung cancer A549 cells by buthionine sulfoximine //Molecules & Cells (Springer Science & Business Media BV). 2008. Т. 26. № 2.
2. Baysan A. et al. Arsenic trioxide induces apoptosis via the mitochondrial pathway by upregulating the expression of Bax and Bim in human B cells //International journal of oncology. 2007. Т. 30. №. 2. С. 313-318.
3. Thakor A.S. et al. Clinically approved nanoparticle imaging agents //Journal of Nuclear Medicine. 2016. Т. 57. №. 12. С. 1833-1837.
4. Zheng J. et al. N-Acetylcysteine interacts with copper to generate hydrogen peroxide and selectively induce cancer cell death //Cancer letters. 2010. Т. 298. №. 2. С. 186-194.

Ширяев Даниил Сергеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,

студент группы №L42401,

направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,

e-mail: daniil_shiryaev@niuitmo.ru

Бугров Владислав Евгеньевич

Год рождения: 1973

Университет ИТМО,

факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,

д.ф.-м.н., профессор,

e-mail: vladislav.bougrov@itmo.ru

УДК 621.391.63

**РАЗРАБОТКА ПЕРЕДАТЧИКА
ДЛЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ RGBW СВЕТОДИОДОВ**

Д.С. Ширяев

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор В.Е. Бугров

Работа выполнена в рамках темы НИР №370126 «Разработка комплекса беспроводной системы передачи данных по технологии Li-Fi для интернета вещей и интеллектуальной световой среды в городском пространстве».

Аннотация

В работе представлен передающий модуль на основе RGBW светодиодов для систем интеллектуального освещения. Была проведена оценка качества канала связи, построенного на основе разработанного передающего модуля. Также определена природа воздействующих на систему шумов и предложены варианты снижения мощности шума в канале связи. Измерена скорость Интернет-соединения в построенном канале связи, которая составила 42 Мбит/с на расстоянии 4 м.

Ключевые слова

Системы связи по видимому свету, технология Li-Fi, беспроводная связь по видимому свету, адаптивное освещение, HumanCentricLighting, оптическая беспроводная связь.

В 2011 году на конференции TED Talks профессор Эдинбургского Университета Харальд Хаас представил технологию передачи данных, использующую светодиодное освещение [1], названную Li-Fi (LightFidelity) [2]. Эта технология является частным случаем технологии связи по видимому свету (VLC – visiblelightcommunication), в которой предлагается использовать светодиодные источники видимого излучения в качестве передатчиков данных. Передача данных осуществляется посредством модуляции интенсивности излучения светодиодов высокочастотным (ВЧ) информационным сигналом. Обобщенная блок-схема нисходящей линии связи в оптических беспроводных системах передачи данных приведена на рис. 1 [3].

Потенциально, по сравнению с радиочастотной, видимая область спектра электромагнитных волн обладает в 10000 раз большей полосой, доступной для передачи данных. Оптическая часть спектра является свободной от лицензирования, что решает проблему спектрального ограничения, присущую в радиочастотной части спектра.

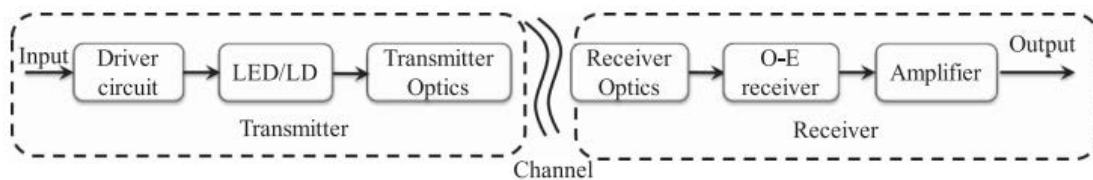


Рис. 1. Блок-схема нисходящей линии связи в Li-Fi системе

Однако, использование белых люминофорных светодиодов не позволяет получить максимальную скорость передачи данных в связи с высокой инерционностью люминофора. Альтернативным способом получения белого света является смешение излучения трех или более монохроматических источников излучения, например, красного, зеленого и синего светодиодов. В таких устройствах, RGB светодиодах, полоса пропускания ограничена лишь структурой полупроводников.

Для эффективной модуляции светодиодов необходимо решить задачу согласования импедансов светодиодов и высокочастотного тракта. В тот момент, когда частота подаваемого на светодиод сигнала становится выше 1 МГц, начинают проявляться ВЧ эффекты. Основным негативным эффектом на высоких частотах является отражение сигнала от нагрузки, что приводит к снижению эффективной мощности передаваемого сигнала от генератора к светодиодам. На частотах до 1 ГГц данную задачу возможно решить с помощью электрической согласующей схемы на пассивных компонентах.

Было проведено моделирование ВЧ характеристик согласующей схемы, а именно коэффициента отражения S_{11} сигнала от нагрузки, в программном обеспечении (ПО) AWR DesignEnvironment, и получено максимальное значение коэффициента отражения в рабочей полосе частот около -5 дБ. После чего была изготовлена печатная плата и измерен реальный коэффициент отражения S_{11} при помощи векторного анализатора цепей Rohde&Schwarz ZVA 40. Результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных приведены на рис. 2.

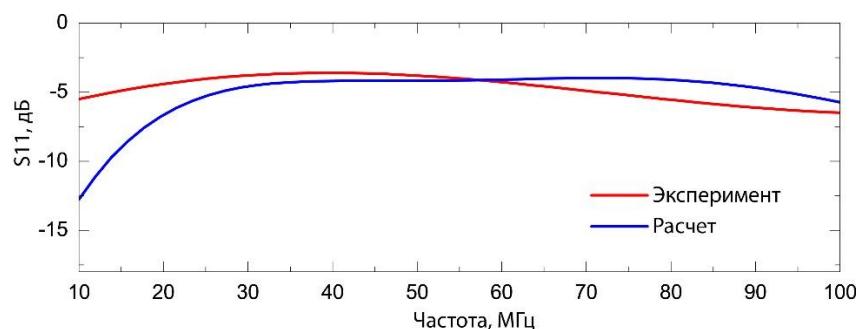


Рис. 2. Экспериментальная и расчетная зависимости коэффициента отражения S_{11} в зависимости от частоты сигнала

Полученное значение коэффициента отражения достаточно для построения передающего модуля для системы связи по технологии Li-Fi.

Также были разработаны электрические схемы подачи напряжения смещения на светодиоды, деления для эффективной подачи ВЧ (высокочастотного) сигнала на матрицу светодиодов и схема усиления ВЧ сигнала. На основе разработанных схем была изготовлена и смонтирована четырехслойная печатная плата передающего модуля, содержащая 16 RGBW светодиодов.

Качество канала связи оценивалось по значению амплитуды вектора ошибки с помощью осциллографа реального времени Keysight UXR0204A, работающего в

режиме векторного анализатора спектра, в то время, когда на передающий модуль подавался сигнал, состоящий из псевдослучайной битовой последовательности PRBS с помощью генератора сигналов произвольной формы Keysight M8195A. Схема проведения измерений показана на рис. 3.

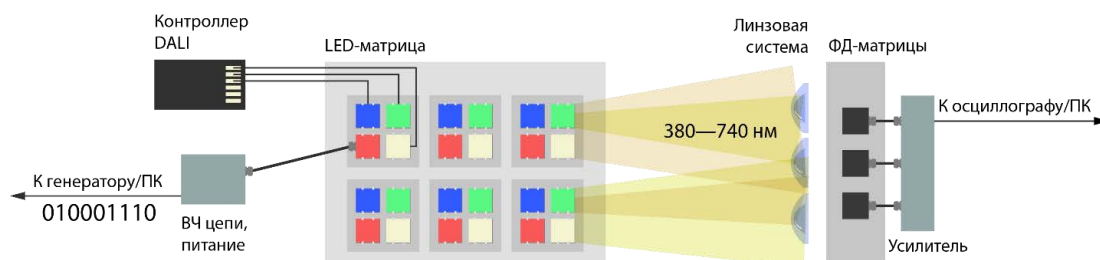


Рис. 3. Экспериментальная схема исследования качества канала связи

Как видно из рис. 3, информационный сигнал с генератора сигналов произвольной формы подавался на красные чипы RGBW светодиодов передающего модуля. Модулированное излучение проходило через свободное пространство, после чего попадало на матрицу фотоприемников и усилитель, после чего сигнал поступал к осциллографу реального времени. Выбор красного чипа для передачи данных обуславливается спектральными характеристиками компонентов: чувствительность фотоприемника в красной области спектра в полтора раза выше, чем в синей. По расчетам, энергетический выигрыш от более высокой фоточувствительности на приемной стороне больше, чем от более высокого значения энергии, излучаемой синим чипом на передающей стороне.

В качестве приемников оптического излучения были выбраны кремниевые фотодиоды FDS 100 от компании Thorlabs. Выбор был обусловлен достаточным быстродействием фотодиодов, их низкой емкостью p-n-перехода и высокой чувствительностью в красной области спектра.

На рис. 4 приведены графики зависимости значений амплитуды вектора ошибки от несущей частоты сигнала для различных типов модуляции.

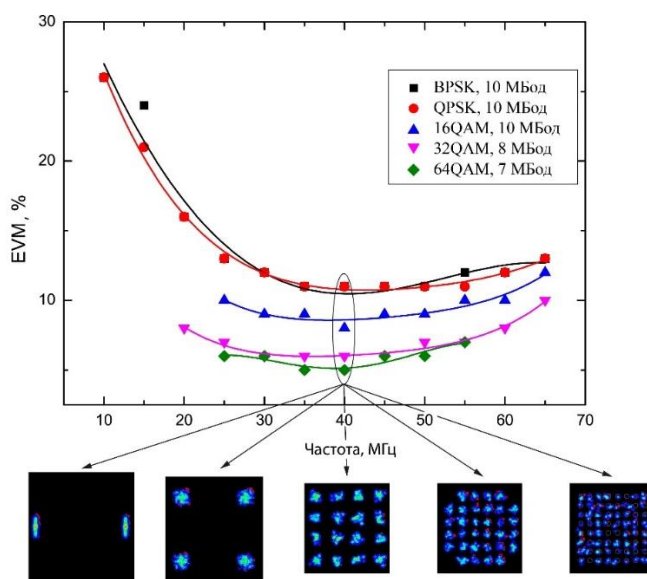


Рис. 4. Зависимости амплитуды вектора ошибки от частоты несущей сигнала для излучения красного чипа светодиода

При частоте несущей сигнала вблизи 40 МГц наблюдается минимум значения амплитуды вектора ошибки по всем исследованным типам модуляции. Были исследованы сигналы с полосой модуляции 10 МГц и, соответственно, символьной скоростью 10 МБод. Как видно из графика на рис. 4, при использовании фазовых манипуляций значение амплитуды вектора ошибки выше, чем при использовании квадратурной амплитудной модуляции. Это можно объяснить тем, что фотоприемник регистрирует изменение интенсивности излучения, поэтому при изменении фазы сигнала, изменение интенсивности сравнимо с уровнем шумов, из-за чего возникают фазовые помехи. Это также видно из сигнального созвездия BPSK сигнала, так как искажение точек в ячейках создает визуальный эффект симметричного искажения относительно центра созвездия, что свидетельствует о наличии фазового сдвига сигнала или же фазового дрожания.

Далее были исследованы характеристики сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией разной позиционности. Из сигнальных созвездий QAM сигналов видно, что возникает разброс точек диаграммы вокруг соответствующих им позиций, что показывает воздействие на канал связи аддитивного белого гауссова шума. В связи с этим, сужение полосы сигнала может уменьшить число ошибок, однако, для сохранения битовой скорости необходимо увеличивать число бит на символ: от 4 до 6 (переход от 16QAM к 64QAM). Так, значение EVM снизилось до 5% без потери битовой скорости при модуляции сигнала 64-позиционной квадратурной модуляцией (64 QAM) с несущей частотой 40 МГц и символьной скоростью 7 МБод.

Исследования показывают, что для хорошего самочувствия и продуктивной работы, изменение искусственного освещения в течение дня должно быть максимально приближено к изменению естественного [4]. Так, цветовая температура освещения должна плавно повышаться от 2700 К рано утром до 6500 К в полдень, и снова плавно понижаться до 2700 К к концу рабочего дня. На рис. 5 приведены фотографии передающего модуля, излучающего с коррелированной цветовой температурой (КЦТ) 6500 К, 4000 К и 2700 К, и показана область возможного изменения цветности освещения на цветовом пространстве МКО 1976 г. (обозначена черным треугольником, в вершинах которого указаны цветовые координаты каждого чипа светодиода). Это один из сценариев, реализуемых в разработанной системе при сохранении стабильного канала передачи данных.

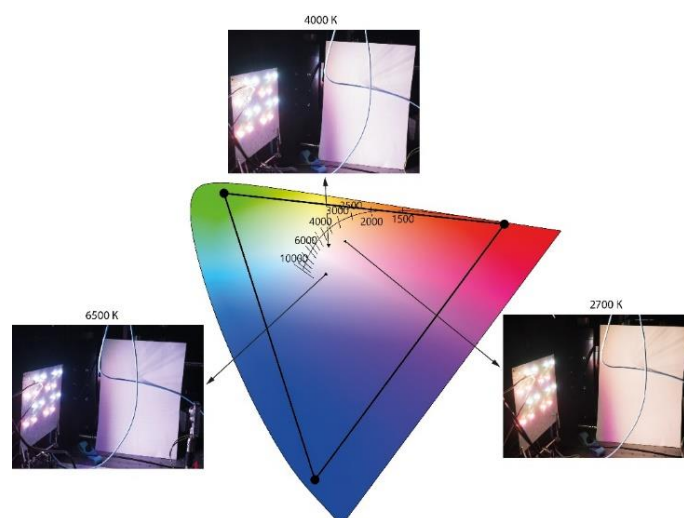


Рис. 5. Фото излучающей светодиодной матрицы в разных стадиях сценария освещения. Точками на цветовом пространстве МКО 1976 г отмечены соответствующие цветовые температуры, измеренные спектрометром UPRtekMK350S

Из приведенных фотографий на рис. 5 видно, что разработанный передающий модуль позволяет изменять КЦТ вдоль кривой Планка, другими словами, задавать цветность освещения в соответствии с цветностью излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Таким образом, задавая данный сценарий освещения, можно добиться изменения цветности искусственного освещения в соответствии с изменением цветности естественного освещения в течение светового дня.

Для измерения скорости Интернет-соединения передающий модуль видимого диапазона и фотоприемник подключались к роутеру Li-Fi, который в свою очередь подключен к сети Интернет. Клиентское приемо-передающее устройство подключалось к персональному компьютеру. Измерение скорости проводилось при помощи бесплатного сервиса Яндекс.Интернетометр. На рис. 6 приведена фотография проведения измерений (а), а также снимок экрана ноутбука с измеренной скоростью соединения.

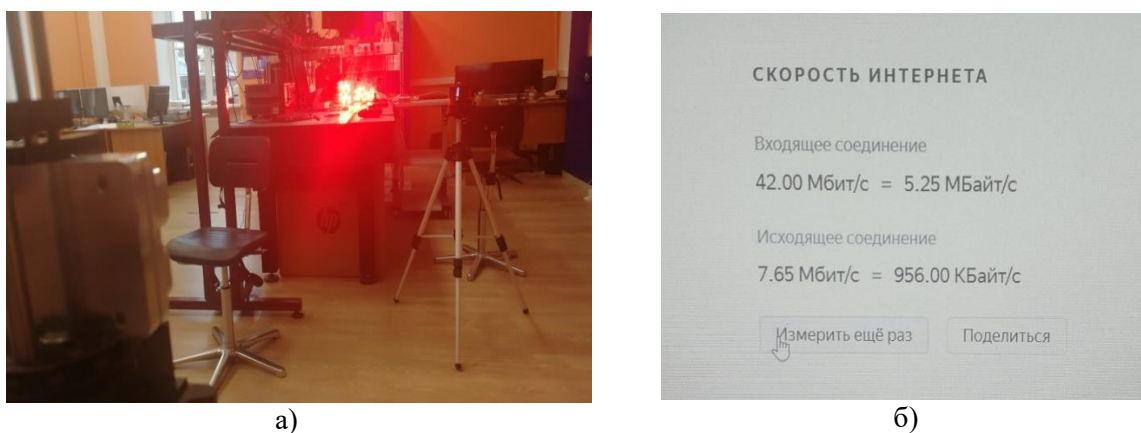


Рис. 6. Фотография проведения измерений скорости интернет-соединения (а) и снимок экрана с измеренной скоростью (б)

В результате измерений была получена скорость передачи данных 42 Мбит/с по нисходящему каналу связи и 7,65 Мбит/с по восходящему каналу, что вполне сравнимо со скоростями Wi-Fi соединения. Так, например, для просмотра потокового видео с разрешением 1440 p (2к) с частотой смены кадров 60 кадров в секунду необходима скорость Интернет-соединения 24 Мбит/с, что почти в два раза меньше полученной скорости передачи данных разработанной системы связи по видимому свету. Измерения проводились на расстоянии 4 м между передающим модулем видимого диапазона и клиентским приемо-передающим устройством.

В результате работы был разработан передающий модуль для системы интеллектуального освещения на основе RGBW светодиодов. Получено, что оптимальная несущая частота ВЧ сигнала составила 40 МГц, наиболее эффективными для передачи данных являются амплитудные манипуляции. Также была определена природа воздействующего на канал связи шума, которым является аддитивный белый гауссов шум, воздействие которого можно снизить, уменьшив полосу модуляции сигнала. Также было получено, что разработанный модуль позволяет изменять цветность искусственного освещения в соответствии с изменением цветности естественного освещения в течение дня. Максимальная скорость Интернет-соединения в канале связи по видимому свету составила до 42 Мбит/с на расстоянии между приемником и источником 4 м. В дальнейшей работе планируется реализация в данном передающем модуле мультиплексирования сигнала по длине волны излучения для повышения скорости передачи данных.

Литература

- 1 Ted: Ideasworthspreading [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://bit.ly/2HEtpdP> (дата обращения 30.06.2020).
- 2 Haas H., Yin L., Wang Y., Chen C. What is Li-Fi? // Journal of Lightwave Technology. 2016. Т. 34. С. 1533 – 1544.
- 3 Rajbhandari S., McKendry J.J.D., Herrnsdorf J. et al. A review of gallium nitride LEDs for multi-gigabit-per-second visible light data communications // Semiconductor Science and Technology. 2017. Т. 32. №2. С. 023001.
- 4 Stan Walerczyk. Human Centric Lighting // Architectural SSL. 2012. С. 20 – 26.

Яркеев Александр Сергеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42111

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: bleizard@cs.ifmo.ru

Перминов Илья Валентинович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н., доцент (квалификационная категория "доцент практики"),

e-mail: il@cs.ifmo.ru

УДК 004.822

ПОИСК ИМЕНОВАННЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СУЩНОСТЕЙ

А.С. Яркеев

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.В. Перминов

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

Аннотация

Данная работа посвящена разработке механизма извлечения информации об иерархических именованных сущностях из текстов на русском языке. В ходе работы автором предложен новый подход к извлечению иерархических именованных сущностей. Подход основан на использовании семантических связей, хранящихся в семантической сети. Также рассмотрена программная реализация предложенного механизма и осуществлено его экспериментальное подтверждение.

Ключевые слова

Иерархические именованные сущности, распознавание именованных сущностей, семантические сети, информационный поиск, обработка текстов на естественном языке.

В настоящее время объем информации, хранящейся в цифровом виде, достиг значений, которые невозможно проанализировать человеку, и продолжает расти с экспоненциальной скоростью [1]. Зачастую эта информация хранится в слабоструктурированных или вовсе неструктурированных источниках. К таким источникам относятся как загруженные текстовые документы, так и комментарии и сообщения в социальных сетях, описание продуктов в интернет-магазинах и др. Автоматической обработкой и анализом подобных текстовых источников занимается одна из динамично развивающихся областей компьютерных наук — обработка естественного языка (naturallanguageprocessing, NLP). Обработка естественного языка занимается решением множества широко распространенных задач: информационный поиск, анализ тональности текста, автоматическое реферирование, машинный перевод и другие [2].

Одним из ключевых направлений обработки текстов на естественном языке является информационный поиск. В рамках работы рассматривается следующая задача. Предположим, что имеется база документов, в которой необходимо осуществить поиск

источников, содержащих информацию об определенном объекте или продукте. Эта информация должна быть представлена в структурированном виде, а документы содержат её в неструктурированном.

Например, мы хотим получить все документы, в которых содержится информация об оборудовании компании Huawei. Для нахождения рынков сбыта продукции необходимо проанализировать множество технических заданий тендеров и найти те из них, в которых упоминается продукция компании. Если говорить более формально, необходимо найти в тексте на естественном языке упоминания объектов, которые имеются в базе данных компании. Эта подзадача известна в NLP как “распознавание именованных сущностей” (namedentityrecognition, NER) и заключается в том, чтобы найти в тексте именованные сущности заданных классов и определить их границы.

Работа над NER ведется с 1991 года и остается актуальной по сей день [3]. Первоначально при постановке задачи к термину “именованная сущность” (namedentity, NE) относили только имена собственные, однако впоследствии значение этого термина расширилось, и теперь к нему также относят числовые, денежные, временные выражения и т.д. На текущий момент набор различных категорий сущностей составляет около 200 классов [4].

Однако встречаются ситуации, когда сущность может являться частью другой сущности, например, сущность “ДНК” состоит из набора “протеинов”, которые, в свою очередь, тоже могут быть составными. Исследователи в области биоинформатики пришли к заключению [5], что подавляющее большинство существующих алгоритмов не может определить в тексте именованные сущности, если сущность одного класса вкладывалась в другой, и ввели новый термин – “вложенные именованные сущности” (nestednamedentity NNE).

Работы по созданию классификаторов для таких сущностей на сегодняшний день ведутся только для текстов медицинской тематики. Кроме того, не существует классификаторов с поддержкой русского языка.

В данной работе предлагается новый подход к решению задачи распознавания именованных сущностей и вводится новый термин — “иерархические именованные сущности”. Иерархические именованные сущности – это сущности, составные части которых являются именованными сущностями других классов. То есть, они не представлены непрерывной цепочкой токенов в тексте. Этот термин имеет схожее значение с вложенными именованными именованными сущностями, однако он служит для описания таких классов сущностей, к которым невозможно применить термин “вложенность”. Данный подход основывается на использовании семантических сетей и является универсальным для любого класса иерархических именованных сущностей.

Семантическая сеть — это способ представления знаний, содержащих в себе описание понятий и семантических связей между ними. Фактически семантическая сеть представляет собой граф, узлами которого являются смысловые понятия, а рёбра описывают отношения между этими понятиями.

В работе используется семантическая сеть Jaskalope [6], в которой определены следующие типы связей: меронимия-холонимия, гипонимия-гиперонимия, синонимия, антонимия и атрибут (описывает отношения между двумя понятиями, при которых первое понятие может обладать свойством, которым является второе понятие).

Помимо семантических отношений, с каждым понятием ассоциирован набор словоформ, которыми могут быть выражены данные понятия. Во множество словоформ входят как различные слова или выражения, которыми можно назвать данное понятие (например для понятия «процессор» будут также записаны словоформы «CPU», «проц»), так и возможные словоизменения («процессора», «процессоре»).

Словоизменения получены благодаря импорту в сеть данных из словаря Зализняка [7, 8].

Для представления в сети именованных сущностей используется реляционная структура. Так с каждым узлом в графе, описывающем какое-то понятие ассоциирована таблица его именованных сущностей. Если понятие в графе не содержит составных частей (связь меронимия), не содержит атрибутов и оно не является общим понятием для каких-то частных (связь гипонимия), то таблица именованных сущностей для такого понятия состоит из двух колонок: идентификатора именованной сущности и строкового обозначения этой сущности.

Для использования семантической сети в распознавании именованных сущностей необходимо не только определить структуру сети, но и наполнить сеть данными. Важно, чтобы наполнение не происходило вручную для каждой предметной области. Для автоматизации этого процесса используется открытый источник – Викисловарь [9], наполняемый сообществом энтузиастов, что обеспечивает большое количество понятий, а также его постоянное пополнение новыми понятиями и связями. Однако Викисловарь обладает серьезным недостатком – в нем отсутствует информация об именованных сущностях. Часть необходимых узлов или связей может отсутствовать или же организация связей между узлами может не соответствовать оптимальной структуре для поиска именованных сущностей.

Автором предложено создание программного средства для ручного отображения реляционной структуры графа семантической сети и последующего автоматического импорта данных из реляционной структуры в сеть. Такой подход не позволяет полностью исключить ручной труд человека из этого процесса, но даёт возможность ограничиться лишь привлечением эксперта в предметной области, который создаст схему соответствия понятий из сети и таблиц, колонок в базе данных.

В результате анализа структуры семантической сети был предложен подход по поиску иерархических именованных сущностей для заданного класса. На вход алгоритму поступает строка текста на естественном языке, а также узел семантической сети, именованные сущности которого необходимо найти в тексте. Для оптимизации вычислений для каждого из таких узлов формируется подграф, содержащий часть описания рассматриваемого узла. Формирование подграфа происходит следующим образом: рекурсивно выбираются узлы, которые соединены с заданным узлом и его дочерними узлами различными связями: “мероним”, “типоним”, “атрибут” и т.д.

Список идентификаторов всех узлов данного подграфа сохраняется в классификаторе и используется на дальнейших этапах. Важным ограничением, которое используется в данной работе, является то, что полученный подграф должен представлять из себя дерево, т.е. не должно быть узлов, которые имеют более чем одного родителя. Такое допущение не является концептуальным ограничением подхода, а лишь является упрощением части этапов алгоритма на время проверки концепции, которые будут описаны далее. Результатом такой предварительной подготовки является дерево, описывающее иерархию понятий для данного класса именованных сущностей.

Рассмотрим сам предложенный алгоритм поиска именованных сущностей. Он состоит из следующих шагов:

1. Входная текстовая строка разбивается на токены, к которым затем применяется цепочка фильтров предобработки: свертка числительных и приведение единиц измерения к СИ.

2. Для каждого токена из списка осуществляется поиск “кандидатов” – именованных сущностей и словоформ понятий, которые могут быть выражены данным токеном.

3. Для найденного набора “кандидатов” применяется цепочка правил, осуществляющая разрешение полисемии, возникшей после отображения токенов на элементы сети.

4. С помощью итеративного подъема по иерархии оставшихся “кандидатов” (понятий в узлах графа) происходит поиск иерархических именованных сущностей, подходящих под найденное в тексте описание: именованные сущности, располагающиеся на одном уровне иерархии, объединяются в сущности следующего уровня иерархии.

5. Для найденных иерархических именованных сущностей, являющихся экземплярами рассматриваемого узла, формируется текстовое представление в заданном для этого класса формате.

Рассмотрим подробнее основные шаги полученного алгоритма. На первом этапе происходит токенизация входной строки. В работе был реализован собственный токенизатор, использующий данные из семантической сети для объединения токенов. Например, токены “Нижнего” и “Новгорода” будут объединены в один. Дополнительно используется поиск цепочек числительных и их нормализация, а также приведение единиц измерения к СИ, необходимое для выполнения следующего этапа.

На следующем этапе происходит поиск возможных значений для каждого токена из текста. Токен текста может отображаться на два типа элементов сети: на словоформы самого класса (например, токен «улица») и на словоформы именованной сущности (например, «Санкт-Петербург»). Таким образом, на выходе этого этапа для каждого токена определяется набор его возможных значений.

Если для одного токена существует два потенциальных значения, то возникает неоднозначность в тексте. Как правило, один токен в тексте относится только к одному семантическому понятию. На третьем этапе для разрешения полисемии предлагается применить цепочку правил, которые используют как соседние токены, так и семантические связи в графе. Правила работают следующим образом: осуществляется поиск токенов, которые либо имеют только одно значение, либо все значения являются гипонимами одного узла. Так, в примере «Санкт-Петербург, Ленина, 3 лит. г» все значения токена «Ленина» являются гипонимами узла “годоним”. Также токен «3» имеет значение-годоним. Исходя из того, что в описании адреса у одного объекта не может быть два годонима, то у токена «3» можно исключить вариант с годонимом. Наконец, необходимо совершить обратное преобразование, заменив годоним на его гипонимы.

На четвертом этапе необходимо сформировать множество иерархических сущностей искомого узла, исходя из найденных в тексте именованных сущностей классов, которые являются составными частями заданного класса. Сложность данной процедуры обусловлена тем, что, во-первых, невозможно разрешить все неоднозначности и, следовательно, необходимо при выборе учитывать, что возможно только одно из нескольких значений. Во-вторых, из-за произвольной глубины иерархии, разрешение коллизий должно происходить на разных уровнях дерева. Кроме того, применяемая при выборке операция зависит от типа связи между узлами.

Итоговое решение строит приоритетную очередь (на основе расстояния от узла до корня) из найденных узлов без неоднозначностей, а также общих предков для узлов, являющихся кандидатами для каждого токена. На каждом шаге алгоритма из очереди извлекается элемент, затем выбирается его родитель, для которого осуществляется поиск именованных сущностей на основе сущностей, найденных для дочернего элемента. Узел-родитель также заносится очередь. Описанная процедура выполняется до тех пор, пока мы не дойдем до искомого узла и не получим его именованные сущности.

На последнем этапе алгоритма происходит генерация текстового представления для найденных экземпляров.

Для полученного алгоритма была сформирована тестовая семантическая сеть, содержащая адресную информацию. В связи с тем, что постановка задачи отличается от классического распознавания именованных сущностей и результатом является не сам класс, а набор возможных именованных сущностей для заданного класса, то была разработана следующая процедура тестирования. Модуль тестирования генерирует на основе данных в сети текстовое представление адресов и передаёт их на вход алгоритму. Далее полученный результат сравнивается с истинным в сети.

Модуль тестирования генерирует строки разных типов: так, существует возможность вырезать часть словоформ, чтобы усложнить процесс разрешения полисемии. Кроме того, возможно добавление во входную строку мусорных токенов и опечаток.

Результаты тестирования алгоритма представлены в таблице. Средняя точность по всем возможным конфигурациям модуля тестирования составила 94.4%.

Таблица

Результаты работы алгоритма

Тестовый корпус	Достоверность, %
Обычные строки	100
Строки без одной словоформы	90.70
Строки без нескольких словоформ	92.25
Строки с мусорными словами	100
Строки без словоформами и мусором	92.25
Строки с опечатками	91.47

Таким образом, в работе был предложен подход по распознаванию в тексте на естественном языке именованных иерархических сущностей. Подход, основанный на использовании структуры семантической сети, не зависит от предметной области и позволяет решать такие проблемы обработки текста на русском языке, как токенизация и предобработка, поиск именованных сущностей простых классов, частичное снятие полисемии и поиск иерархических сущностей.

Программная реализация разработанного алгоритма выполнена на языке C++ и предоставляет два способа взаимодействия: использование прямыми программными вызовами и использование с помощью REST API.

Литература

1. Музяков С.И. Информационная среда и условия экспоненциального роста объема знаний в современном обществе //Власть. 2012. №. 4.
2. Manning C.D., Manning C.D., Schütze H. Foundations of statistical natural language processing. MIT press. 1999.

3. Nadeau D., Sekine S. A survey of named entity recognition and classification // *Linguisticae Investigationes*. 2007. Т. 30. №. 1. С. 3-26.
4. Sekine S., Nobata C. Definition, Dictionaries and Tagger for Extended Named Entity Hierarchy // *LREC*. 2004.
5. Finkel J. R., Manning C. D. Nested named entity recognition // *Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Volume 1-Volume 1*. – Association for Computational Linguistics. 2009. С. 141-150.
6. Письмак А.Е. Метод автоматического формирования семантической сети из слабоструктурированных источников / Письмак А.Е., Харитонова А.Е., Цопа Е.А., Клименков С.В. // *Программные продукты и системы*. 2016. № 3. С. 74-78.
7. Зализняк А. «Русское именное словоизменение» с приложением избранных работ по современному русскому языку и общему языкознанию. Litres. 2017.
8. Jiráček J. Зализняк А.А. Грамматический словарь русского языка: словоизменение // *Feedback*. 2013. Т. 29. No. A28.
9. Викисловарь [Электронный ресурс]. URL: <https://wiktioary.org/> (дата обращения: 05.05.2020).

**ЛАУРЕАТЫ II СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ
КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»**

Bugakova Daria Sergeevna

Birth year: 1995

ITMO University,

chemBio Cluster,

group №A41402,

specialization: 18.04.02 – Energy and resource saving processes in chemical technology,

petroleum chemistry and biotechnology,

e-mail: bugakova@scamt-itmo.ru

Vinogradov Alexander Valentinovich

Birth year: 1985

ITMO University,

chembiocluster,

head of chembio cluster, dr. of science,

e-mail: avv@scamt-itmo.ru

УДК 543.4+543.5+543.9

**FABRICATION OF A MICROFLUIDIC PLATFORM
FOR VISUAL DETECTION OF E.COLI BACTERIA**

D.S. Bugakova

Scientific advisor – dr. of science. A.V. Vinogradov

The research was done with the financial support from grant № 3502ГC1/57457 of the Russian Foundation for the promotion of innovations. Project: Design and fabrication of the microfluidic device for e.coli bacteria visual detection.

Abstract

In microfluidics, engineering tools for design and fabrication of microchannels, connecting chambers and valves, which are useful in various applications, especially, in microbiology for detection of pathogens or viruses and in chemistry for elaboration of synthesis technology, selection of appropriate reagents and process parameters in small quantities (in drops) are used. Laminar fluid flows in microfluidic channels can efficiently transport various objects, which are usually difficult to deal with such as micro- and nano objects (particles, cells, tissue, DNAs, RNAs etc.), to sensing area, properties of which need to be investigated. This project proposes a novel strategy of introducing active mixing with magnetic particles directly inside the microfluidic chamber and proposes the ability to implement all the steps of biological fluids manipulation in one smart device.

Key words

Microfluidics, lab-on-a-chip, pathogens detection, PCR analysis, microfabrication, active mixing, magnetite microparticles, magnetic field manipulation.

Design and fabrication of the analytic equipment proposed in this project is directed to eliminate existing problems of medical diagnostic in remote areas and allowing patients to access fast and precise diagnostic as a point-of-care device. There are some already known examples of microfluidic chips designed for implementation of a PCR analysis [1-5] for various purposes. The main challenge is that PCR analysis is a complicated multifunctional task to be implemented on one analysis platform. Microfluidic chips for DNA release, purification, and optical out-of chip detection have been already implemented and described in the literature, but there is still a lack of knowledge and papers describing the whole working microfluidic chip. The organization of all the steps of biological liquids

manipulation, including mixing, separation and even liquids preparation and purification steps gives a great possibility to make the analysis process faster, reagents-saving, human factor decreasing, error and contamination free, and self-containing. All the evident advantages of the use of microfluidics for biological applications stimulate a rapid development of this field of science. The developed device can operate without any external equipment and does not require laboratory conditions to obtain fast diagnostic result. The microfluidic chip is operated by the deformation of the flexible membrane, which is followed by the increase of pressure in the system and specific valves geometry, which allows the liquids to flow strictly in the required direction. The comparison between the microfluidic chip and a commercially available amplification equipment used in clinical studies to perform PCR analysis, is presented in table. The main drawbacks of existing microfluidic devices are the need of external sources, pressure or flow rate; relatively big size; non-portability. The versatility of the developed platform for PCR reaction gives a great perspective of the use of such devices in not only in medicine, but also in biochemical research, food industry, pharmacology, animal health, forensic medicine, and others. The designed microfluidic device can even replace the huge and high-cost amplification equipment nowadays used for performance of PCR analysis.

Table

**Comparison of conventional amplification unit
and developed device with integrated microfluidic chip**

Parameter	AmplificationBioRad CFX96	Device with integrated microfluidic chip
Necessity intrained personnel	Yes	Partly
Reaction volume, μl	Up to 96 eppendorfs of 0.2 ml; whole volume of 19.2 ml [5]	Varies due to application; up to 1000 μl
Whole construction size,	290 x 580 x 390 mm [5]	400 x300x300mm
Number of detecting targets per sample	1 [5]	Depends on the requirements, can be increased up to 16
Equipmentcosts	1 850 000 RUB [5]	Chip – 500 RUB Device – < 50 000 RUB
Portability	Partly	Portable

Miniaturized microfluidic devices incorporate principles of large-scale analysis on one single platform, so measurements can be performed without external optical set-ups and detection units. Therefore, in the scientific community, they are referred to as lab-on-a-chip sensor systems. The most popular applications for such systems are: detection of allergens [6], antibiotics [7], molecular diagnostics [8], blood type establishment [9], and all type of reaction with DNA or RNA release, amplification [10], detection [11], and sequencing [12]. Portability and reliability of such lab-on-a-chip platforms and analysis open new possibilities for increasing the healthcare level in remote regions. Microfluidic platforms have a wide variety of applications: from single cell analysis in flow cytometers, detection of chemical elements, to growth and support of tissues in conditions similar to the ones inside a human

body in organ-on-a-chip [13]. Various materials and fabrication methods are involved in microfluidic device implementation. For instance, in the research [14], a PDMS - glass based microfluidic platform was used to detect immunoglobulin enzyme with a sensitivity of 1 pg/ml. Analysis time was decreased from 4 hours to 80 minutes and specificity of antibodies binding was enhanced on 70% in comparison with non-microfluidic analysis. The proposed microfluidic chip consisted from one single mixing chamber with inlets and outlets connected to the syringe pumps. The process in the chamber was monitored with the Raman microscope. In the research [10] microfluidic microsystem was designed for A-type flu virus diagnostics using magnetic particles covered with glicane. The diagnostics process was based on polymerase chain reaction (PCR).

In the proposed research, the technological process chain was established for implementation of polymer-based microfluidic analytic platform. Optimization of technological processes in terms of membrane casting by spin-coating, micromilling, tempering, substrate post processing, and adhesion of sealing membrane was performed. The membrane and substrate material selection were based on the outcomes of a comprehensive literature study, experimental results as well as requirements to be thermally resistant up to 120 °C, cheap, transparent to implement visual detection by color change, and biocompatible. For this purpose, PMMA and PDMS material combination was chosen as an optimal and was tested on interaction with all the liquid reagents of the analysis with no significant changes or reaction inhibition.

Fast prototyping by precise micromilling allowed to obtain microchannels with dimension as small as 500 μm .

The developed microfluidic platform is suggested to be fully manual and fluid to be manipulated by pushing on a flexible membrane covering an ellipsoidal reaction chamber. Different fluid control and manipulation mechanisms such as valves and obstacles were proposed, designed, and fabricated. Various valve types and fluidic diodes were evaluated in terms of simplicity of working principle, implementation, blocking of fluid backflow and leakage, and precise control of flow direction. The most appropriate valves such as multilayered T-shape and valves with integrated horizontal flexible membrane (fluidic diodes) were integrated into final microfluidic analytical platform and tested on model fluids (water colored with food dyes). The fabricated multilayer microfluidic systems withstood pressure of more than 150 mbar., which is by an order of magnitude more than pressure normally formed in microchamber by finger deformation of a flexible membrane.

The novel concept of active mixing inside the microfluidic chamber using magnetic particles proposed in this study recommended itself as an appropriate technique to overcome challenging task of mixing in microscale: 20-30 seconds and no death volume are required to thoroughly mix 50 μl reaction chamber containing two components by magnetite microparticles rotating at 2500 rpm on a magnetic stirrer. This promising technique is applicable for all kinds of biological fluids having viscosity values like water. Outstanding feature of this method is the lack of dead volume appearing for passive mixing technique with continuous flow and thus can significantly reduce the volume of liquid reagents required for PCR analysis. Number of the reaction chambers and channels length needed for the analysis implementation is reduced respectively resulting in downsizing of the chip footprint.

The magnetic microparticles were synthesized and evaluated for implantation of active mixing. Dimensions, sedimentation stability, phase composition as well as topological properties and magnetic characteristics (Mainson number, rotation character) of these particles were studied in detail. As elements to be pre-loaded to the reaction chamber, synthesized magnetic particles were tested on compatibility with the components of PCR reaction such as lytic buffer, nucleotides, DNAs and RNAs, and primers.

Distinctive feature of synthesized microparticles is that they do not require any polymeric functionalization for DNA sorption and desorption and thus retain magnetic

properties to be manipulated in an external magnetic field. This was confirmed in biological experiments using electrophoresis and comprehensive study of ζ -potential change during addition of DNA, washing with ethanol and desorption solvent (DI water).

Additional effort was made in implementation of a versatile detection unit allowing visual detection of more than 16 pathogens on one platform. For this purpose, two fabrication strategies were addressed: inkjet printing and thermal lamination of wax on paper carrier and ridged PMMA-PDMS platform with flower-like structure. The proof-of-concept of the fabricated detection units was confirmed on model fluids (water colored with food dye).

This work demonstrates that the developed technology platform meets a wide range of application-specific requirements. As a proof of technological concept, cost-effective microfluidic lab-on-a-chip analytic platforms for implementation of fast PCR analysis and detection of more than 16 pathogens were designed, fabricated and their working performance was analyzed on model E.coli bacteria.

In the following, possible directions for further scientific investigations both in process development and design are proposed.

Despite plenty of advantages of PMMA and PDMS materials for medical testing, the heat conductivity of these material is rather low (0.19 W/mK) and differs from the one of aluminum nitride (AlN) (285 W/mK) or silicone (150 W/mK) in more than two orders. Therefore, rapid heating and cooling of the material required for implementation of cyclic PCR reaction and the temperature stability is a task to be maintained in the further work. For this, it is suggested to fabricate the bottom of reaction chambers out of aluminum nitride thin plate (ca. 400 μ m) and place the microfluidic chip directly on a Peltier element. Even more, the thickness of the PMMA bulk material used for microfluidic platform micromachining can be reduced to 2 mm, which decreases the thermal response time of the cartridge.

More effort is required in optimization of chamber profile and shape, to implement a complete emptying of reaction chambers by finger-powered deforming of a flexible sealing. For this purpose, trapezoidal shape seems to be more appropriate than vertical sidewall profile.

Future work shall also address evaluation and optimization of microfluidic valves regarding opening pressure, backflow, their construction to implement more smooth opening feeling during operation of the platform and strictly one-directional fluid motion.

The fabricated microfluidic analytical platform should pass application-specific clinical tests on sensitivity, reliability, and biological protection requirements (fig. 1, 2).

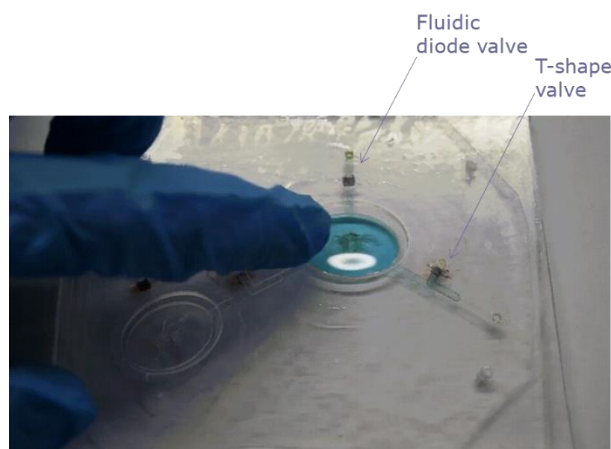


Fig. 1. Final view of a microfluidic chip implementing T-shape valve and fluidic diode valve in the geometry design

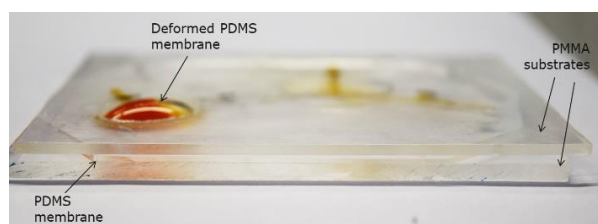


Fig. 2. Results of the sealing process - hermetically attached PMMA substrate and flexible thin PDMS membrane. Three layer microfluidic system

Bibliography

1. Lui C., Cady N.C. & Batt C.A. Nucleic acid-based detection of bacterial pathogens using integrated microfluidic platform systems. *Sensors* vol. 9 (2009).
2. Ahrberg C.D., Manz A. & Chung B.G. Polymerase chain reaction in microfluidic devices. *Lab Chip* 16. 3866–3884 (2016).
3. Mahjoob S., Vafai K. & Beer N.R. Rapid microfluidic thermal cycler for polymerase chain reaction nucleic acid amplification. *Int. J. Heat Mass Transf.* 51. 2109–2122 (2008).
4. Zhang C. & Xing D. Miniaturized {PCR} chips for nucleic acid amplification and analysis: latest advances and future trends. *Nucleic Acids Res.* 35. 4223–4237 (2007).
5. Системы ПЦР реального времени с флуоресцентной детекцией CFX96 Touch TM, CFX96 Touch Deep Well TM, CFX Connect TM и CFX384 Touch TM Руководство по эксплуатации.
6. Ma S.-Y. et al. Peanut Detection Using Droplet Microfluidic Polymerase Chain Reaction Device. *J. Sensors* 2019. 1–9 (2019).
7. Mahler L. et al. Detection of antibiotics synthesized in microfluidic picolitre-droplets by various actinobacteria. *Sci. Rep.* 8, 1–11 (2018).
8. Li Z. et al. A Rapid Microfluidic Platform with Real-time Fluorescence Detection System for Molecular Diagnosis. *Biotechnol. Equip.* 33, 223–230 (2019).
9. Park, J. & Park, J. K. Finger-Actuated Microfluidic Display for Smart Blood Typing. *Anal. Chem.* 91, 11636–11642 (2019).
10. Shen K.M. et al. An integrated microfluidic system for rapid detection and multiple subtyping of influenza A viruses by using glycan-coated magnetic beads and RT-PCR. *Lab Chip* 19. 1277–1286 (2019).
11. Liu P. & Mathies R.A. Integrated microfluidic systems for high-performance genetic analysis. *Trends Biotechnol.* 27, 572–581 (2009).
12. Oshiki M. et al. Microfluidic PCR Amplification and MiSeq Amplicon Sequencing Techniques for High - Throughput Detection and Genotyping of Human Pathogenic RNA Viruses in Human Feces, Sewage, and Oysters. *Front. Microbiol.* 9. 830 (2018).
13. Convery N. & Gadegaard N. 30 Years of Microfluidics. *Micro Nano Eng.* 2 76–91 (2019).
14. Yap L.W. et al. Bifunctional plasmonic-magnetic particles for an enhanced microfluidic SERS immunoassay. *Nanoscale* 9. 7822–7829 (2017).

Бурым Никита Сергеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42001,

направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника,

e-mail: CHVRCHES@mail.ru

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н.,

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.934:004.415

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ**

Н.С. Бурым

Научный руководитель – к.т.н. П.В. Балакшин

Аннотация

В рамках работы был проведен анализ современных систем автоматического распознавания речи. Определены системы, позволяющие изменять конфигурацию параметров. Продемонстрированы различия в конфигурации параметров систем с открытым исходным кодом. Предложен способ использования Docker-контейнеров для унификации запуска систем распознавания и дальнейшего сравнения таких систем между собой. Выбраны метрики, позволяющие эффективно оценивать качество распознавания речи. В результате сформированы функциональные требования и предложено архитектурное решение для системы автоматизации тестирования и анализа систем распознавания речи.

Ключевые слова

Распознавание речи, ASR, Kaldi, CMUSphinx, тестирование, конфигурация.

Распознавание речи является одной из ключевых частей взаимодействия человека с компьютером. Однако качество распознавания, демонстрируемое существующими автоматизированными системами распознавания речи, не достигло высокого уровня и во многих отношениях является частью маркетинговой кампании. В частности, дефекты проявляются при анализе спонтанной речи говорящего [1], а также внешних шумов и дефектов, неполных предложений и т.д. [2]. В связи с этим, внимания заслуживает задача моделирования и оценки, в какой степени окружающая акустическая среда влияет на качество распознавания системой автоматического распознавания речи (*англ.* AutomaticSpeechRecognition – ASR). Становится очевидным необходимость разработки архитектуры и дальнейшей реализации некоторого программного решения для простого и быстрого тестирования существующих систем распознавания речи. В отличие от существующих различных утилит, конфигурационных сценариев и исполняемых файлов, такой способ (программный продукт) позволит пользователям настраивать и использовать единый интерфейс для

управления всеми операциями, осуществлявшимися в процессе тестирования ASR. Разрабатываемый продукт необходим для тестирования ASR, чтобы определить их оптимальную конфигурацию и улучшить качество распознавания речи [3].

Таким образом целью данной работы является исследование и реализация способа автоматизации тестирования, анализа, отладки и настройки различных систем автоматического распознавания речи диктора. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- аналитический обзор существующих систем распознавания речи на предмет возможности их использования в разрабатываемом приложении автоматизации тестирования различных ASR;
- обзор существующих решений в сфере автоматизации и конфигурирования существующего программного обеспечения для распознавания, синтеза и анализа звука;
- анализ и приведение представления данных используемых в ASR (языковые модели, голосовые модели и т.д.) к единому виду;
- проектирование архитектуры и разработка системы автоматизации тестирования и анализа ASR.

В соответствии с задачами был проведён обзор существующих ASR и различных SpeechToolkit с открытым и закрытым исходным кодом. Были рассмотрены журнальные статьи, материалы научно-технических конференций и специализированные интернет-форумы, которые содержат информацию о сравнении и использовании современных и популярных ASR и SpeechToolkit [4]. Анализ проводился с точки зрения поддерживаемых языков распознавания, моделей обучения и тестирования, удобства и полноты документации, поддержки на форумах, патентов, лицензий на использование и настройки алгоритмов и методов распознавания. Также была проанализирована способность существующих ASR к автоматизации настройки алгоритмов распознавания речи и идентификации метрик качества для дальнейшей интеграции в программные и аппаратные платформы тестирования, а также для сравнительного анализа диалоговых интеллектуальных систем. Были рассмотрены 16 систем: Baidu, PythonSpeechRecognition, Kaldi, Julius, HTK, FacebookWav2Letter, iAtros (PRHLT), RWTH, Praat, Espnet, CMUSphinx, IBMWatson и ряд других [5, 6]. Все системы обеспечивают возможность распознавания английской речи, но поддержка русского языка имеется лишь в некоторых из указанных ASR.

Большинство из указанных систем в первую очередь предназначены для распознавания речи, и лишь во вторую – для обработки аудиосигнала. Однако для полноценного многократного использования SpeechToolkit должен обладать возможностью быстрого и относительно несложного изменения параметров. Поэтому ряд систем был исключён из дальнейшего анализа. Baidu работает в виде облачной ASR, которая предоставляет разработчику RestAPI, Espnet использует скомпилированную систему Kaldi в качестве отдельного ASR модуля, а Praat – это прежде всего набор инструментов для работы со звуком. Система HTK, разработанная в Кембриджском университете в 1993 году, последний раз обновлялась в 2016 году и использует ряд неактуальных алгоритмов распознавания. В дополнение к этому в настоящее время не существует готовой к использованию полноценной языковой модели, которую можно было бы легко и эффективно использовать в разрабатываемом программном продукте.

Была рассмотрена возможность использования ASR с закрытым исходным кодом для сравнения результатов: GoogleCloudSpeech API, Microsoftspeechrecognitionkit (Azure-Samples), YandexSpeechKit. Каждая из этих систем поддерживает русский язык и имеет версию, называемую бесплатной [7]. Однако для использования требуется

некоторая валидация в кабинете разработчика (например, с указанием банковской карты) для получения API-ключа и осуществления любого, даже краткосрочного теста. В дополнение накладываются ограничения на максимальный размер аудио-файла, числа запросов в сутки [7, 8] и т.д. Таким образом, можно сделать вывод о недостаточной целесообразности использования ASR с закрытым исходным кодом для регулярного использования, тестирования и сравнения с аналогами, имеющими открытый исходный код.

В результате был сформирован итоговый список систем автоматического распознавания речи для дальнейшей работы: CMUSphinx, DeepSpeech, FacebookWav2Letter, IBMWatson, Julius, Kaldi, RWH.

Для дальнейшего сравнения систем распознавания речи выбраны две основные [5] и две дополнительные [9] метрики качества распознавания:

- WordErrorRate (WER);
- Speed Factor/Real-Time Factor (SF/RTF);
- CharacterErrorRate;
- ConceptErrorRate.

Это было сделано по нескольким причинам. Во-первых, данные метрики достаточно точно отражают качество и скорость распознавания. Во-вторых, расчёт данных метрик поддерживается некоторыми из рассматриваемых систем, и, получая результаты не только извне, но и изнутри тестируемой системы, можно более точно рассчитать требуемые метрики. Лидером в этом аспекте является система Kaldi.

Затем было проведено сравнение современных архитектур программного обеспечения, которые наиболее эффективно позволяют использовать функциональные возможности ASR [10]. Для разрабатываемой системы был определен ряд требований:

- возможность добавления новых ASR без повторной сборки и разворачивания системы;
- возможность унификации параметров конфигурации различных ASR;
- логирование процесса выполнения и сохранение результатов испытаний;
- высокая масштабируемость.

Для создания программного обеспечения для автоматизации анализа системы распознавания речи был определен технологический стек и спроектирована архитектура соответствующего программного комплекса. Разрабатываемая система имеет модульную архитектуру, где каждая ASR представлена отдельным модулем, как правило, реализованным в виде Docker-контейнера [11]. Ядро программного обеспечения реализовано в виде клиент-серверного веб-приложения. Связь между модулями ASR и ядром осуществляется с помощью адаптеров, которые подключаются к ядру в процессе выполнения, что позволяет расширять систему без остановки и повторной инициализации. Помимо обеспечения канала связи для обмена информацией между ядром системы и ASR, адаптеры также осуществляют приведение параметров конфигурации различных ASR к единому виду, за счёт чего достигается унификация, и появляется возможность оценить поведение разных систем при одинаковых настройках. Также, благодаря этому появляется возможность гибкого взаимодействия с ASR, и в систему могут быть легко подключены системы с различными интерфейсами.

Рассмотрим работу адаптеров на примере систем Kaldi и CMUSphinx. Ниже представлена таб. 1, показывающая соответствие некоторых параметров конфигурации этих систем.

Как видно из таб. 1, параметры отличаются как названиями, так и уровнем вложенности в структуре конфигурации. Также для данных систем различается сам процесс конфигурации. Для Kaldi конфигурация осуществляется с помощью

аргументов командной строки, CMUSphinx конфигурируется с помощью java-библиотеки. Для подключения данных систем к ядру были реализованы адаптеры, преобразующие конфигурации из внутреннего формата в форматы систем, а затем конфигурирующие их через соответствующий интерфейс. Аналогичная ситуация с разным подходом к конфигурации и в других ASR. Более того, часть параметров используется при общей конфигурации системы, часть для описания акустической модели, часть для обучения, часть для оценки речи и т.д.

Таблица 1

Пример параметров конфигурации систем Kaldi и CMUSphinx

Kaldi	Sphinx
--cepstral-lifter	frontend.pipeline.lifter.lifterValue (Int)
--dither	frontend.pipeline.dither.maxDither (Double) frontend.pipeline.dither.upperValueBound (Double) frontend.pipeline.dither.lowerValueBound (Double) frontend.pipeline.dither.useRandSeed (Bool)
--frame-length	frontend.pipeline.speechClassifier.frameLengthInMs (Int)
--preemphasis-coefficient	frontend.pipeline.preemphasizer.factor (Double)
--sample-frequency	sampleRate (Int)
--beam	absoluteBeamWidth (Int) relativeBeamWidth (Double) absoluteWordBeamWidth (Int) relativeWordBeamWidth (Double)

Обобщенная схема разрабатываемой системы представлена на рисунке.

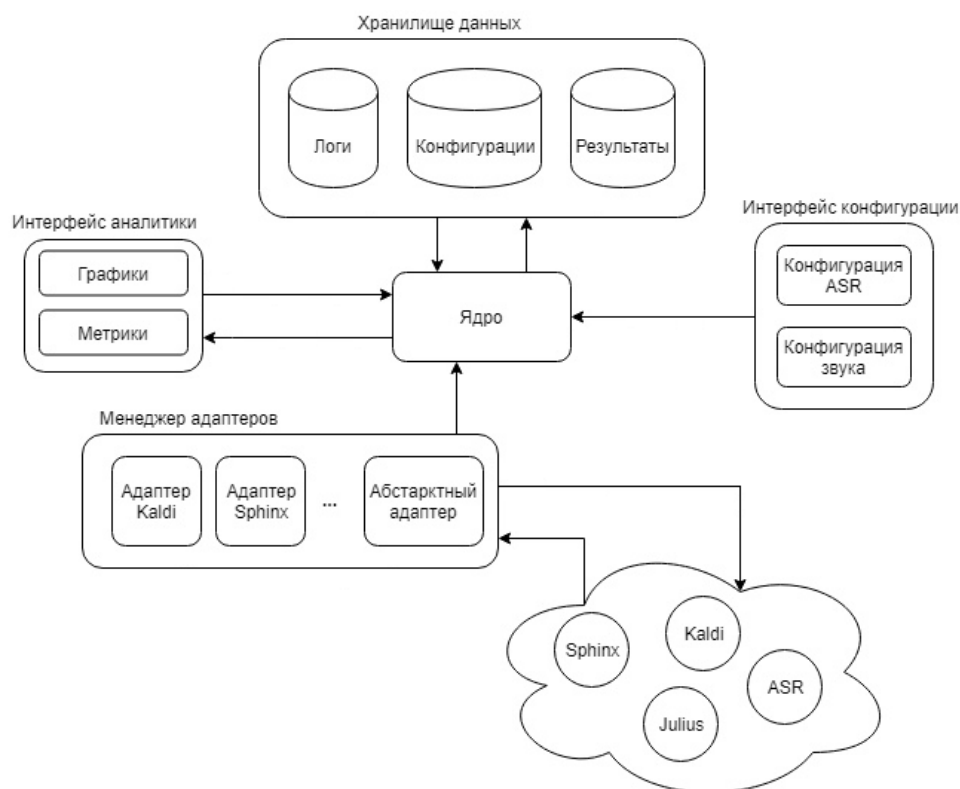


Рисунок. Схема разрабатываемой системы

Программное решение было интегрировано в программно-аппаратный стенд, собранный совместно с коллегами факультета программной инженерии и компьютерной техники для последующей отладки и проведения необходимых исследований. Программное решение было протестировано на речевой базе студентов 1-го курса бакалавриата. В сборе данных участвовало 20 человек, из которых 16 мужчин и 4 девушки и была записана 91 аудиозапись. В ходе тестирования были получены результаты, представленные в таб. 2.

Таблица 2

Результаты тестирования программного решения

ASR-система (модель)	WER, %
KALDI (модель, обученная на 39 часах аудиоданных)	14,11
KALDI (модель, обученная на 118 часах аудиоданных)	2,37
CMUSphinx (модель, обученная на 27 часах аудиоданных)	21,39

В результате был реализован прототип программного продукта для анализа автоматизированных инструментов системы распознавания речи, включающий визуализацию, настройку и логирование. Разрабатываемое программное решение позволит анализировать и сравнивать различные системы распознавания речи в одном приложении, предоставляя пользователям следующие функции:

- конфигурирование системы распознавания речи (ASR);
- возможность запуска тестов на произвольных данных;
- воспроизводимость результатов благодаря возможности повторного запуска;
- запись логов тестирования;
- автоматический расчет выбранных метрик по результатам тестирования.

В рамках работы были рассмотрены различные системы автоматического распознавания речи. Выбраны системы (ASR), которые можно использовать как для сравнения с другими, так и для непосредственно распознавания. Предложен способ и спроектирована архитектура программного решения, позволяющая автоматизировать работу с ASR. Разработан прототип, реализующий базовые функции по запуску систем распознавания. Далее в ходе исследования планируется расширить программный продукт большим числом ASR и метрик для их анализа, реализовать возможность сохранения результатов исследования и отдельных этапов обработки аудиосигнала, поддержать конфигурацию не только распознавания, но и обучения моделей, обеспечить возможность работы в распределённом окружении.

Литература

1. Raza A.A., Athar A., Randhawa S. et al. Rapid Collection of Spontaneous Speech Corpora Using Telephonic Community Forums // Proc. Interspeech 2018. 2018. P. 1021-1025. DOI: 10.21437/Interspeech.2018-1139.
2. Le Prell, C., Clavier O. Effects of noise on speech recognition: Challenges for communication by service members // Hearing Research. 2017. Vol. 349. June. P. 76-89. DOI: 10.1016/j.heares.2016.10.004.

3. Devi V., Suganya V. An Analysis on Types of Speech Recognition and Algorithm // International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCST). 2016. Vol. 4, Iss. 2. Mar-Apr. P. 350-355.
4. Kēpuska V., Bohouta G. Comparing Speech Recognition Systems (Microsoft API, Google API And CMU Sphinx) // Int. Journal of Engineering Research and Application. – 2017. Vol. 7 (3). (Part -2). March. P. 20-24.
5. Беленко М.В., Балакшин П.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 04 (58). Часть 4. С. 13-18.
6. The Best Voice Recognition Software For 2018, March 26th, 2018. Режим доступа: <https://www.business.com/categories/best-voice-recognition-software/> (дата обращения 17.04.2019).
7. Малых Д.А., Кириллова Ю.С. Система управления устройствами «умного дома» с использованием голосовых команд // Молодой ученый. 2017. №19. С. 60-64.
8. Ремизова Д.А. Задача распознавания речи и выбор оптимального сервиса для использования в программно-аппаратном комплексе «Умное зеркало» // Молодой ученый. 2017. №23. С. 109-111.
9. Hirschberg J. ASREvaluation. CS 4706. Режим доступа: <http://www.cs.columbia.edu/~julia/courses/CS4706/asreval.pdf>. (дата обращения: 17.04.2019).
10. Беленко М.В., Балакшин П.В. Автоматизация портирования приложений между системами распознавания речи // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №. 5. С. 169-171.
11. Docker. Enterprise Container Platform for High-Velocity Innovation. Режим доступа: <https://www.docker.com/>. (дата обращения: 17.04.2019).

Герасименко Наталья Дмитриевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

студент группы №V42041,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: nat-komolova@yandex.ru

Козлов Сергей Аркадьевич

Год рождения: 1956

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

д.ф.-м.н., профессор, профессор (квалификационная категория "ведущий профессор")

e-mail: kozlov@mail.ifmo.ru

УДК 535.016

**РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК
ИНТЕГРАЛЬНОГО СВЕТОДЕЛИТЕЛЯ
С МАЛЫМИ ПОТЕРЯМИ ДЛЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Н.Д. Герасименко

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор С.А. Козлов

Работа выполнена в рамках темы НИР «Расчет характеристик интегрального светоделиителя с малыми потерями для квантовых вычислений».

Аннотация

В работе предложена схема интегрального светоделиителя с малыми потерями и коэффициентом деления, близким к 50:50, для квантовых вычислений. Интегральный светоделиитель смоделирован на основе одномодовых волноводов, полученных методом ионного обмена в стекле, позволяющим добиться рекордно малых потерь на распространение благодаря градиентному показателю преломления.

Ключевые слова

Квантовые алгоритмы, квантовые вычисления, интегральная оптика, ионный обмен, светоделиитель.

Квантовые алгоритмы, их разработка и физическое воплощение – актуальная сейчас тема, находящая множество применений, среди которых такие, как квантовый компьютер, квантовые сети, квантовая криптография [1]. К интегрально-оптическим устройствам, реализующим квантовые вычисления, предъявляется ряд требований, важнейшие из которых – минимизация потерь, причем связанных как с поглощением, так и с рассеянием, одномодовость волновода, симметричность ветвей схемы [1]. Однако основные современные методы изготовления волноводов (литография и наращивание на поверхности кристалла) этим условиям не удовлетворяют. Так, волноводы, полученные этими методами, обладают значительным рассеянием на трещиноватости, что существенно увеличивает потери [2]. Решением этой проблемы могут стать волноводы с градиентным показателем преломления. Диффузионные методы изготовления, в частности, ионный обмен, позволяют получить градиентные волноводы с крайне низкими потерями.

Цель данной работы – моделирование интегрального светоделиителя на основе одномодовых волноводов с низкими потерями и коэффициентом деления 50:50 для квантовых вычислений. Эта цель достигается решением следующих задач:

- моделирование изготовления ионообменного светоделиителя с заданными параметрами;
- моделирование распространения излучения в ионообменном светоделиителе;
- подбор оптимальных параметров оптического интегрального устройства и оценка влияния отклонений от них на коэффициент деления.

Первая часть работы посвящена моделированию изготовления светоделиителя.

В качестве материала для волноводов было выбрано трехкомпонентное силикатное стекло состава $\text{Na}_2\text{O}-\text{SnO}_2-\text{SiO}_2$ (1:0,15:2) [3], известное своим высоким коэффициентом диффузии, что при реальном изготовлении позволит проводить ионный обмен при более высокой температуре и, следовательно, в течение меньшего времени. Моделирование проводилось для низкотемпературного ионного обмена $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{K}^+$. Показатель преломления исходного стекла $n_0 = 1,59$.

По сути, моделирование волновода сводится к получению профиля показателя преломления, который будет рассчитан из распределения концентраций ионов.

Рассмотрим случай ионного обмена в равномерно прогретом до высоких температур стекле, на которое нанесена маска. При отсутствии градиента температур коэффициент диффузии (D) можно считать постоянным и равным меньшему из этих коэффициентов для обмениваемых ионов. Источник замещающих ионов при получении волновода считается бесконечным и задается граничным условием (формулы приводятся далее): концентрация этих ионов (C) над не закрытой маской частью стекла постоянна и равна концентрации замещаемых ионов в рассматриваемом стекле. На этапе заглубления волновода маска удаляется, и вся граница стекло-расплав покрывается источником исходных (Na^+) ионов.

Моделируемую область поясняет рис. 1, слева. Здесь на рисунке черной полосой отмечена граница стекло-расплав, темно-серой — нанесенная на стекло маска. Концентрация ионов рассчитывалась только для области, окрашенной в белый цвет.

При моделировании решалось уравнение диффузии для двумерного случая.

Уравнение диффузии: $\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$.

Граничные условия на этапе получения волновода:

$$\left\{ \begin{array}{l} C=1, \text{ для области без маски} \\ \frac{\partial C}{\partial x} = 0, \text{ для области с маской} \\ \frac{\partial C}{\partial x} = C, \text{ для внутренних границ} \end{array} \right\},$$

и на этапе заглубления: $\left\{ \begin{array}{l} C=0, \text{ для границы расплав — стекло} \\ \frac{\partial C}{\partial x} = C, \text{ для внутренних границ} \end{array} \right\}.$

Для расчетов была написана программа на языке C, моделирование ионного обмена $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{K}^+$ осуществлялось для температуры $T \approx 600^\circ\text{C}$, коэффициента диффузии $D \approx 3.4 \text{ мкм}^2/\text{с}$ [4-6]. Время получения волновода составило 12 с, время заглубления также 12 с. Вычисления проводились методом конечных разностей. Этот метод является сеточным и применяется итерационно – на каждой итерации ищется решение для нового временного отсчета. В данном случае выбор этого метода поиска решения обуславливается простотой расчетной области: для решаемой задачи метод оказывается наиболее быстрым и при этом достаточно точным.

Далее полученная концентрация ионов в стекле пересчитывалась в распределение показателей преломления

$n = n_0 + \Delta n_{\max} C$, где $\Delta n_{\max}$ – изменение показателя преломления при $C=1$, $n_0=1,59$.

Моделирование ионного обмена при указанных условиях дает следующий результат (рис. 1, справа) – градиентный заглабленный волновод с малой разницей показателей преломления волновода и подложки.

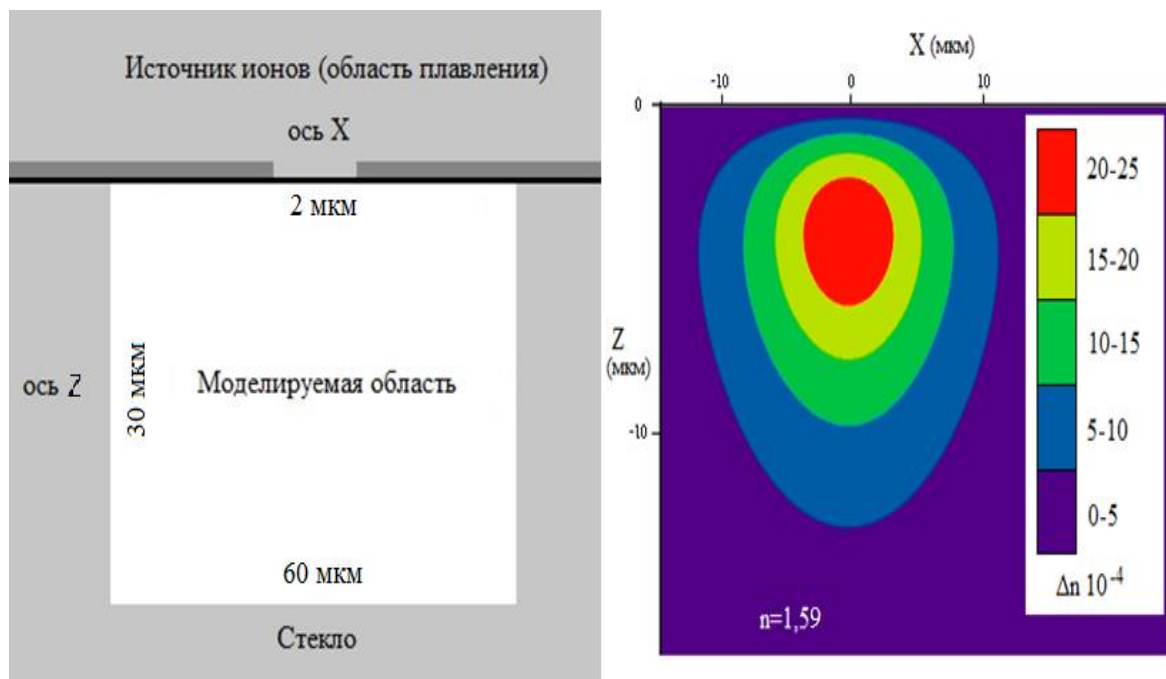


Рис. 1. Графическое представление моделируемой области (слева) и результат моделирования (справа)

Распределение концентрации ионов в области перекачки энергии в светоделителе было смоделировано двумя способами. В первом из них моделировалось изготовление двух близко расположенных волноводов по отдельности и распределение концентрации ионов было получено совмещением по координате двух независимых волноводов и простым суммированием (также по координате) концентраций ионов. Ширина щели в маске для каждого волновода 2 мкм, центр щели находился на координате -8 мкм (по оси X) для одного волновода и 8 мкм для другого. Во втором случае моделировалось изготовление X-светоделителя как волновода сложной формы: на этапе изготовления волновода в маске было две щели шириной 2 мкм каждая, расстояние между щелями 14 мкм. Результат моделирования показан на рис. 2 слева. На рис. 2 справа показана разница между результатами простого суммирования концентраций ионов (моделирование ветвей волновода по отдельности) и моделирования сложного профиля волновода (моделирование светоделителя в области перекачки энергии).

Таким образом, при расстоянии между щелями даже 14 мкм можно использовать простое суммирование концентраций – погрешность определения показателя преломления не превышает 1%. Это значительно упрощает и ускоряет работу.

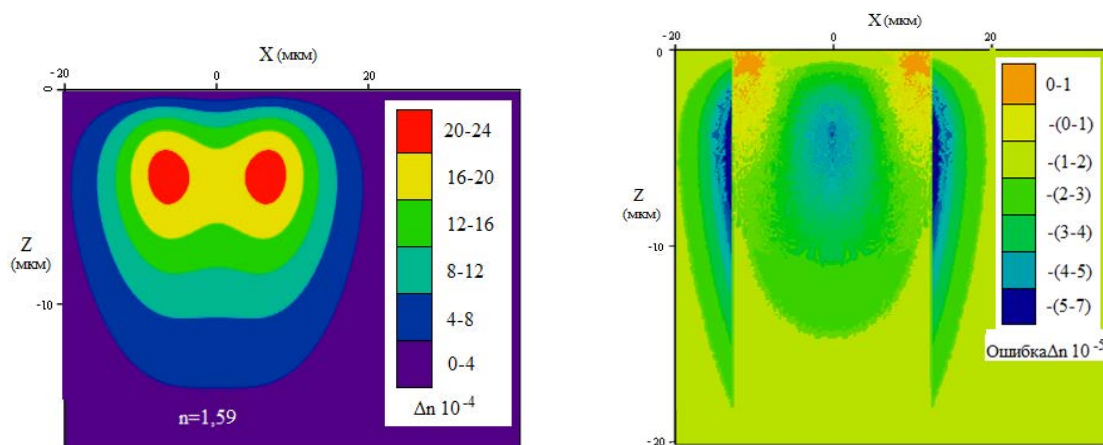


Рис. 2. Результат моделирования изготовления светоделителя (слева) и оценка ошибки суммирования концентраций по сравнению с моделированием волновода сложной формы (справа)

Во второй части работы моделировалось распространение света в таком светоделителе.

Для моделирования использовался метод ВМР (beampropagationmethod, метод распространения луча). Суть этого метода — решение уравнения Гельмгольца в условиях медленно меняющейся (во времени и пространстве) огибающей волны (по сравнению с длиной волны). Еще одно ограничение этого метода — невысокая точность в случаях, когда свет распространяется в большом диапазоне углов или необходимо рассчитать схему с большим контрастом преломления. Так как в данном случае разность показателей преломления между сердцевинной волноводом и оболочкой довольно мала, данный метод является достаточно точным, а потому хорошо подходит для решения поставленной задачи. Моделирование было выполнено в программе RsoftBeamProp, специально созданной для проектирования и моделирования интегральных и волоконно-оптических схем. Реализация ВМР в программе основана на неявной схеме метода конечных разностей.

Для моделирования была выбрана длина волны 1064 нм. Эта длина волны соответствует источнику бифотонов SPDC (спонтанное параметрическое рассеяние с понижением частоты), являющемуся одним из самых надежных [4], а также отвечает требованиям одномодового режима рассчитанного волновода.

Итак, для моделирования распространения излучения сначала необходимо было рассчитать поле и эффективный показатель преломления основной моды волновода при этой длине волны. В программе BeamProp по профилю показателя преломления волновода была рассчитана его основная мода (рис. 3, слева). В дальнейшем при моделировании возбуждалась именно она.

Как видно из рис. 3, распределение интенсивности излучения в основной моде совпадает по форме с градиентом профиля показателя преломления. Эта особенность должна учитываться при проектировании светоделителя: для того, чтобы добиться разделения мощности между двумя одномодовыми волноводами (ветками светоделителя), необходимо перекрыть градиенты волноводов в этой области. Это может вызывать возбуждение мод высокого порядка, фактически — потерю мощности, поскольку моды более высокого порядка в этой области будут иметь гораздо менее эффективное соединение с одномодовыми выходными волноводами.

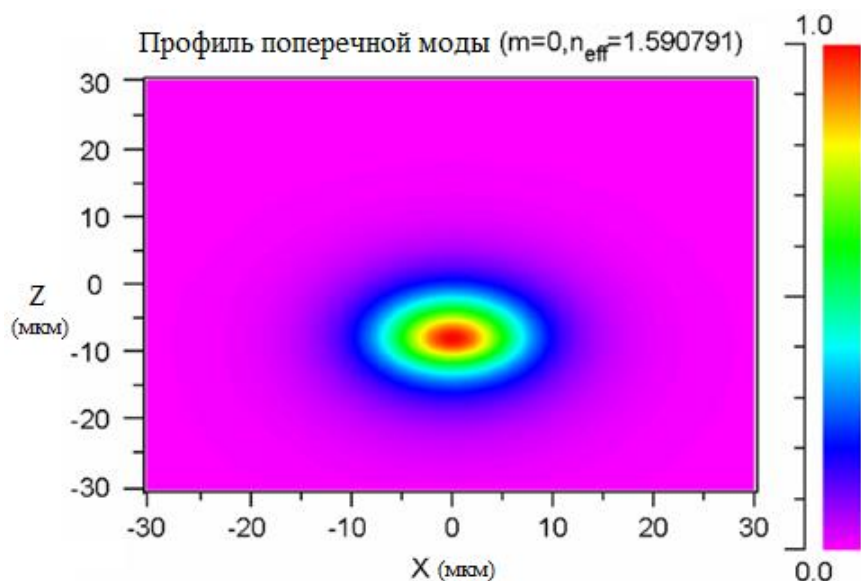


Рис. 3. Основная расчетная мода для ионообменного волновода с профилем, показанным на рис. 1 справа

Для уменьшения потерь, связанных с многомодовым режимом работы, необходимо минимизировать размер области перекачки энергии. Также в процессе оптимизации схемы длина этой области была уменьшена до нуля, т.е. близкое перекрытие между волноводами осталось только в одной точке. Это позволило практически избавиться от потерь, связанных с возбуждением паразитных мод. Моделирование оптимизированной схемы показано на рис. 4. Общее пропускание оптимизированной схемы составляет ~96%, а коэффициент деления 50,52:49,48.

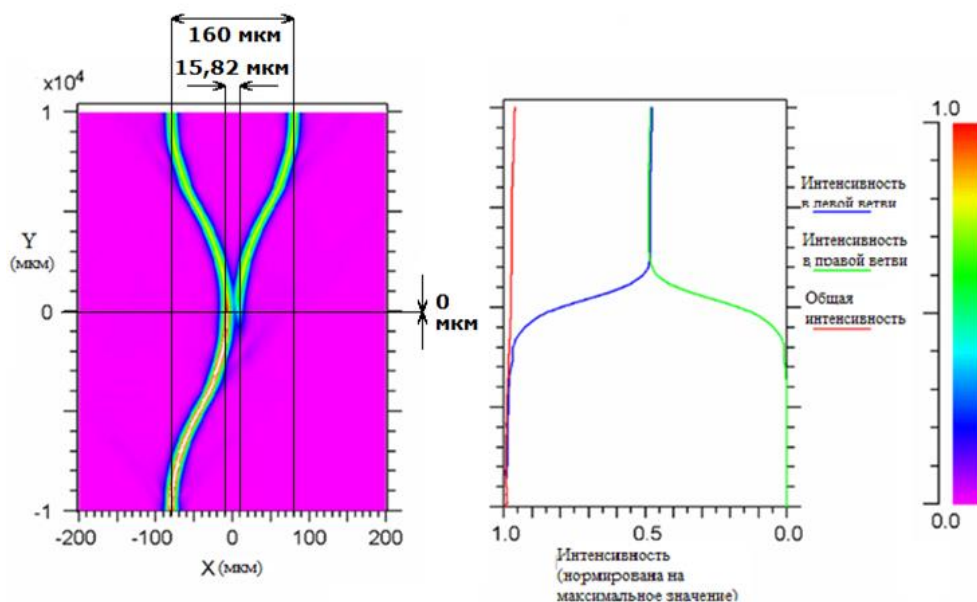


Рис. 4. Моделирование светоделителя: слева – распределение поля, справа – мощность в левой ветви светоделителя (синий), в правой ветви (зеленый), общая (красный)

Далее была проведена оценка возможных ошибок и неточностей, возникающих при реальном изготовлении подобного светоделителя, и их влияния на работу схемы.

Для этого были проделаны расчеты, аналогичные расчетам из первой части, для неточностей $\pm 5\%$ изготовления.

На этапе нанесения маски наиболее влияющая на работу светоделителя возможная ошибка – неточность ее нанесения, причем как в области разнесенных волноводов, так и в области перекачки энергии. На этапе получения и заглубления – изменение во времени. Также на этом этапе работы возможны ошибки в выдерживании температурного режима, однако при этих условиях ($T \approx 600^\circ\text{C}$, $t = 12$ с) они не столь критичны, как ошибки во времени (рис. 5).

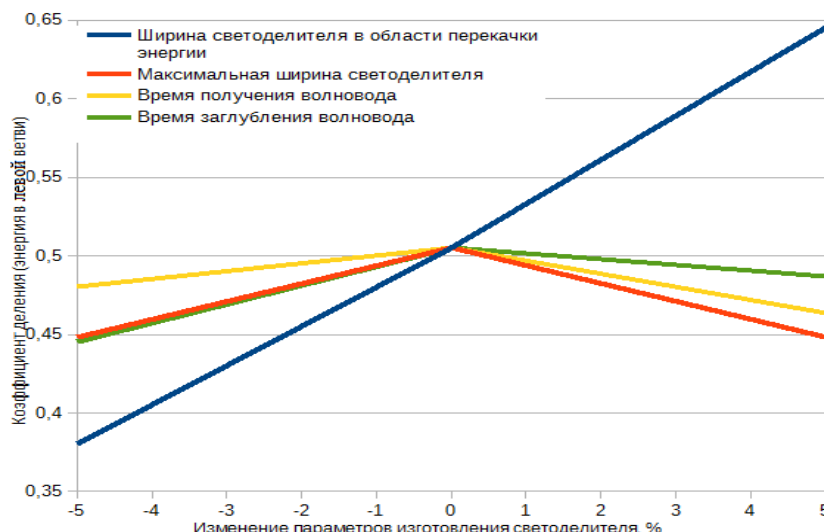


Рис. 5. Изменение к-та деления светоделителя при ошибках его изготовления

Таким образом, максимальная ширина светоделителя варьировалась от 152 до 168 мкм, ширина в области перекачки энергии от 15,0 до 16,6 мкм, времена получения и заглубления волновода – от 11,4 до 12,6 с.

Результаты моделирования представлены на рис. 5. Как видно, наибольшее влияние на коэффициент деления оказывает изменение ширины светоделителя в области перекачки энергии.

- В данной работе была предложена схема интегрального светоделителя на основе одномодовых ионообменных волноводов для квантовых вычислений. Светоделитель смоделирован на одномодовом волноводе, полученном низкотемпературным ионным обменом $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{K}^+$ в стекле $\text{Na}_2\text{O}-\text{SnO}_2-\text{SiO}_2$ при условиях: температура ионного обмена $T = 600^\circ\text{C}$, ширина щели в маске при получении волновода 2 мкм.

- Доказано, что при моделировании изготовления светоделителя достаточно суммирования концентраций ионов. Продемонстрировано, что разница показателей преломления, полученных этим методом, и полученных моделированием сложного профиля показателя преломления, не превышает 1%.

- Показано, что наибольшее влияние на коэффициент деления оказывают ошибки изменения ширины светоделителя в области перекачки энергии.

- Показано, что при максимальном расстоянии между ветками 160 мкм, минимальном 15,82 мкм, длине области перекачки энергии 0 мкм, общей длине схемы 20 мм коэффициент деления составляет 50,52:49,48 (в левой и правой ветви соответственно). Уменьшение длины области перекачки энергии до 0 мкм позволило свести к минимуму потери, возникающие при возбуждении в этой области мод высоких порядков и их высвечивании.

- Показано, что при указанных параметрах потери составляют $\sim 0,087$ дБ/см. Для реально изготовленного чипа следует ожидать потерь порядка 0,3 дБ/см, что меньше, чем у большинства известных подобных устройств при лучшем коэффициенте деления [5].

Литература

1. Чивилихин С.А. Квантовая информатика. Учебное пособие. СПб: СПбГУИТМО, 2009. 80с.
2. Morichetti F., et al. Roughness Induced Backscattering in Optical Silicon Waveguides // Phys. Rev. Lett. 2010. Vol. 104. No. 3. 033902.
3. Сидоров А.И., Никоноров Н.В. Материалы и технологии интегральной оптики. Учебное пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО. 2009 г. 107 с.
4. Magnitsky S., et al, A SPDC-based source of entangled photons and its characterization. Journal of Russian Laser Research. 2015 Vol. 36. No. 6. P. 618-629.
5. Zhang Y. et al. GaN directional couplers for integrated quantum photonics // Applied Physics Letters. 2011. Vol. 99. No. 16. P. 161119.

Зименко Ксения Владимировна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R42771,

направление подготовки: 12.04.01 – Системы и технологии цифрового производства,

e-mail: zksenia@yahoo.com

Афанасьев Максим Яковлевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: amax@niuitmo.ru

УДК 67.05

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ
И ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ**

К.В. Зименко

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.Я. Афанасьев

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

Аннотация

Рассматривается вопрос разработки ядра системы числового программного управления. Получены математическая модель и программная библиотека, отвечающие за формирование траектории с минимальной ошибкой обработки. Конфигурация модулей позволяет встраивать их в открытые системы и модифицировать для повышения эффективности. Предлагается модульный подход при разработке ядра с повышенным уровнем детализации, что позволит создавать программное обеспечение для модульного оборудования и расширит возможности быстрого прототипирования.

Ключевые слова

Числовое программное управление, интерполяция, контроль скорости, профиль скорости, ядро ЧПУ, планирование траектории, NURBS кривые, сплайны, модульное оборудование.

В силу растущих требований к точности деталей и усложнения изделий, ведутся постоянные работы по повышению эффективности ЧПУ установок, а именно точности и скорости обработки. Современное коммерческое оборудование предлагает высокоскоростную и высококачественную обработку, однако данные решения являются приоритетными. А имеющиеся открытые алгоритмы показывают существенно более низкую эффективность и требуют доработки. Так, основной проблемой остается отсутствие открытых разработок, сочетающих в себе высокую точность и скорость обработки.

Цель работы заключается в получении математической модели и программного модуля формирования траектории исполнительного устройства для оборудования с ЧПУ с минимальной ошибкой обработки. Основными требованиями к разработке являются:

- применяемость модуля для лазерной, высокоскоростной обработки;
- возможность работы со сложными криволинейными траекториями;
- минимизация контурной ошибки обработки;
- возможность использования на универсальном модульном оборудовании;
- возможность интегрирования модуля в открытую ЧПУ систему.

Научная новизна работы заключается в получении оригинальной математической модели планирования траектории рабочего органа для оборудования с ЧПУ. Для удовлетворения поставленных требований в работе также предложен модульный подход к разработке, который облегчает процесс интеграции в открытую ЧПУ систему.

Практическая ценность состоит в получении решения с открытым исходным кодом, по эффективности приближающегося к коммерческим проприетарным системам. Работа направлена на повышение технической и экономической независимости малых проектных организаций.

В ЧПУ системе можно выделить три основных функциональных составляющих: блок человеко-машинного интерфейса, блок управления и блок ядра числового управления (Numericcontrolkernel, NCK). Первый осуществляет связь между системой и пользователем, принимает команды и отображает состояние системы. Второй контролирует смену детали и инструмента, вращение шпинделя, управляет поведением станка кроме сервоприводов. Наконец, NCK производит анализ входной управляющей программы (УП), интерполяцию, формирует траекторию рабочего органа, приводит в движение серводвигатели. В работе рассматривается вопрос разработки модулей ядра ЧПУ системы.

Блок NCK состоит из интерпретатора УП, модулей планирования траектории: предварительного анализа геометрии, контроля скорости и интерполяции, а также из модуля обратной связи, осуществляющего контроль положения инструмента. Также, в состав входят модули, которые требуются в случае дополнительного движения (модуль управления экструдером) или при синхронизации управления с дополнительными устройствами (лазерной головкой). Они называются технологическими и зависят от типа обработки. Также в состав входит модуль кинематического преобразования, который формирует координаты в соответствии с выбранной кинематической схемой станка.

Требовалось получить модули ядра ЧПУ системы, отвечающие за планирование траектории, а именно: анализ геометрии, контроль скорости и интерполяцию.

Формирование траектории начинается после получения данных от интерпретатора УП. Первым шагом планирования траектории является первичный анализ геометрии. На данном этапе рассчитываются длины участков, определяются траектории и допустимые скорости в углах для преодоления тангенциальных разрывов между участками, анализируются криволинейные траектории.

В случае, когда в УП режим обхода угла задается кодом G64, между двумя соседними участками строится скругление, как правило, это дуга окружности или сплайн (рис. 1 а) [1]. В работе применена стратегия скругления углов кривыми Безье по 6 контрольным точкам. Данный тип кривой сочетает в себе относительную простоту вычислений с высоким уровнем гибкости – при минимальном числе параметров возможно изменение формы и размера сплайна для удовлетворения требуемой точности обработки. Один из требуемых параметров – ошибка в угле ε , а второй – отношение n сторон c и d (рис. 1 б). При применении меньшего числа контрольных точек изменение формы становится невозможным, а при большем их числе возрастает количество параметров и время вычислений [2].

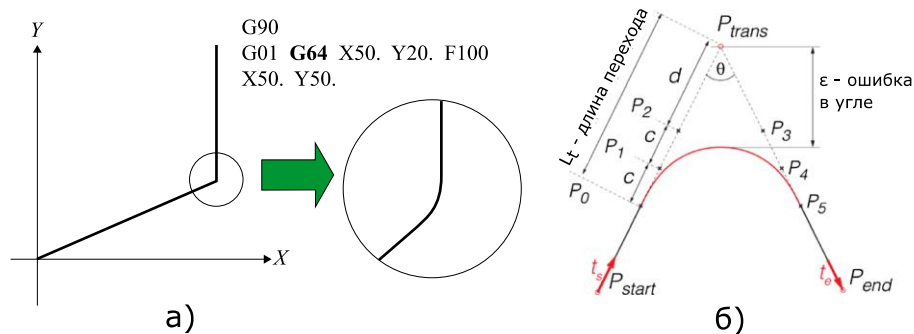


Рис. 1. Скругление углов: (а) стратегия [1] (б) параметры кривой Безье [2]

На этапе анализа геометрии также рассчитываются допустимые скорости в углах. Здесь подача обычно меньше, чем на соседних участках, иначе может быть превышено допустимое осевое ускорение. Помимо этого, угловая скорость обратно зависит от кривизны скругления [2]. В настоящей работе рассчитывается оптимальное отношение n такое, которое позволяет для широкого диапазона углов получить наименьшую кривизну и, как следствие, наибольшую скорость. Таким образом, полученное значение скорости учитывает не только параметры обработки, но и геометрию траектории.

Расширение возможностей кастомизированного производства привело к тому, что при обработке все чаще применяются сложные траектории: сплайны, эвольвенты и спирали. Существует два основных подхода к работе с криволинейными траекториями [3]: интерполяция кривых напрямую или предварительная сегментация линейными участками.

Кривые любой сложности можно аппроксимировать линейными сегментами, но это приводит к увеличенной контурной ошибке. Для ее минимизации сегментация должна проводиться как можно большим числом отрезков, что накладывает высокие требования на объем памяти [3]. С другой стороны, в современных ЧПУ все чаще применяются интерполяторы, способные работать с кривыми без предварительной аппроксимации. Это уменьшает число хранимых в памяти участков траектории. При этом несколько возрастает вычислительная сложность. С другой стороны, только некоторые системы формирования УП обладают инструментарием, позволяющим генерировать инструкции в параметрическом виде (Catia). Таким образом, оба подхода имеют достоинства и недостатки. Поэтому требовалось получить универсальное решение, позволяющее работать как с сегментированной траекторией, так и с кривыми напрямую в зависимости от данных УП.

Для представления сложных траекторий в ЧПУ чаще всего применяются неоднородные рациональные В-сплайны (Non-uniformRationalB-Spline, NURBS) [4]. Модель работы с ними была разработана в рамках данной работы. На этапе анализа геометрии рассчитывается кривизна траектории для определения участков, где может быть превышено допустимое ускорение A_{max} . Для этого также анализируется порог кривизны с учетом как параметров траектории, так и режимов обработки: подачи F , допустимого ускорения и рывка A_{max} и J_{max} , максимальной контурной ошибки E_{con} и периода интерполяции T . Значения кривизны и порога сравниваются в каждой исследуемой точке кривой. В каждой зоне, где кривизна больше порога, находится критическая точка, а кривая делится ими на сегменты-подкривые. Данная процедура необходима для того, чтобы зоны, накладывающие наибольшее ограничение на допустимую скорость, находились на концах участков, что облегчает процедуру контроля скорости и интерполяции.

Следующим этапом планирования является контроль скорости, который состоит в расчете значений скорости рабочего органа за каждый период интерполяции. Вместе

полученные скорости формируют профиль. Требованиями к разработке на данном этапе являются: максимизация средней скорости обработки при минимизации времени, а также ликвидация избыточных вибраций и максимальная плавность изменения рывка.

Задача решается двумя шагами: упреждающим просмотром и построением профиля скорости. При формировании профиля рассчитывается постепенное изменение скорости на участке траектории. В ЧПУ применяются разные формы профилей, самые популярные – линейный, экспоненциальный и S-образный (рис. 2) [1]. Линейный тип отличается простотой вычислений и широко применяется при планировании траектории. Однако резкие перепады скорости в начале и конце разгона/торможения приводят к избыточным вибрациям, и негативно сказываются на качестве обработки. Применение экспоненциального типа также в силу резких перепадов скорости нецелесообразно.

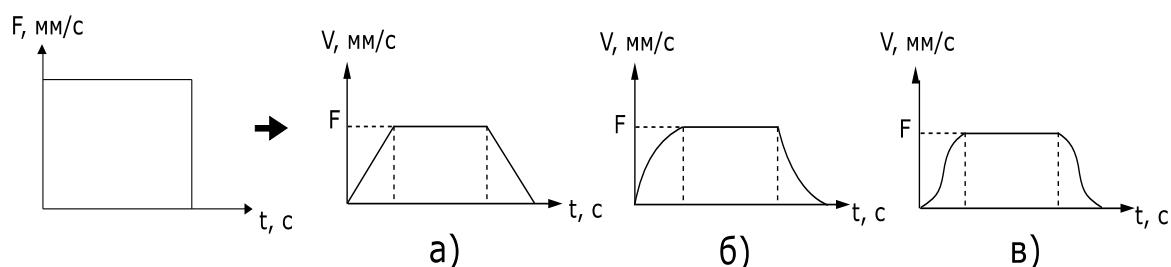


Рис. 2. Профили скорости (а) линейный, (б) экспоненциальный, (в) S-образный

В работе применен алгоритм построения S-образного профиля. Он позволяет добиться наиболее плавного изменения скорости при учете третьей производной от перемещения – рывка, что особенно важно при переходе от линейной траектории к кривой или дуге, когда резко изменяющееся ускорение вызывает вибрации [5]. Ограничение на изменение ускорения позволяет снизить позиционную ошибку. Так, выполняется требование контроля рывка и вибраций. Алгоритм построения профиля следующий:

1. Расчет времени/длины разгона и торможения на участке.
2. Определение максимальной скорости, если инструмент не может разогнаться до заданной подачи. В работе применяется наиболее точный алгоритм нахождения требуемого значения внутри заданного диапазона – алгоритм дихотомии, который позволяет найти требуемую скорость с учетом допустимой ошибки обработки.
3. Расчет скоростей для каждого периода интерполяции.

Для успешного расчета профиля скорости требуется знать начальную и конечную скорость участка. Если приравнять их к нулю, то профиль примет пилообразный вид (рис. 3 а). При этом снижается средняя скорость и растет время обработки [5]. Для нахождения скоростей между участками применяется алгоритм упреждающего просмотра (рис. 3б). Чтобы получить оптимальную граничную скорость, в полученном модуле при расчете учитываются как системные параметры (допустимая осевая скорость, ускорение, рывок), так и параметры траектории (кривизна, ошибка хорды дуги, длина участка) и обработки (заданная подача, допустимая линейная и контурная ошибка) текущего и следующих участков. Число участков предпросмотра по умолчанию задано равным 5, однако пользователю предоставляется возможность изменять этот параметр. Возможности примененного метода позволяют увеличить это значение до нескольких десятков, что сопоставимо с работой некоторых коммерческих систем. Для каждого участка сначала определяется граничная скорость, а затем профиль скорости.

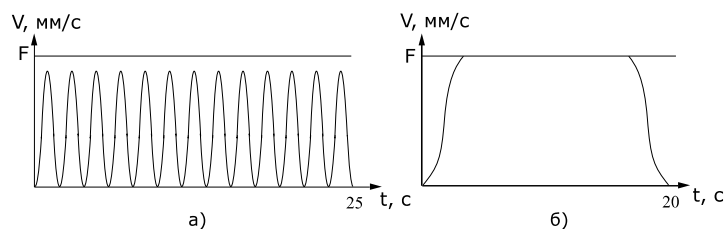


Рис. 3. Профиль скорости (а) без и (б) с упреждающим просмотром

Завершающим этапом планирования является интерполяция – расчет единичных перемещений и генерация осевого движения инструмента. Для линейной интерполяции выбран опорно-сегментный метод, который разбивает путь на временные периоды интерполяции. На каждом периоде рассчитывается перемещение и точка, куда должен прийти инструмент. Параметрическая интерполяция в работе применяется для кривых NURBS, скруглений и дуг окружности. Расчет позиций инструмента идет путем приращения параметра Δu кривой, задача состояла в его определении. Традиционный подход предполагает деление диапазона u на равные приращения, но не равные сегменты кривой. Это приводит к непостоянной скорости, так как каждый участок инструмент проходит за равный период T . Также остается неизвестной величина самого Δu . Существуют аргументы и в пользу его максимизации, и минимизации. Идея разработанного же алгоритма состоит в расчете Δu такого, чтобы получить равные сегменты кривой, что гарантирует постоянную подачу. Δu определяется разложением в ряд Тейлора второго порядка по длине дуги.

Были проанализированы применяемые решения в открытых ЧПУ системах GRBL и Smoothieware и установках компаний Fanuc, HaasAutomation, Siemens и Heidenhain. Выделены следующие достоинства коммерческих продуктов по сравнению с открытыми решениями: работа с кривыми напрямую без сегментации; предпросмотр с нефиксированным широким окном кадров; учет рывка; скругление углов траектории; S-образный плавный профиль скорости. Все эти методы были учтены при разработке.

Результаты симуляций

Для разработки выбран язык программирования Python, который применяется в других открытых ЧПУ системах (GRBL, Smoothieware). Работа программной библиотеки была протестирована на различных типах траекторий: круговых, кривых NURBS, линейных.

Первая тестовая траектория состоит из дуги и линейных участков, разделенных углами. В углах были построены скругления, удовлетворяющие заданной ошибке в угле $E_{con} = 0,1$ мм. Полученный профиль скорости показан на рис. 4 справа, учтены допустимые подачи в углах, средняя скорость обработки максимизирована. Траектория представлена на рис. 4 слева в сравнении с заданной в УП. Точность обработки высокая: контурная ошибка оказывается в пределах 4 мкм. Линейная ошибка траектории в пределах 10 мкм.

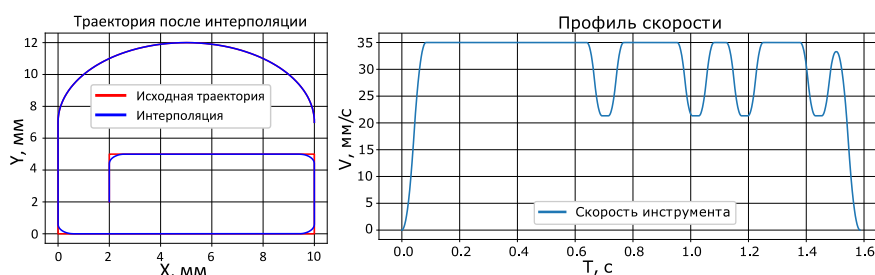


Рис. 4. Пример работы модуля для линейных и круговых траекторий

Второй пример содержит NURBS кривую с единичными весами и узловым вектором $K = [0, 0, 0, 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1, 1, 1]$. После сравнения кривизны с пороговым значением, выделено три зоны, где кривизна превышает порог, траектория разбита на четыре участка, обозначенных разными цветами на рис. 5 слева. Ограничения, накладываемые кривизной, учтены при формировании профиля скорости (рис. 5 справа). После интерполяции полученная линейная ошибка обработки не превышает 20 мкм. Максимальная контурная ошибка равна 6,9 мкм, что существенно ниже, чем в других имеющихся разработках [4].

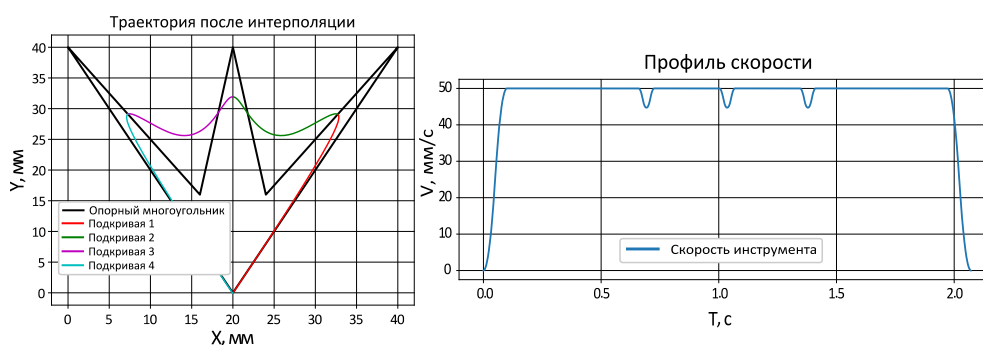


Рис. 5. Пример работы модуля для криволинейных траекторий

Модульный подход при разработке ЧПУ системы

В работе также предложен модульный подход, при котором каждый этап планирования траектории разрабатывался как отдельный модуль-блок. Данный подход соотносится с направлениями разработок в данной области и предполагает сокращение цикла разработки, применение компонентного подхода и возможность повторного использования кода [6]. Большинство разработок на данный момент объединяет идея получения ядра системы управления или модуля планирования траектории как «черный ящик», что делает модификацию внутренних методов невозможной [6-8]. Предлагается повышенный уровень детализации (granularity), при которой не только основные органы системы, но и само ядро, а также этап планирования траектории делятся на независимые модули. Взаимодействие модулей осуществляется через унифицированный программный интерфейс (Application Programming Protocol, API), что облегчает задачу модификации программного кода и встраивания полученных модулей в готовые системы.

Одним из преимуществ является возможность импорта модулей в имеющиеся открытые системы, что существенно сократит время разработки ЧПУ. Каждый модуль библиотеки имеет унифицированные входные данные: набор системных параметров и экземпляры классов (данные участков). Такая конфигурация позволяет встроить модули в ЧПУ систему Smoothieware. Таким образом, можно повысить эффективность ее работы, а также иметь возможность дальнейшей ее модификации. Путем импорта дополнительных модулей можно подстроить систему под другой тип обработки в зависимости от требований аппаратной части (изначально Smoothieware рассчитана только на фрезерную, лазерную обработку и трехмерную печать). Это преимущество делает данный подход перспективным при применении на универсальном модульном оборудовании, где путем замены физических модулей можно получить разные установки, для которых требуются системы управления.

В результате выполнения работы была получена программная библиотека планирования траектории рабочего органа оборудования с ЧПУ. Разработанные модули успешно формируют линейные, круговые и сложные криволинейные траектории. Полученные отклонения от заданных в УП путей сопоставимы с точностью, предлагаемой в коммерческих установках. Сниженная величина контурной и линейной

ошибки обработки и возможность высокоскоростной обработки при контроле третьей производной от перемещения позволяют добиться высокого качества полученной поверхности.

Полученные модули позволяют существенно повысить эффективность и расширить возможности работы открытых ЧПУ систем. А предложенный модульный подход позволит получать требуемую конфигурацию системы для применения на универсальном модульном оборудовании, что существенно расширит возможности прототипирования для малых проектных организаций. Перечисленные достоинства разработки выгодно выделяют ее среди имеющихся открытых проектов.

В планы входит разработка других модулей, позволяющих расширить область применения модульной установки. Также планируется разработка системы обратной связи для еще большей точности обработки. Дальнейшие разработки также включают модификацию ЧПУ до киберфизической системы станка, что было предложено в работе [8] для осуществления постоянного мониторинга и контроля над процессом обработки.

Литература

1. Suh S.-H. Theory and Design of CNC Systems / S.-H. Suh, S.-K. Kang, D.-H. Chung, I. Stroud. – Springer, London: Springer Series in Advanced Manufacturing. 2008. 508 с.
2. Zhang Y., An optimal curvature-smooth transition algorithm with axis jerk limitations along linear segments / Y. Zhang, J. Wu, P. Ye, Z. Hui // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 95. P. 875-888.
3. Koren Y., CNC Interpolators: algorithms and analysis / Koren Y., Lo C.C, Shpitalni M. // Manufacturing Science and Engineering. 1993. Vol. 64. P. 83-92.
4. Du X., A complete S-shape feed rate scheduling approach for NURBS interpolator / Du X., Huang J., Zhu L.-M. // Journal of Computational Design and Engineering. 2015. Vol. 2 (4). P. 206-217.
5. Wang L., A look-ahead and adaptive speed control algorithm for high-speed CNC equipment / Wang L., Cao J. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. Vol. 63. P. 705 – 717.
6. Grigoriev S.N., Martinov G.M. Scalable open cross-platform kernel of PCNC system for multi-axis machine tool // Procedia CIRP. 2012. Vol. 1. P. 238–243.
7. Ma X.B., Han Z.Y., Wang Y.Z., Fu H.Y. Development of a PC based open architecture software-CNC system // Chin. J. Aeronaut. 2007. Vol. 20. N 3. P. 272–281.
8. Changyi Deng, Ruifeng Guo, Pai Zheng, Chao Liu, Xun Xu, Ray Y. Zhong, From Open CNC Systems to Cyber-Physical Machine Tools: A Case Study, Procedia CIRP. 72 (2018) 1270-1276.

Кунту Дарья Вадимовна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

физико-технический факультет,

студент группы №Z42781,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: dasha_kuntu@mail.ru

Калашникова Александра Михайловна

Год рождения: 1980

ФТИ им. А.Ф. Иоффе,

Университет ИТМО,

физико-технический факультет,

ph.d.,

e-mail: kalashnikova@mail.ioffe.ru

УДК 535, 537

**СВЕРХБЫСТРОЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЕ
РАЗМАГНИЧИВАНИЕ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ГАЛФЕНОЛА**

Д.В. Кунту

Научный руководитель –ph.d. А.М. Калашникова

Аннотация

Работа посвящена исследованию сверхбыстрой лазерно-индуцированной динамики намагниченности в тонких пленках ферромагнитного металла галфенола FeGa на подложках GaAs. В ходе работы было исследовано экспериментально влияние на сверхбыстрое размагничивание толщины пленок и характера их границы раздела с другими материалами. Также было проведено численное моделирование процессов, происходящих в пленках галфенола под воздействием фемтосекундного лазерного импульса. В перспективе, полученные результаты могут быть использованы для конструирования композитных материалов с оптимальными свойствами для новых методик записи и обработки информации.

Ключевые слова

Галфенол, ферромагнетики, сверхбыстрая лазерно-индуцированная динамика, магнитооптика, сверхбыстрое размагничивание, микроскопическая трех-температурная модель

Введение

В настоящее время ведется поиск новых и усовершенствованных подходов к управлению намагниченностью на сверхкоротких временных и сверхмалых пространственных масштабах. Воздействие фемтосекундными лазерными импульсами позволяет изменять магнитное состояние материалов и наноструктур на пико- и даже суб-пикосекундных временах [1]. Так, воздействие короткого лазерного импульса на магнитный металл приводит к размагничиванию, происходящему на временах порядка 100 фс [2].

Однако особенности отклика магнитных металлов на лазерное возбуждение до сих пор не полностью поняты и продолжается поиск строгих микроскопических моделей таких процессов. Таким образом, изучение сверхбыстрой динамики в тонких слоях магнитных металлов является актуальной экспериментальной и теоретической задачей.

Целью данной работы было установление факторов влияющих на сверхбыстрое размагничивание в тонких пленках ферромагнитного металла галфенола $\text{Fe}_{0.81}\text{Ga}_{0.19}$ (FeGa). Для этого было исследовано экспериментально влияние на этот процесс толщины пленки и характера ее интерфейса с подложкой. Также было проведено моделирование процесса сверхбыстрого размагничивания в рамках микроскопической трех-температурной модели и сопоставление характеристик сверхбыстрого размагничивания, полученных в эксперименте и в теории.

Экспериментальная методика

Объектами исследования были пленки FeGa толщиной 4, 5, 10, 20, 50 и 100 нм, выращенные методом магнетронного распыления на подложке GaAs, а также многослойные структуры FeGa/Cu/GaAs и FeGa/Cu/FeGa/GaAs. Измерения проводились по методике фемтосекундной магнитооптической накачки-зондирования, как показано на рис. 1.

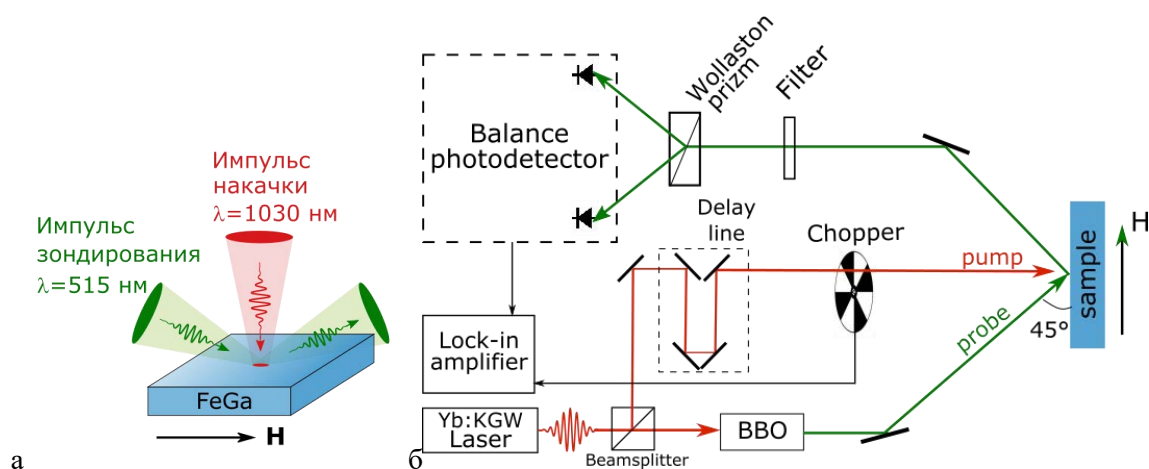


Рис. 1. Схема эксперимента по измерению лазерно-индуцированной динамики намагниченности: а) принцип эксперимента по фемтосекундной двуцветной накачке-зондированию, б) схема экспериментальной установки; внешнее магнитное поле приложено в плоскости образца, измерения проводились при комнатной температуре

Для возбуждения динамики намагниченности использовались лазерные импульсы накачки с длительностью 170 фс, центральной длиной волны 1030 нм и плотностью энергии в импульсе от 2 до 14 мДж/см². Детектирование изменений ΔM_s величины намагниченности M_s пленок галфенола производилось путем измерения меридионального магнитооптического эффекта Керра для отраженного импульса зондирования (170 фс, 515 нм, 0.4 мДж/см²) в зависимости от времени задержки между импульсами накачки и зондирования. Источником импульсов накачки и зондирования был фемтосекундный регенеративный усилитель PHAROSSP (LightConversion). Удвоение центральной частоты фотона импульсов зондирования производилось в нелинейном кристалле ВВО. Время задержки между импульсами накачки и зондирования контролировалось опто-механической линией задержки.

Результаты и обсуждение

В качестве примера, на рис. 2 приведены кривые лазерно-индуцированного размагничивания для пленки галфенола толщиной 100 нм. Видны следующие характерные особенности динамики размагничивания: сначала за время менее 1 пс происходит существенное уменьшение намагниченности, а затем следует частичное восстановление намагниченности, происходящее на временной шкале в несколько пикосекунд. Данный характер размагничивания наблюдается также во всех

исследованных пленках меньшей толщины и многослойных структурах, кроме пленки самой малой из исследованных толщин 4 нм. Было обнаружено, что в данной пленке динамика намагниченности существенно отличается, и вместо частичного восстановления намагниченности в диапазоне времен до 8 пс наблюдается второй, медленный этап размагничивания. В результате в пленке галфенола толщиной 4 максимальное размагничивание происходило на временах около 10 пс после воздействия импульса, и лишь затем наблюдалось восстановление намагниченности.

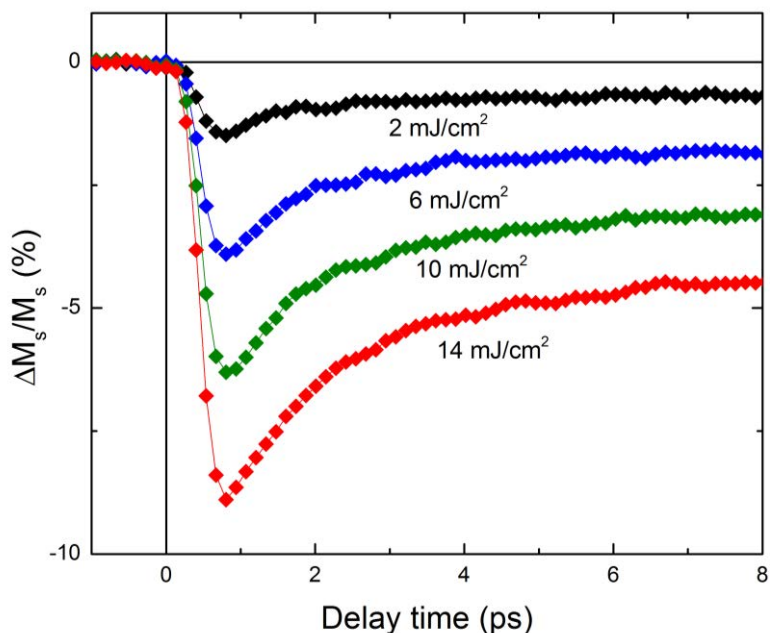


Рис. 2. Кривые размагничивания для пленки FeGa толщиной 100 нм на подложке GaAs, полученные для плотностей энергии в импульсе накачки в диапазоне от 2 до 14 мДж/см²

По экспериментальным данным были построены зависимости параметров размагничивания от плотности энергии лазерного импульса накачки. На рис. 3 приведены в качестве примера зависимости степени размагничивания и времени размагничивания в пленке галфенола толщиной 100 нм от плотности энергии в импульсе накачки.

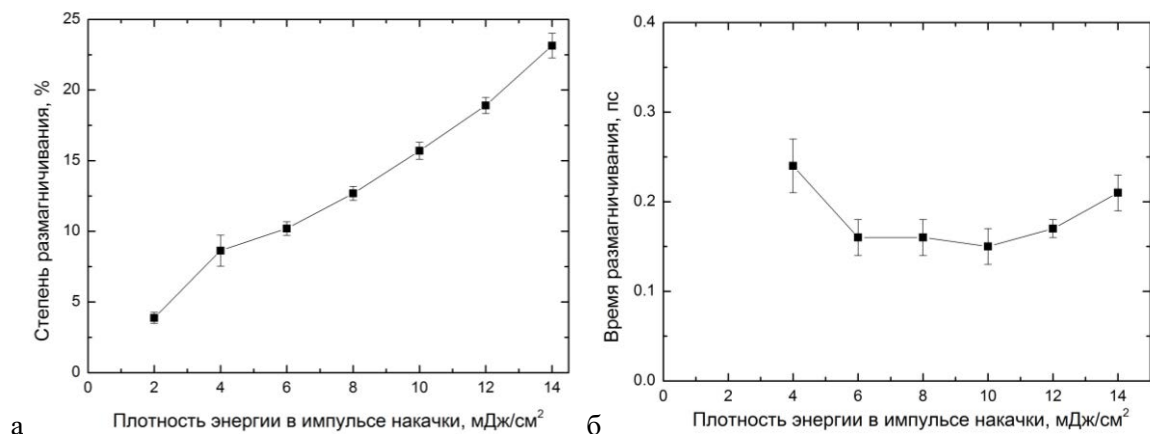


Рис. 3. Зависимость параметров размагничивания: а) степени размагничивания, б) времени размагничивания для пленки FeGa толщиной 100 нм от плотности энергии в импульсе накачки

Из рис. 3а видно, что степень размагничивания увеличивается линейно при

увеличении плотности энергии лазерного импульса накачки. Такое поведение, характерное для переходных металлов, наблюдалось и в пленках меньшей толщины и в многослойных структурах. Из рис. 3б видно, что регулярной зависимости времени размагничивания от плотности энергии в импульсе не наблюдается и можно считать, что время размагничивания от плотности энергии не зависит. Для пленок меньших толщин качественное поведение параметров размагничивания было аналогичным пленке 100 нм, за исключением пленки FeGa толщиной 4 нм, в которой время размагничивания существенно, в ~3 раза, увеличивалось при увеличении плотности энергии в импульсе накачки. По мере увеличения толщины пленки галфенола, степень размагничивания уменьшалась.

К настоящему моменту показано [1], что в основе сверхбыстрого размагничивания лежит сложная динамика электронной, решеточной и спиновой подсистем материала, возникающая при оптическом возбуждении. Динамика намагниченности может быть описана теоретически в рамках микроскопической трех-температурной модели (МЗТМ-модели) [3]. Зависимость эффективных температур электронов T_e и решетки T_p , а также намагниченности m от времени t при возбуждении лазерным импульсом в рамках данной модели определяется следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} C_e[T_e] \frac{dT_e}{dt} = g_{ep}(T_p - T_e) + P_a(t) \\ C_p \frac{dT_p}{dt} = g_{ep}(T_e - T_p) \\ \frac{dm}{dt} = Rm \frac{T_p}{T_C} \left(1 - m \coth \left(\frac{m T_C}{T_e} \right) \right) \end{cases}, \quad (1)$$

где: $C_e[T_e]$ – теплоемкость электронов, зависящая от температуры как $C_e = A_e T_e$;

C_p – теплоемкость решетки;

g_{ep} – константа электрон-фононного взаимодействия;

$P_a(t)$ – плотность поглощенной мощности лазерного импульса накачки;

m – зависящая от времени намагниченность, нормированная на намагниченность в равновесном состоянии. Эта величина связана со степенью размагничивания, получаемой в эксперименте, как $m = 1 - \frac{\Delta M_s}{M_s}$;

R – размерный параметр скорости размагничивания, зависящий от материала, в частности, от силы спин-орбитального взаимодействия;

T_C – температура Кюри.

Численные значения параметров, входящих в уравнения (1), для галфенола были приняты равными соответствующим параметрам для железа [4]: $A_e = 672 \text{ Дж м}^{-3} \text{ К}^{-2}$, $C_p = 3.8 \cdot 10^6 \text{ Дж м}^{-3} \text{ К}^{-1}$, $g_{ep} = 8 \cdot 10^{17} \text{ Вт м}^{-3} \text{ К}^{-1}$.

Температура Кюри для галфенола $T_C = 993 \text{ К}$ [5]. Значение R было принято равным 2 пс^{-1} . Порядок величины данного параметра соответствует оценкам, представленным в работе [3] для переходных металлов. Начальная температура электронов и решетки принимается равной 300 К.

На основании МЗТМ-модели были рассчитаны кривые размагничивания для пленок галфенола различной толщины. На рис. 4 представлен результат расчета для пленки FeGa толщиной 100 нм.

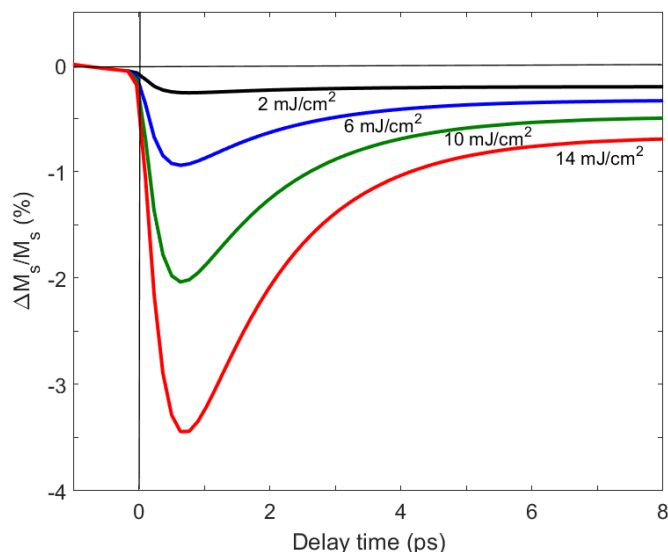


Рис. 4. Кривые размагничивания, рассчитанные согласно МЗТМ-модели для пленки FeGa толщиной 100 нм для плотностей энергии в импульсе накачки в диапазоне от 2 до 14 мДж/см²

Качественное согласие с экспериментальными данными, а также соответствие степени размагничивания по порядку величины, наблюдается для пленки FeGa 100 нм, а также для всех пленок меньшей толщины, кроме 4 нм. Для последней пленки двухэтапное размагничивание в расчетах в рамках МЗТМ-модели можно было получить, лишь варьируя параметр R , т.е. предположив изменение микроскопических характеристик материала. Одной из возможных причин изменения параметра R в тонкой пленке металла может быть усиление вклада в характеристики материала от магнитных ионов на границе раздела с подложкой GaAs.

Заключение

В ходе работы были экспериментально получены кривые размагничивания в тонких пленках галфенола FeGa на подложке GaAs толщиной слоя FeGa 4, 5, 10, 20, 50 и 100 нм, а также в многослойных образцах FeGa(7нм)/Cu(5нм)/GaAs и FeGa(7нм)/Cu(5нм)/FeGa(4нм)/GaAs. Было выявлено существенное отличие характера динамики сверхбыстрого размагничивания в пленке 4 нм от пленок с большей толщиной и многослойных структур. Обнаружено влияние толщины пленки на степень сверхбыстрого размагничивания, при увеличении толщины степень размагничивания уменьшается для фиксированной плотности энергии в лазерном импульсе.

Моделирование процесса размагничивания по МЗТМ-модели показывает качественное соответствие экспериментальных и расчетных кривых для пленок FeGa толщиной 5 нм и более. При этом теоретическая модель не выявляет изменения характера сверхбыстрого размагничивания при уменьшении толщины пленки до 4 нм, наблюдаемого в эксперименте. Мы предполагаем, что такое несоответствие указывает на то, что в пленке с малой толщиной существенное влияние на размагничивание оказывают такие факторы, как спин-орбитальное взаимодействие на границе раздела с GaAs, отличное от объемного, и супердиффузионный транспорт, который не учитывается в МЗТМ-модели.

Автор благодарит профессора Университета Ноттингема A.W. Rushforth за предоставленные образцы, а также сотрудников лаборатории Физики ферроиков ФТИ им. А.Ф. Иоффе: Я.А. Могунова, Л.А. Шелухина и П.И. Геревенкова за помощь в проведении экспериментов. Работа выполнена частично при поддержке гранта РФФИ 20-32-70149.

Литература

1. Kirilyuk A., Kimel A.V., Rasing T. Ultrafast optical manipulation of magnetic order// Rev. Mod. Phys. 2010. V. 82. № 3. P. 2731–2784.
2. Beaurepaire E. et al. Ultrafast spin dynamics in ferromagnetic nickel// Phys. Rev. Lett. 1996. V. 76. № 22. P. 4250–4253.
3. Koopmans B. et al. Explaining the paradoxical diversity of ultrafast laser-induced demagnetization// Nature Mater. 2010. V. 9. P. 259–265.
4. Kats V.N. et al. Ultrafast changes of magnetic anisotropy driven by laser generated coherent and noncoherent phonons in metallic films // Phys. Rev. B. 2016. V. 93. № 21. P. 214422.
5. Quinn C.J. The Fabrication and Analysis of the Magnetic and Crystallographic Properties of Fe-rich ($\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}$) Galfenol Alloys: PhD thesis. Manchester, United Kingdom–2012. 252 p.

Мурадова Мариам Башировна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

студент группы №Т42281,

направление подготовки: 19.04.01 –Биотехнология,

профиль – Биотехнология продуктов функционального назначения,

e-mail: mari.muradova1996@gmail.com

Надточий Людмила Анатольевна

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

к.т.н., доцент,

e-mail: l.tochka@mail.ru

УДК 635.032

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ РАСТЕНИЙ

LINUMUSITATISSIMUML. И SALVIAHISPANICAL

М.Б. Мурадова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Л.А. Надточий

Работа выполнена в рамках международного сотрудничества с французскими коллегами из университета Лотарингии при поддержке президентской стипендии Российской Федерации на обучение за рубежом в 2019/2020 учебном году, темы НИР «Сравнительный анализ пищевой и биологически активной ценности растений при ранних фазах роста».

Аннотация

Настоящее исследование посвящено изучению пищевой ценности льна и шалфея испанского при ранних фазах роста, а именно на стадиях ростков и микрозелени по сравнению с сухими семенами. В качестве пищевой ценности были проанализированы такие показатели, как массовая доля белка, жира, влаги, углеводов и золы. Были оптимизированы рациональные параметры для культивирования семян льна (*Linum usitatissimum* L.) и чиа (*Salvia hispanica* L.) для получения ростков и микрозелени в условиях фитотроники. В качестве исследуемого входного параметра выращивания были применены две длины волны в 200, 300 мкмоль м⁻²с⁻¹. Было доказано, что пищевой профиль льна и чиа (шалфея испанского) во время прорастания во многом превосходит питательную ценность сухих семян. На основании полученных данных прослеживается аккумуляция питательных соединений во время прорастания семян при существенном влиянии интенсивности излучения света. Установлено, что интенсивность света, равная 300 мкмоль м⁻²с⁻¹ в большей степени способствует накоплению химических веществ по сравнению с меньшей интенсивностью света, равной 200 мкмоль м⁻²с⁻¹, в частности ростки данных культур содержали больше белка, а их микрозелень была богата углеводами и минеральными веществами. Впервые была изучена пищевая ценность микрозелени льна и шалфея испанского, которые можно рассматривать как новые, перспективные источники функционального питания благодаря их высокой пищевой ценности.

Ключевые слова

Пищевая ценность, ростки, микрозелень, семена, лен, чиа, шалфей испанский, выращивание, интенсивность света.

В последние годы люди проявляют значительный интерес к потреблению фруктов и овощей, характеризующихся высоким содержанием биологически активных веществ, которые обеспечивают необходимые питательные вещества для человеческого организма, а также оказывают важное влияние на здоровье [1]. Однако в отношении некоторых растительных культур отмечается сложность в их выращивании, что влечет за собой поиск альтернативных методов. В последние годы среди сторонников здорового питания ростки и микрозелень приобрели большую популярность. Микрозелень и ростки обладают высокой пищевой ценностью, а именно высоким содержанием микро- и макроэлементов, витаминов, флавоноидов и фенольных кислот, таким образом, могут рассматриваться как источник функциональной органической продукцией [2, 3]. В настоящее время спрос на данные растительные продукты стремительно растет благодаря их особым характеристикам: уникального цвета, богатого вкуса, широкого спектра аромата и гарантированного содержания необходимых биологически активных веществ. На данный момент актуальной задачей современной агрономической науки является изучение новых для российского рынка овощных и зеленых культур, способных производить микрозелень и ростки, обладающих высоким пищевым потенциалом. Рынок данной категории зеленой продукции достаточно обширен, с каждым годом он пополняется новыми видами растений. Однако, стоит отметить, что в Российской Федерации научный опыт в данном направлении совсем незначителен, что привело к изучению данного вопроса.

В качестве изучаемых видов растений на стадии ростков и микрозелени, были выбраны такие виды культур, как лен (*Linum usitatissimum* L.) и шалфей испанский (*Salvia hispanica* L.), в связи с тем, в мировом сообществе данные культуры на ранних стадиях развития изучены слабо, особенно в отношении их пищевой и биологической ценности в процессе прорастания. Известно, что семена льна и шалфея испанского издавна использовались людьми, в качестве основного рациона питания; масла данных культур содержат высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот [4]. Однако, совсем недавно начались изыскания в качестве использования их зеленой массы в функциональном питании из-за высокой питательной и фармакологической ценности. Соответственно, целью настоящей работы являлось исследование пищевой ценности ранних фаз роста данных видов растений.

В работе были сформулированы задачи для реализации поставленной цели, в частности: изучить имеющийся научный опыт в отношении условий выращивания семян, методов анализа пищевой и биологически активной ценности растений; установить оптимальные параметры для культивирования семян льна (*Linum usitatissimum* L.) и чиа (*Salvia hispanica* L.) для получения ростков и микрозелени в условиях фитотроники; выполнить сравнительный анализ пищевой ценности семян, ростков и микрозелени растений *Linum usitatissimum* L. и *Salvia hispanica* L.; выбрать эффективные условия для проведения анализа ВЖЭХ исследуемых образцов; проанализировать полученные результаты с использованием статистической обработки данных.

Начальные этапы исследовательской работы заключались в оптимизации режимов культивирования ростков, микрозелени растений льна и шалфея испанского в условиях фитотроники. На данном этапе интенсивность света в фитотронах была установлена на 200 и 300 мкмоль м⁻²с⁻¹. Температура составляла плюс 25°C, относительная влажность 70%, фотопериод был установлен на 24 часа. После оптимизации условий культивирования и сбора образцов (рис. 1) проводились исследования по пищевой ценности семян, ростков и микрозелени. В частности, определялось количество жира, белка, углеводов, влаги, золы, а также жирнокислотный состав масел. Так, количество жира определялось методом Фолча с использованием органических растворителей хлороформ/метанол; содержание белка – методом

Кьельдаля; процент влаги – путем лиофилизации образцов; зола определялась после термической обработки образцов в муфельной печи; углеводы были найдены путем вычитания известных величин. Анализ жирных кислот был произведен на хроматографе GC-2010 PlusShimadzu, оборудованный детектором ионизационного излучения. Анализ растительных фенольных кислот и полифенолов был осуществлен на высокоэффективном жидкостном хроматографе, оснащенный двойным микро-плунжерным насосом, емкостью плунжера 10 мкл (ShimadzuLC-20 AD), автоматическим дозатором с высокой пропускной способностью (Shimadzu SIL-20A), дегазационной установкой (Shimadzu DGU-20A5), матричным фотодиодный детектором (Shimadzu SPD-M30A), оснащенный УФ лампой (DeuteriumD2) в диапазоне от 90 нм до 800 (рис. 1).

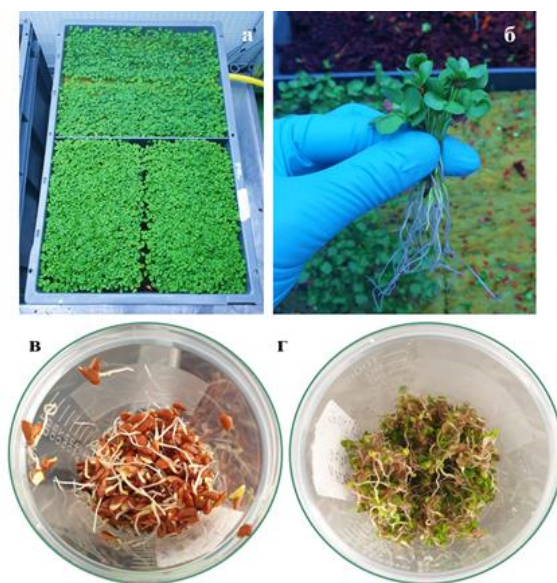


Рис. 1. Процесс выращивания и сбора исследуемых образцов (а – микрозелень шалфея испанского, б – микрозелень льна, в – ростки льна, г – ростки шалфея испанского)

Полученные данные по пищевой ценности семян указаны в таб. 1. Согласно данным (таб. 1) семена чиа на 3,89% содержат больше белка, чем семена льна. Однако, семена льна имеют больший выход масла (на 2,43%) и большее количество углеводов (на 2,56%) по сравнению с семенами чиа. По остальным показателям отмечается незначительная разница.

Таблица 1
Пищевая ценность семян льна и шалфея испанского (чиа)

Показатель, %	Лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Чиа (<i>Salvia Hispanica</i> L.)
Влага	6,15±0,03*	4,18±0,12*
Белок	19,11±0,85**	23,00±0,49**
Жир	32,03±2,40*	29,6±0,03*
Углеводы	44,8	42,24
Зола	4,06±0,43**	5,16±0,08**

*n =3 (количество повторений)

**n=6 (количество повторений)

При увеличении светового излучения наблюдается большее накопление сухого вещества и белка, что объясняется механизмами, протекающими под действием

светового фактора, вызывающего биохимические реакции, направленные на биотрансформацию веществ для роста будущего растения. Было выявлено, что содержание белка в ростках льна на 7,91% выше, чем в сухих семенах. Микрозелень льна содержала на 7,37% больше углеводов и на 10,91% большее количество минералов, чем в сухих семенах льна (рис. 2).

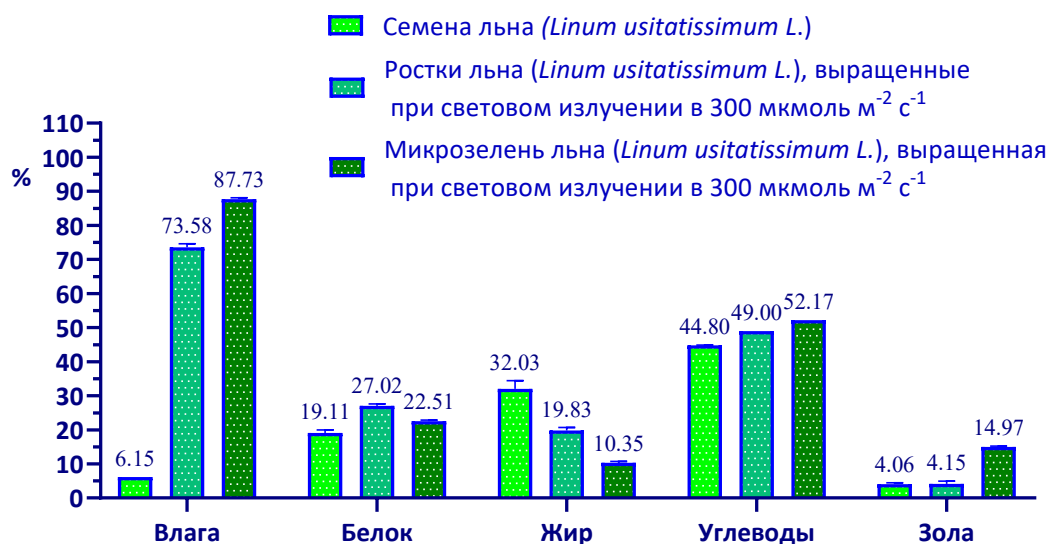


Рис. 2. Диаграмма сравнения пищевой ценности семян, ростков и микрозелени льна (*Linum usitatissimum* L.) при 300 мкмоль м⁻² с⁻¹

По результатам полученных данных ростки семян чиа содержали на 5,51% больше белка, а их микрозелень продемонстрировала большее количество углеводов на 16,65% и на 8,01% больше минералов, чем в сухих семенах шалфея испанского (рис. 3).

Говоря о пищевой ценности, представленные данные подтверждают, что ростки шалфея испанского (*Salvia Hispanica* L.) и льна (*Linum usitatissimum* L.) являются отличными источниками белка, а их микрозелень в свою очередь богата углеводами, и минералами по сравнению с сухими семенами. Учеными также было подтверждено, что ростки чиа лучше накапливают сухое вещество в присутствии света.

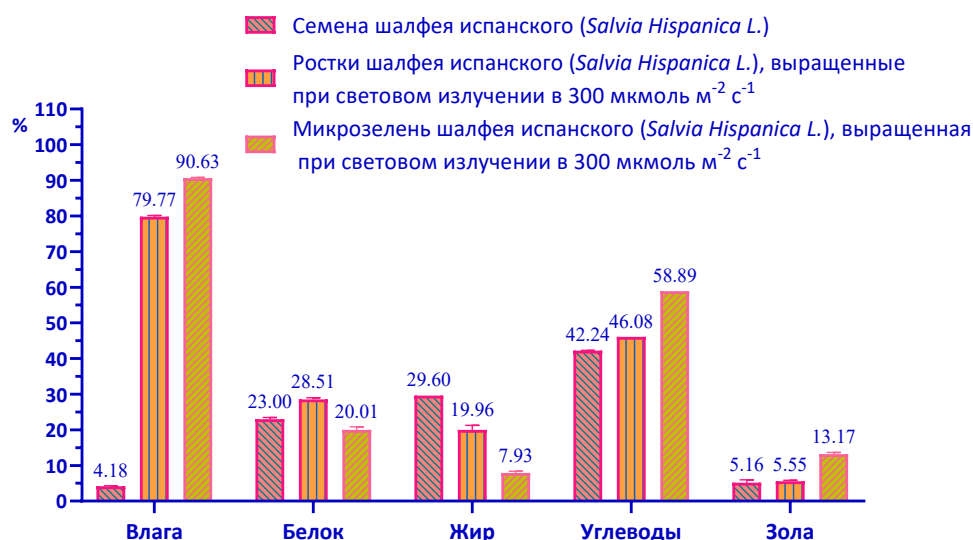


Рис. 3. Диаграмма сравнения пищевой ценности семян, ростков и микрозелени шалфея испанского (*Salvia Hispanica* L.) при 300 мкмоль м⁻² с⁻¹

Газохроматографический анализ состава жирных кислот показал наличие пальмитиновой, стеариновой, олеиновой, линолевой, и α -линоленовой жирных кислот во всех тестируемых образцах. Было выявлено только одно существенное различие среди жирных кислот, а именно для олеиновой кислоты, которая была на 12,1% выше в маслах льна, чем в маслах чиа (таб. 2).

Таблица 2

Жирнокислотный состав масел семян чиа и льна

Идентифицированная кислота	Лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Шалфей испанский (<i>Salvia hispanica</i> L.)
	Содержание, %	
Пальмитиновая кислота C16:0	6,07	7,07
Стеариновая кислота C18:0	3,89	3,31
Олеиновая кислота 18:1 n=9	18,75	6,65
Линолевая кислота 18:2 n=6	14,63	18,64
α -линоленовая кислота 18:3 n=3	52,11	61,43
Другие	4,55	2,9
Всего	100	100

Большое внимание исследователей уделено антиоксидантной и антирадикальной активности фенольных соединений видов растений рода *Salvia* и *Linum*, использующиеся в качестве источника многих полезных природных компонентов, таких как полифенолы, включая хлорогеновые и кофейные кислоты, а также флавоноиды, в частности рутин, кверцетин и кемпферол.

Полученные хроматограммы представляет собой качественный ВЭЖХ анализ метанольных экстрактов микрозелени льна и чиа (рис. 3). С точки зрения качества, анализ выполнен на должном уровне, нулевая (базовая) практически прямая, отсутствует размывание пиков. Представленные хроматограммы характеризуются хорошей эффективностью и высокой селективностью. Искажения формы полученных пиков наблюдаются в незначительных количествах у веществ с низкой концентрацией.

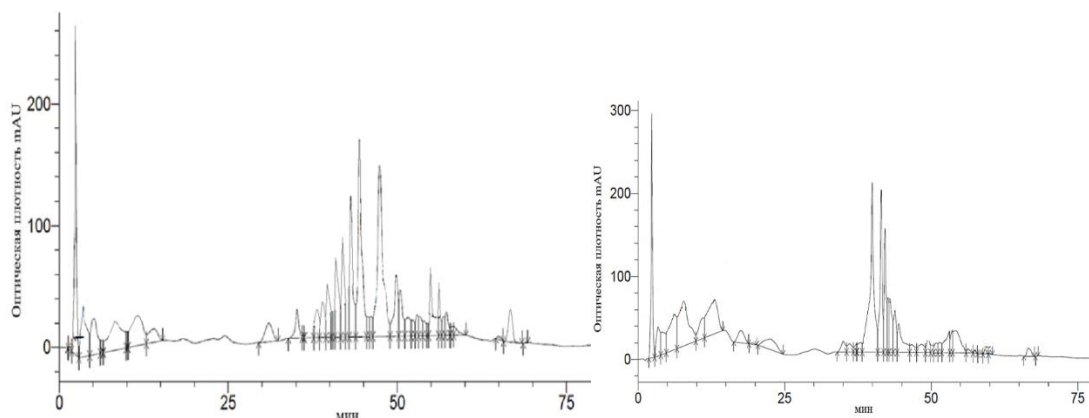


Рис. 3. Хроматограммы метанольных экстрактов микрозелени льна и чиа

Таким образом, ультразвуковой метод экстракции фенольных соединений при 42

кГц с использованием метанола и оптимизированные условия ВЖЭХ системы, в частности эффективных условий градиентного элюирования (таб. 3) позволили получить подходящие параметры для последующей идентификации фенолов по системе ВЖЭХ-МС.

Таблица 3

Программа градиентного элюирования

Время, мин	Модуль	Действие	
	Плунжерный насос (ПН)	Концентрация фазы В, %	Концентрация фазы А, %
0,01	ПН	10	90
5,00	ПН	10	90
25,00	ПН	20	80
35,00	ПН	50	50
40,00	ПН	50	50
50,00	ПН	80	20
65,00	ПН	80	20
73,00	ПН	90	10
83,00	ПН	90	10
84,00	ПН	10	90
94,00	Регулятор	Стоп	

Заключение

1. Были адаптированы оптимальные условия культивирования ростков, микрозелени льна (*Linum usitatissimum* L.) и шалфея испанского (*Salvia hispanica* L.) в условиях фитотроники, в частности: температура – 25°C; интенсивность света – 300 мкмоль м⁻²с⁻¹; относительная влажность – 70%; фотопериод – 24 часа; субстрат – кокосовый койр.

2. Ростки льна и шалфея испанского содержат большее количество белка (7,91% и 5,51%, соответственно), а их микрозелень богата углеводами (на 7,37% у льна и на 16,65% у чиа), и минералами (на 10,91% у льна и на 8,01% у чиа) по сравнению с сухими семенами.

3. Образцы ростков, микрозелени льна и шалфея испанского, выращенных при интенсивности светового излучения в 300 мкмоль м⁻²с⁻¹ содержали большее количество питательных веществ, чем образцы, выращенные при интенсивности светового излучения в 200 мкмоль м⁻²с⁻¹.

4. Были оптимизированы параметры для идентификации фенолов в метанольных экстрактах анализируемых образцов для ВЭЖХ системы.

Таким образом, новые источники растений, таких как лен и шалфей испанский позволят расширить ассортимент рынка растительных культур в категории ростков и микрозелени. Данные виды также могут рассматриваться, как новые, перспективные источники функционального питания благодаря их высокой пищевой ценности.

Литература

1. Finley J.W. Proposed Criteria for Assessing the Efficacy of Cancer Reduction by Plant Foods Enriched in Carotenoids, Glucosinolates, Polyphenols and Selenocompounds // Annals of Botany. 2005. № 7. P. 1075–1096.
2. Barrett D.M., Beaulieu J.C. and Shewfelt R. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing // Critical Reviews in Food Science and

- Nutrition. 2010. № 5. P. 369–389.
3. Kopsell D. Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops // Trends in Plant Science. 2006. № 10. P. 499–507.
 4. Zettel V. and Hitzmann B. Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products // Trends in Food Science & Technology. 2018. V. 34. P. 43–50.

Невежин Егор Евгеньевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

Институт дизайна и урбанистики,

студент группы С42041,

направление подготовки: 01.04.02 – Цифровые технологии умного города,

e-mail: egor_nevezhin@mail.ru

Волоцкий Тимофей Андреевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

Институт дизайна и урбанистики,

e-mail: volotskiy@itmo.ru

УДК 004.93

**СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ
НА ВИДЕОПОТОКЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И КАЛИБРОВКИ
ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МОДЕЛЯХ**

Е.Е. Невежин

Научный руководитель – Т.А. Волоцкий

Аннотация

Ручной подсчет транспортных средств достаточно трудозатратный процесс. Зачастую, временные затраты на создание и калибровку транспортного спроса большой модели может уходить до нескольких месяцев. В данной работе предложены модели, при помощи которых возможно автоматизировать данный процесс и ускорить обработку данных. Также, в работе приведены точности полученных моделей.

Ключевые слова

Искусственные нейронные сети, детекция движения, отслеживание объектов в реальном времени, сверточные нейронные сети, подсчет транспортных средств.

В последнее несколько десятков лет темпы развития городов увеличились в несколько раз. Существующие транспортные системы не всегда удовлетворяют растущим потребностям города. Одной из последних тенденций является использование мультиагентных систем для моделирования процессов города. Большинство из современных мультиагентных систем используют имитационное моделирование. Суть его заключается в том, что мы используем модель, которая с определенной точностью описывает реальные процессы. Несколько раз запустив моделирование, мы можем получить устойчивую статистическую выборку, что позволяет делать выводы о реальных процессах, протекающих в городе.

Для успешного проведения моделирования необходимо сделать две базовые вещи – это задать транспортную сетку, по которой будут передвигаться агенты, и создать транспортный спрос, то есть задать точки старта и точки финиша для агентов, а также вид ТС и их время старта. Первая проблема успешно решается при помощи открытых источников данных, например openstreetmap.org. Генерация спроса может основываться на каких-либо данных, например на транзакциях транспортных карт в общественном транспорте или оплатах проезда по автомагистрали. Также для построения модели транспортного спроса можно провести замеры интенсивности транспортного потока в сечениях улично-дорожной сети. Последний подход является более точным, т.к. мы работаем с реальными данными, а не накладываем

эвристические условия, чтобы интерпретировать исходные данные. Логичным выводом из этого будет автоматизация процесса подсчета интенсивности движения.

После построения модели города возникает вопрос: с помощью чего оценить качество того, что смоделировала система. Так возникает понятие калибровки транспортного спроса. Калибровка подразумевает под собой проверку интенсивности движения из модели с фактическими значениями на УДС и перераспределение транспортных потоков в соответствии с фактическими значениями при помощи изменения гиперпараметров модели или входных данных. Перебор гиперпараметров модели не сложное дело, этим занимаются расчетные сервера. А уточнение входных данных возможно, например, при помощи подсчетов ТС с камер наружного наблюдения [4].

Таким образом, целью данной работы является создание моделей распознавания объектов на видеопотоке для создания и калибровки транспортного спроса в мультиагентных моделях.

Для апробации изложенного выше подхода было решено выбрать две архитектуры искусственных нейронных сетей и сравнить их производительность в задачах распознавания объектов с камер наружного наблюдения и беспилотных летательных аппаратов.

Для оценки производительности сети есть два важнейших параметра: скорость обработки одного кадра и качество распознавания объектов. Для оценки были выбраны две архитектуры искусственной нейронной сети: YOLO [1] и fasterRCNN [2].

Тестирование производилось на одном и том же компьютере, что исключало возможность прироста производительности из-за разных технических характеристик. Исходя из этого были получены следующие результаты: точность сетей находилась примерно на одном уровне, то есть ошибки одной сети довольно часто исправлялись другой сетью и наоборот. Но скорость работы YOLO превышала скорость работы fasterRCNN в 5-6 раз. Замечу, что обе сети были обучены на одном и том же наборе данных COCO.

Исходя из того, что поставленная задача должна решаться за как можно меньшее время, была выбрана архитектура YOLO. На рис. 1 вы можете видеть пример распознавания транспортных средств.

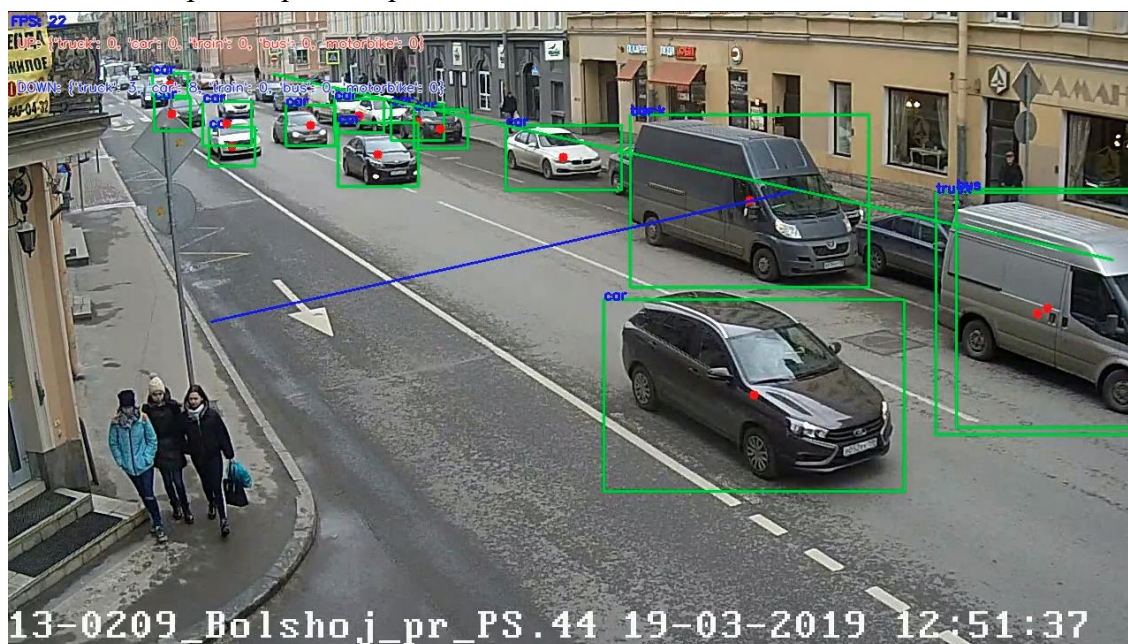


Рис. 1. Пример детекции объектов с камер наружного наблюдения при помощи искусственной нейронной сети YOLO

Для того, чтобы быть посчитанным каждое транспортное средство пересекало линию подсчета, определенную для данного направления. На рис. 1 синим выделена как раз та линия, которую необходимо пересечь центру транспортного средства, чтобы быть посчитанным; зеленым обозначена линия разделения потоков (т.к. на данном примере лишь одно направление движения, дополнительная линия пересечения не отмечена на изображении). Факт проезда линии подсчета определялся по знаку следующего выражения:

$$D = (x_3 - x_1) * (y_2 - y_1) - (y_3 - y_1) * (x_2 - x_1),$$

где x_1, y_1 – координаты первой точки линии, x_2, y_2 – координаты второй точки линии, x_3, y_3 – координаты ТС.

Если знак выражения после вычисления для 4 точек сначала был положительным, а затем стал отрицательным, то это значит, что объект движется снизу вверх, если наоборот, то сверху вниз. Координаты центральной линии задаются для того, чтобы разделить эти потоки.

Для создания модели распознавания транспортных средств с беспилотных летательных аппаратов не были найдены готовые наборы данных, удовлетворяющие всем необходимым требованиям, в связи с этим было решено отснять и разметить свой набор данных, который бы использовался для обучения. В итоге было проведено около 30 съемок, в течение которых было снято 5683 кадра. Всего на данных изображениях было размечено более 20000 транспортных средств (рис. 2).

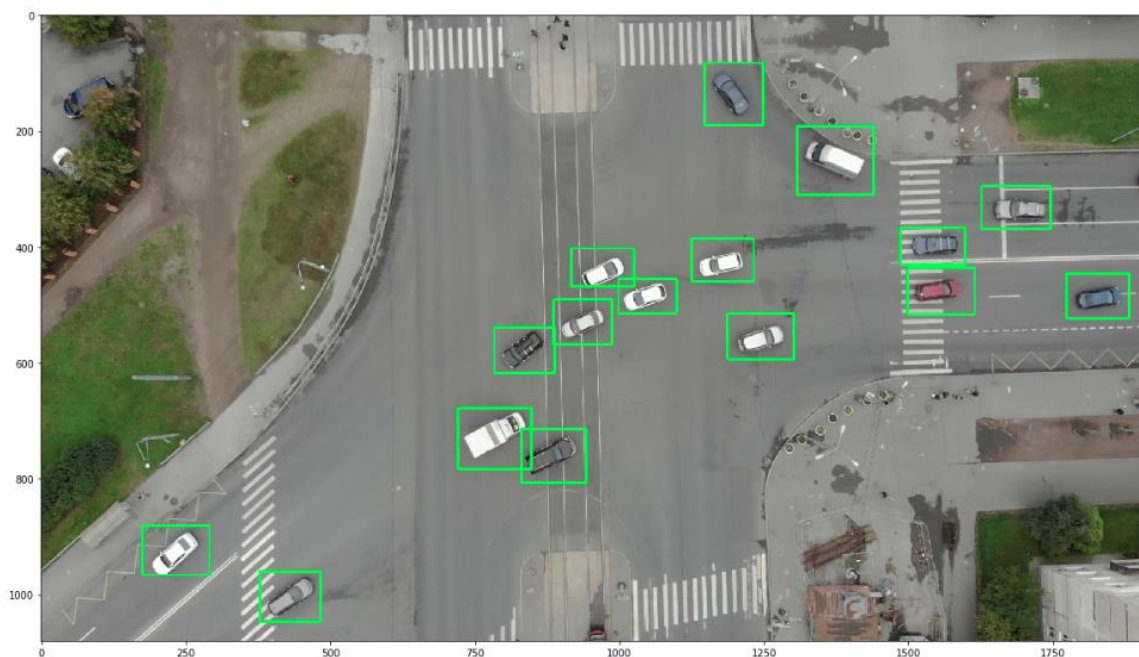


Рис. 2. Пример разметки собранных данных

Специфика данной детекции состояла в том, что использование исходного размера 416 на 416 пикселей приводило к тому, что точность распознавания по метрике mAP была достаточно низкой. Данный эффект наблюдался из-за того, что специфика YOLO состоит в том, что исходное изображение «сворачивается», что приводит к тому, что интересующие нас объекты становятся очень маленькими и их невозможно распознать. Решением данной задачи было использование более крупного изображения на входе, что позволяло более точно распознавать интересующие нас объекты транспортных средств. Оценка точности была произведена по метрике mAP:

$$mAP = \frac{1}{|classes|} \sum_{c \in classes} \frac{TP(c)}{TP(c) + FP(c)},$$

где $classes$ – количество классов объектов, TP – истинно-положительное решение, FP – ложноположительное решение.

Данная метрика позволяет учесть такие факторы, как полнота определяемого класса, при этом, не забывая про то, насколько верно выделяются границы объектов. В итоге, оптимальным размером входного изображения было выбрано 608 пикселей, что позволяло балансировать между скоростью работы и качеством распознавания.

В итоге, точность детекции по метрике mAP составила 89.4. Тестирование проводилось на NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti, в среднем обрабатывалось 20-22 кадра в секунду (рис. 3).



Рис. 3. Пример распознавания объектов с беспилотного летательного аппарата

После использования ИНС мы получаем несколько последовательных кадров с данными о транспортных средствах, находящихся на них. В качестве алгоритма отслеживания объектов был выбран SORT [3]. В реализации SORT используется комбинация фильтра Калмана и венгерский алгоритм.

Венгерский алгоритм, как классическое решение задачи о назначениях, в данном случае находит соответствие между объектами кадров, а входные данные к нему преобразовываются фильтром Калмана.

Задача о назначениях в данном случае здесь поставлена следующим образом: необходимо минимизировать общую дистанцию, пройденную ТС в пикселях. С целью сохранения информации о классе ТС, алгоритм был немного переработан и принимает на вход еще и класс, помимо координат объектов.

Таким образом, в этой работе был предложен подход к подсчету транспортных средств для создания и калибровки транспортного спроса мультиагентных моделей. Рост количества транспортных средств заставляет оптимизировать существующие транспортные развязки и создавать новые для удовлетворения потребности горожан.

Предложенный метод использует два вида распознавания объектов: на видеопотоке с камер наружного наблюдения и с беспилотных летательных аппаратов.

Данная работа оформлена в виде готового пакета, который может достичь пиковой производительности при использовании графических ускорителей.

В данной работе также приведены точности моделей, для беспилотных летательных аппаратов она составила около 90%, для камер наружного наблюдения около 75% распознавания и указаны возможные ошибки, которые могут влиять на точность получаемого результата. Замечу, что каскад используемых моделей работает со средней точностью около 82%, в зависимости от условий среды и видимости.

Литература

1. Redmon J. YOLOv3: An Incremental Improvement // Joseph Redmon Site. 2018. URL: <https://pjreddie.com/media/files/papers/YOLOv3.pdf> (дата обращения: 1. December. 2018).
2. Shaoqing R., Kaiming H., Ross G., Jian S. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // arXiv preprint. 2015.
3. SIMPLE ONLINE AND REALTIME TRACKING [Электронный ресурс] // arxiv.org: [сайт]. [2017]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1602.00763.pdf> (дата обращения: 24. January. 2019).
4. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. Москва: Логос. 2013. 188 с.

Пихота Нина Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

студент группы №В42081,

направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,

e-mail: pihota1997@yandex.ru

Коняхин Игорь Алексеевич

Год рождения: 1953

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

д.т.н., профессор,

e-mail: iakoniakhin@itmo.ru

УДК 681.7.08

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ
АВТОКОЛЛИМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С АНАМОРФОТНЫМ
ОТРАЖАТЕЛЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА СКРУЧИВАНИЯ
ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Н.С. Пихота

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Коняхин

Аннотация

В ходе работы разработана и исследована оптико-электронная автоколлимационная система с анаморфотным отражателем, позволяющая проводить измерение угла скручивания протяжённых объектов в условиях ограничения поперечного габарита, а также при изменении рабочей дистанции. Был спроектирован блок отражателя, который состоит из комбинации анаморфотной системы и призменного отражателя, поворачивающего пучок на 90° вокруг его оси при отражении. Установлено, что применение разработанного блока отражателя позволяет повысить чувствительность системы к изменению угла скручивания в 4 раза. Определены требования к изготовлению и сборке анаморфотной системы, выполнение которых позволяет проводить измерения угла скручивания с погрешностью не более $2''$.

Ключевые слова

Анаморфотная система, угол скручивания, автоколлиматор, оптико-электронная система, угловое положение.

Быстрый рост науки и техники в современном мире регулярно требует повышения точности различных видов измерений, без которых невозможно проводить эксперименты. Одной из таких проблем является высокоточное измерение углового положения объекта. Важная метрологическая проблема состоит в измерении угла скручивания протяжённых объектов в условиях ограничения поперечного габарита оптического тракта. Деформация кручения наблюдается, если стержень нагружен внешними моментами, плоскости действия которых перпендикулярны к его продольной оси [1]. Деформация кручения сопровождается поворотом поперечных сечений стержня относительно друг друга вокруг его оси. Дистанционное измерение угла скручивания требуется при сборке, юстировке и центрировке оптических систем, фокусировке телескопических систем, для точного определения положения

направляющих прямолинейного движения, взаимного расположения баз и на производстве. Для своевременного определения деформации кручения протяжённых объектов необходимо обеспечить измерение угла скручивания. Актуальность работы заключается в необходимости проведения исследований, направленных на повышение точности измерения угла скручивания протяжённых объектов в условиях ограничения поперечного габарита оптического тракта, с целью совершенствования процесса контроля и уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций.

Для проведения угловых измерений активно применяются оптико-электронные автоколлимационные системы. Проанализировав существующие автоколлимационные системы измерения угла скручивания, было выявлено, что оптимальным для проведения измерений в условиях ограничения поперечного габарита оптического тракта является использование оптико-электронной автоколлимационной системы с анаморфотным контрольным элементом. Преимуществами использования такой системы являются малые поперечные габариты оптических компонентов, возможность работы при переменной дистанции, а также возможность независимого измерения угла скручивания с перспективой измерения всех угловых деформаций при необходимости. Целью работы является повышение точности оптико-электронной автоколлимационной системы с анаморфотным отражателем для измерения угла скручивания протяжённых объектов.

Модель оптико-электронной автоколлимационной системы на основе анаморфотного контрольного элемента представлена на рис. 1. В фокальной плоскости объектива 4 располагается марка 2, освещенная источником излучения 1. Пучок, выходя из объектива 4, несет информацию о форме марки 2. Затем пучок лучей пройдет через анаморфотный компонент 5, где претерпит анаморфотные искажения и, отразившись от отражателя 6, вернётся в автоколлиматор. Далее пучок, преломившись на светоделительной пластине 3, попадет на приемник оптического излучения 7. Микропроцессор 8 обработает видеокдры, полученные от приемника оптического излучения 7, и по параметрам изображения марки определяет угол скручивания.

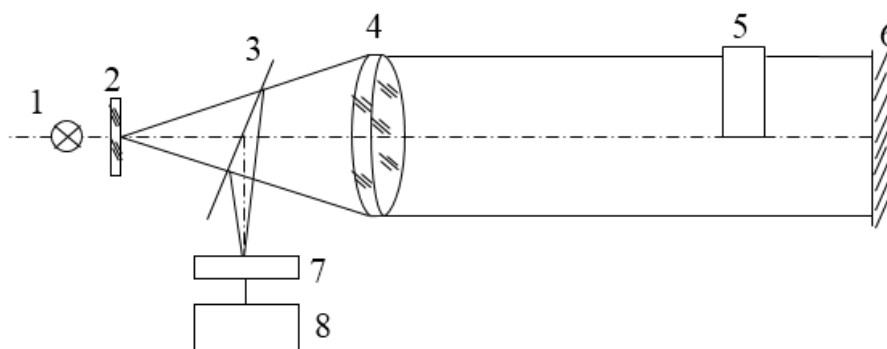


Рис. 1. Схема оптико-электронной автоколлимационной системы с анаморфотным контрольным элементом

Рассмотрим процесс формирования изображения марки после прохождения через анаморфотный компонент и алгоритм определения угла скручивания по трансформированному изображению. Оптическое анаморфирование представляет собой преднамеренное изменение изображения оптическим способом вследствие разного масштаба преобразования в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Таким образом, изменяется либо высота, либо ширина падающего пучка на определенную величину, которая называется коэффициентом анаморфирования MAG . Процесс формирования изображения марки после прохождения через анаморфотный

компонент представлен на рис. 2. Имеется квадратная марка 1 с диагональю 2а и угловыми коэффициентами $k = tg(\alpha)$. Анаморфотная система преобразует пучок с коэффициентом анаморфирования МАG, растягивая изображение марки вдоль оси Y, и в итоге формируется изображение в виде ромба 2, диагональ которого равняется $2a \cdot MAG$.

При повороте анаморфотного компонента вокруг оптической оси на угол скручивания Θ_3 изображение марки 1 претерпит соответствующие искажения. С помощью анализирующей системы выделяется контур трансформированного изображения марки 3, определяются углы наклона сторон. Угловые коэффициенты k_1 и k_2 изображения метки 3 будут определяться уравнениями:

$$k_1 = tg(\alpha_1) = \frac{s + k \cdot \left[\frac{MAG+1}{MAG-1} + \cos(2 \cdot \Theta_3) \right]}{cs + k \cdot s},$$

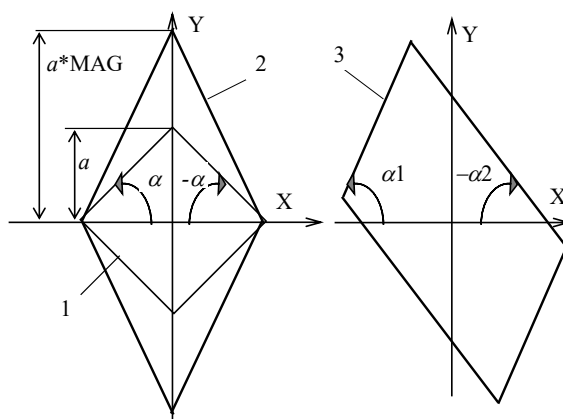


Рис. 2. Анаморфотное трансформирование изображения

$$k_2 = tg(-\alpha_2) = \frac{s - k \cdot \left[\frac{MAG+1}{MAG-1} + \cos(2 \cdot \Theta_3) \right]}{cs - k \cdot s},$$

где параметры s и cs являются вспомогательными функциями:

$$s = \sin(2 \cdot \Theta_3),$$

$$cs = \frac{MAG+1}{MAG-1} - \cos(2 \cdot \Theta_3).$$

Разница Δk между коэффициентами k_1 и k_2 является статической характеристикой [2] и может быть использована в качестве параметра формы изображения:

$$\Delta k = k_1 - k_2 = tg(\alpha_1) - tg(-\alpha_2) = 2 \cdot k \cdot MAG \cdot \frac{s - k \cdot \left[\frac{MAG+1}{MAG-1} + \cos(2 \cdot \Theta_3) \right]}{(cs)^2 - k^2 \cdot s^2}. \quad (1)$$

После определения угловых коэффициентов k_1 и k_2 трансформированного изображения марки 3, микропроцессор, используя уравнение (1) статической характеристики, вычисляет угол скручивания Θ_3 .

В качестве анаморфотного компонента предлагается использовать анаморфотную систему оптических клиньев с коэффициентом анаморфирования 3,059, представленную на рис. 3. Значение коэффициента анаморфирования было выбрано на основе двух важных заключений:

- для значений коэффициента анаморфирования MAG в диапазоне от 1 до 3 крутизна статической характеристики может быть аппроксимирована линейной зависимостью с погрешностью не более 10%, что важно для снижения требований к минимальной мощности процессора [3];

- средняя чувствительность системы к измеряемому углу скручивания прямо пропорциональна коэффициенту анаморфирования MAG [2].

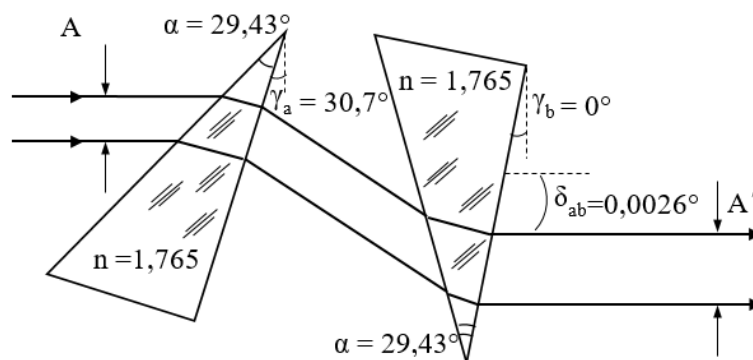


Рис. 3. Выбранная анаморфотная система на основе двух идентичных оптических клиньев с воздушным зазором [4]

Уравнение (1) статической характеристики позволяет провести анализ выбранной анаморфотной системы оптических клиньев и определить чувствительность системы к изменению угла скручивания Θ_3 . С помощью среды Mathcad проводилось моделирование и расчет системы. Как можно видеть на рис. 4а статическая характеристика описывается четной гармонической функцией, вследствие чего оптико-электронной автоколлимационная система с выбранной анаморфотной системой позволяет проводить измерения угла скручивания только в диапазоне $\pm 30^\circ$. Измерение большей угловой деформации выбранным методом приведет к ошибке определения значения угла скручивания.

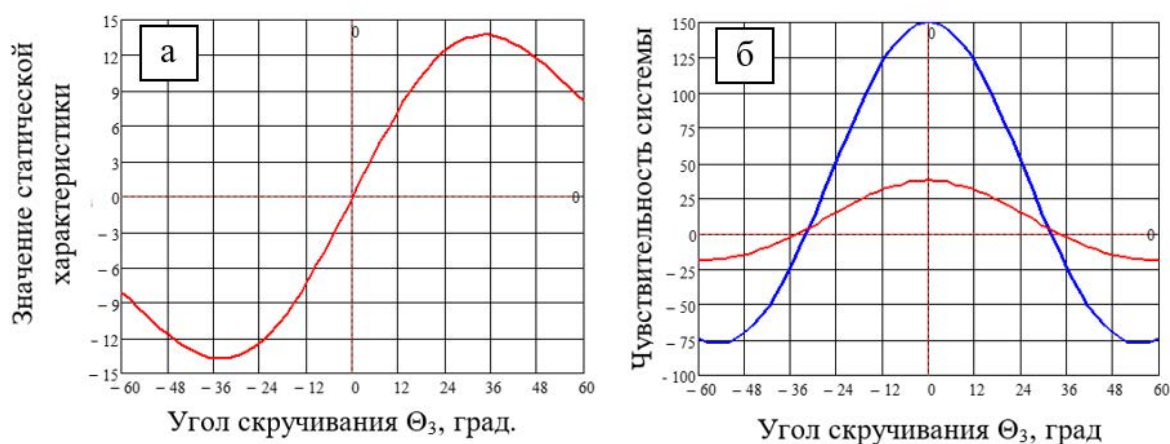


Рис. 4. а) зависимость значения статической характеристики от изменения угла скручивания; б) зависимость чувствительности системы от изменения угла скручивания

Чувствительность системы находится как абсолютная величина производной по углу Θ_3 от функции статической характеристики. Красной линией на рис. 4б представлена чувствительность выбранной системы. С увеличением крутизны статической характеристики увеличивается чувствительность системы к изменению

угла скручивания. Синей линией на рис. 4б изображена чувствительность выбранной системы, если изображение будет претерпевать анаморфирование пучка в двух ортогональных плоскостях, при чем пучок должен в одном из направлений растягиваться, а в другом – сжиматься. Как видно, чувствительность системы с анаморфированием пучка в двух ортогональных плоскостях в четыре раза больше.

Добиться двойного анаморфирования можно при использовании комбинации призмленного отражателя, представленного на рис. 5 и обладающего свойством поворачивать пучок лучей на 90° вокруг его собственной оси при отражении, и анаморфотной системы, которую следует располагать на полной апертуре отражателя. Выбранный пирамидальный призмленный отражатель имеет два двугранных угла у основания с линейным углом 45° и вершинный двугранный угол с линейным углом 90° . Преимуществами использования такого отражателя являются высокая чувствительность системы к изменению угла скручивания, а также отсутствие наложения второго анаморфированного изображения, сформированного пучком, следующим через контрольный элемент в направлении, обратном рассмотренному.

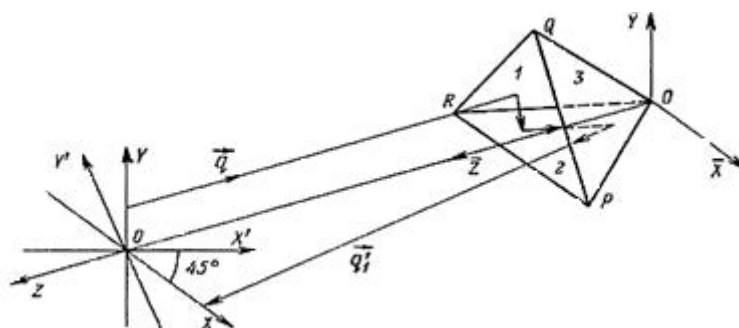


Рис. 5. Принцип действия пирамидального призмленного отражателя, поворачивающего плоскость пучка на 90°

Разрабатываемая система относится к классу высокоточных измерительных приборов, погрешность измерения угла скручивания не должна превышать $2''$. Для обеспечения требуемой погрешности важным элементом исследования разрабатываемой системы являлось выявление возможных источников погрешностей. Возможные факторы можно разделить на две группы: погрешность, вызванная неточностью изготовления деталей, и ошибки, вносимые при сборке прибора.

Моделирование системы и отклонения параметров проводились в среде Mathcad. Было выявлено, что необходимо обеспечить следующие требования к точности изготовления системы призм:

- погрешность изготовления вершинного угла первой призмы α_1 не более 30 угл.сек.;
- погрешность изготовления вершинного угла второй призмы α_2 не более 60 угл. сек;
- 3 категория стекла по показателю преломления.

Влияние отклонений данных параметром можно существенно уменьшить при юстировке прибора. После изготовления анаморфотных призм необходимо измерить значения показателей преломления n и вершинных углов α каждой призмы, и ввести фактические значения в программу обработки изображения и определения угла скручивания Θ_3 . Однако, для обеспечения параллельности выходного пучка оптической оси необходимо соблюсти указанные требования к изготовлению анаморфотных призм.

Погрешности, вносимые при установке анаморфотной системы, исправить в процессе юстировки прибора не получится. Необходимо обеспечить следующие

требования к точности установки анаморфотной системы клиньев:

- погрешность установки по коллимационному углу не должна превышать 5 угл.сек.;

- точность взаимной установки призм с погрешностью не более 1 угл.мин.

Выводы. В ходе работы была разработана оптико-электронная автоколлимационная система с анаморфотным отражателем и в ходе проведения габаритно-энергетического расчёта было определено, что данная система позволяет проводить измерение угла скручивания в условиях ограничения поперечного габарита оптического тракта в 60 мм. Были выбраны следующие основные оптические и оптико-электронные составляющие:

- источник излучения ИК-диод L-34SF7C фирмы Kingbright с мощностью излучения 28 мВт, спектральным диапазоном излучения от 800 до 900 нм и углом излучения 50°;

- квадратная марка со стороной 5 мм;

- светоделительный куб с ребром 15 мм;

- анаморфотная система оптических клиньев с вершинными углами 29,43°, показателями преломления стекол 1,765 при длине волны излучения 850 нм, углом наклона первого оптического клина 30,7°, углом наклона второго оптического клина 0° и коэффициентом анаморфирования 3,059;

- пара пирамидальных призмённых отражателей, прилегающих друг к другу основаниями, каждый из которых имеет два двугранных угла у основания с линейными углами 45° и вершинный двугранный угол с линейным углом 90°;

- монохромная ПЗС-матрица ICX205AL фирмы Sony с габаритными размерами 18,0 x 15,1 мм, числом активных пикселей 1360 x 1024 пкс и размером пикселя 4,65 x 4,65 мкм;

- объектив, формирующий выходной пучок параллельный оптической оси, с фокусным расстоянием 115 мм и световым диаметром 25 мм.

Разработаны структурная принципиальная схема прибора, оптическая принципиальная схема прибора, а также электрическая принципиальная схема видеоусилителя.

Был спроектирован блок отражателя, который состоит из комбинации анаморфотной системы и призмённого отражателя, поворачивающего пучок на 90° вокруг его оси при отражении. Установлено, что применение разработанного блока отражателя позволяет повысить чувствительность системы к изменению угла скручивания в 4 раза.

Доказано, что при выполнении анаморфотной системы в виде двух оптических клиньев с выбранными параметрами, погрешность измерения угла скручивания не превышает 2" при соблюдении требований к изготовлению и сборке анаморфотной системы на производственном уровне.

Научная новизна работы заключается в разработанном анаморфотном отражателе, который позволяет проводить высокоточные измерения угла скручивания в условиях ограничения поперечного габарита оптического тракта с погрешностью не более 2", благодаря использованию комбинации анаморфотной системы оптических клиньев с анаморфотным трехкратным увеличением и пирамидального отражателя, особенностью которого является поворот падающего пучка при отражении на 90° относительно оптической оси.

Практическая значимость работы:

- предложена практическая схема оптико-электронной автоколлимационной системы с анаморфотным контрольным отражателем, позволяющая проводить высокоточные измерения угла скручивания протяженных объектов в условиях ограничения поперечных габаритов оптического тракта;

— созданы компьютерные модели аноморфотного контрольного отражателя, позволяющие проанализировать возможные погрешности измерения и определить требования к изготовлению и установке системы для достижения высокой точности определения угла скручивания;

— определены структура и параметры аноморфотного отражателя для автоколлимационного измерения угла скручивания, оптимальные по габаритно-массовому критерию.

Также в ходе работы проведена оценка экономической эффективности проекта, было определено, что реализация проекта является прибыльной. Рыночная стоимость разработанной системы составила 470000,00 руб., что является среднестатистическим значением.

Были выявлены потенциально опасные и вредные факторы при работе с системой и разработаны мероприятия, обеспечивающие безопасность работника. При соблюдении всех описанных правил, работа с разработанной системой является безопасной.

Литература

1. Naoki Hikida, Yuta Yamamoto, Kenichi Oshita, SnigeruNagaki. Experimental investigation of transformation plastic behavior under tensile-compressive-torsional stress in steel. Key Engineering Materials. 2014. no.8. pp. 426-431.
2. Konyakhin I., Artemenko. Y., Timofeev A. Control of the deformation for the millimeter wave range radiotelescope mirrors. Proc. SPIE. 2009. no.10.
3. Мерсон А.Д. Исследование и разработка оптико-электронных углоизмерительных систем с аноморфотными контрольными элементами: дис. ... канд. тех. наук. Санкт-Петербургский нац.-иссл. университет ИТМО, Санкт-Петербург. 2010.
4. VanderwerfD. Appliedprismaticandreflective optics/D.Vanderwerf// SPIE Press monograph, Bellingham&Washington. 2010. 297p.

Суслова Александра Дмитриевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42751,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

«Инновационные транспортные технологии»

e-mail: suslovas@inbox.ru

Будрина Елена Викторовна

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

д.э.н., профессор,

e-mail: boudrina@mail.ru

УДК 65.011.56

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОСНОВНЫХ УЧАСТНИКОВ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

А.Д. Суслова

Научный руководитель – д.э.н., профессор Е.В. Будрина

Работа выполнена в рамках темы НИР «Анализ существующих бизнес-процессов основных участников рынка транспортных услуг для целей цифровизации на примере морского транспорта».

Аннотация

В работе рассматривается состояние и перспективы развития цифровизации в сфере морских перевозок. Целью исследования выступает выделение операций, документов и информационных потоков, требующих оцифровки и дальнейшая разработка проекта системы, позволяющей осуществить цифровую трансформацию бизнес-процессов транспортно-экспедиционной компании.

Ключевые слова

Морские перевозки, цифровизация, бизнес-процесс, автоматизация процессов, рынок транспортных услуг.

Морские перевозки представляют собой сложный процесс взаимодействия большого количества участников, операций и документов. В условиях увеличения скорости развития и перехода к Индустрии 4.0 происходит активное внедрение инновационных технологий в сфере морских перевозок, для которых необходимо оперирование цифровыми потоками данных. Изучение существующего уровня оцифровки процессов, их исторического развития на рынке транспортных услуг, технологических тенденций и инноваций позволило определить направления инновационного развития отрасли и области воздействия, к которым относятся:

1. Бронирование перевозок, оформление документации, таможенные операции.
2. Контроль цепи поставок и обеспечение прозрачности операций [1].
3. Автоматизация, координация, планирование процессов и внутренней работы порта.
4. Контроль состояния оборудования, судовой техники.

Цифровизация отрасли связана с состоянием развития ее участников. Разделение компаний, задействованных в перевозке, на группы производителей услуг, поставщиков, посредников, потребителей и государство, а также дальнейшее определение их функций в цепи, позволило выявить основные группы, которые займут уязвимое положение в отрасли после оцифровки процессов. Одной из самых многочисленных групп, которым необходимо подстраиваться под уровень развития других участников рынка, являются транспортно-экспедиционные компании, выбранные для дальнейшего исследования.

Учитывая объемы морских перевозок, количество процессов и вовлеченных лиц, для цифровой трансформации необходимо определить четкую структуру и составляющие каждого этапа перевозки. Основываясь, на разработанной модели «покупка-перевозка-оплата» Центром ООН, были выделены операции и документы на каждом этапе и объединены в таблице [2].

Таблица

Операции и документы, объединенные моделью «покупка-перевозка-оплата»

Этап	Выполняемые операции	Документация
Покупка	Согласование условий договора; Заказ	Котировка; Договор международной купли-продажи
Перевозка	Подготовка к экспорту	Упаковочный лист; Спецификация; Техническая документация; Сертификат соответствия; Сертификат происхождения; Протокол испытаний; Договор транспортной экспедиции; Букинг-нот; Букинг-лист
	Экспорт	Приемный акт; Уведомление таможенного органа; CMR; Поручение на отгрузку экспортных грузов; Коносамент; Доверенность на право распоряжаться грузом
	Транспортировка	Грузовой план; Упаковочный лист; Грузовой манифест; Штурманская расписка; Тальманский лист; Акт досмотра груза; Тайм-слотирование; Деливери-ордер; Морская накладная; Коммерческий акт; Гарантийное письмо
	Подготовка к импорту	Извещение о прибытии груза; Извещение о возникновении препятствий в поставке груза; Извещение о поставке груза; Извещение о возникновении препятствий в перевозке груза
	Импорт	Разнарядка; Акт разгрузки; Разнарядка о сдаче порожнего контейнера; Расходный ордер
Оплата	Запрос платежа; Оплата заказа; Выполнение платежа; Предоставление подтверждения оплаты	Счёт-фактура; Инвойс; Счёт-спецификация; Акт выполненных работ

Многообразие участников и информационных потоков между ними, а также их дальнейшее развитие требует изменения структуры общения. С этой точки зрения рассматриваются разрабатываемые цифровые платформы, внедрение которых открывает новый спектр услуг и возможностей развития для участников рынка транспортных услуг. На рис. 1 представлены процессы, которые осуществляются на базе платформы.



Рис. 1. Поток информации и обмен данными через платформу

Помимо процессов платформы позволяют оцифровать ряд документов, обеспечивая безопасность, контроль данных, исключая возможность несоответствия и уведомляя клиента при возникновении ошибки [3].

Анализ созданных пяти цифровых платформ в сфере экспедирования грузов с точки зрения грузоотправителя как клиента, позволил определить процесс управления заявкой, разделить на операции и проанализировать их с точки зрения частоты встречаемости на этих платформах. Таким образом, выявлены процессы, которые необходимо автоматизировать и оцифровать компании в первую очередь, чтобы обеспечить грузоотправителю высокое качество услуг. К ним относятся подбор судна, добавление заявки в систему, обновление данных в режиме реального времени, уведомление об изменениях, формирование сопроводительной документации, обеспечение доступа к отслеживанию отправок. Активное использование вышеперечисленных операций грузоотправителями на других платформах в цифровом виде подчеркивает то, что традиционным транспортно-экспедиционным компаниям необходимо совершенствовать систему взаимодействия с клиентом, создавать новые

модели общения с участниками перевозки, подготавливать внутреннюю систему к переходу на цифровые платформы в качестве одного из возможных путей развития [4].

На основе внедряемых решений на рынке экспедиторских услуг и стратегических целей развития транспортно-экспедиционной компании был создан проект системы цифрового управления (рис. 2), который представляет собой совокупность нескольких систем, отвечающих за контроль и управление инфраструктурой, оборудованием; обработку, накопление и безопасность данных; осуществление операционного, общего контроля и прогнозирование ситуаций.



Рис. 2. Проект системы цифрового управления транспортно-экспедиционной компанией

На первом этапе происходит обработка и накопление заявок, поступающих в систему, находящихся в обработке и в архиве компании. Информационные потоки поступают с множества датчиков, установленных в том числе на автомобиле и контейнере, а благодаря анализу данных в реальном времени возможно осуществление более эффективного управления физическими элементами, маршрутами и работой отделов. Количество новых поступающих заявок создает поток слабоструктурированной информации, который препятствует системе эффективного управления, таким образом, создается необходимость перехода к интеллектуальному управлению. Интеллектуальная система в рамках транспортно-логистической деятельности может применяться при распределении забронированных заранее заявок между клиентами, учитывая их пожелания в выборе перевозчика, судна. Данные при этом должны быть визуализированы как для сотрудников, так и для клиентов. Также при незапланированной отмене заявки система позволит перераспределить ущерб и уменьшить денежные потери. В будущем при достаточной аналитике данных интеллектуальная система позволит анализировать и предсказывать количество заранее бронируемых мест. Система включает в себя также ряд подсистем, отвечающих за безопасность движения, мониторинг инфраструктуры, дистанционное управление, вместе они создают общую цифровую модель управления процессом.

На основе разработанной концепции развития предложены действия по автоматизации и дальнейшей оцифровке процессов. В ходе исследования была выбрана существующая транспортно-экспедиционная компания, проанализированы ее основные бизнес-процессы и влияние цифровизации на них [5]. Примененный процесс автоматизации был направлен на сокращение времени, затрачиваемого на заполнение документов, проверку корректности данных; уменьшение числа ошибок в процессах, вызванных человеческим фактором; появление возможности получения актуальной информации из внутренней системы и автоматического формирования отчетности. Создана система автоматического оповещения сотрудников отдела продаж о наличии свободных мест, а также были внедрены предлагаемые решения в бизнес-процессы компании, в том числе система регулярной отчетности. Образованная в результате экономия времени позволяет заняться изменением бизнес-процессов для дальнейшего внедрения инноваций. Чтобы оцифровать взаимодействие с клиентом, была создана структура «Личного кабинета» в качестве средства автоматизации и сокращения общения. Основная страница содержит информацию о недавних бронированиях, уведомления об изменениях, отслеживание перевозок, хранилище документов, возможность связаться с отделом и позволяет клиенту осуществлять бронирование отправки. Также одновременно обеспечивается автоматическое добавление данных во внутреннюю систему компании, их учет и контроль. В результате внедрения предложенных мер по автоматизации процессов и оцифровке взаимодействия транспортно-экспедиционной компании с клиентом ежедневная экономия времени сотрудника экспортного отдела будет варьироваться от 0,69 до 2,38 часов.

Экономическая выгода от применения всех предложенных мер в перспективе позволит компании заняться внедрением интеллектуальных систем и инноваций в процесс, в соответствии с системой цифрового управления транспортно-экспедиционной компанией, рассмотренной ранее. Основные этапы, рекомендованные для дальнейшей оцифровки процесса, включают:

1. Создание механизмов работы с большими данными и их облачное хранение.
2. Внедрение интеллектуальных систем: автоматического формирования и заполнения документов, учета, распределения заявок.
3. Совершенствование систем безопасности данных.
4. Присоединение к цифровым платформам.
5. Принятие новых стандартов и требований.

6. Налаживание взаимодействия с другими участниками на базе цифровой платформы.

7. Внедрение умных устройств и датчиков на транспортные средства.

8. Визуализация данных в личном кабинете для клиентов и сотрудников о состоянии груза и отправок.

Применение рассмотренных выше решений позволяет транспортно-экспедиционной компании экономить время на обработку текущих заявок, также уменьшается время заполнения документов, внесения данных в систему, при этом сохраняется и улучшается качество оказываемых услуг. Система автоматического добавления и замены данных минимизирует число человеческих ошибок и способствует актуальному получению информации. В результате сокращения числа электронных сообщений переписка становится более легкой для контроля, поиска и дальнейшего хранения больших объемов данных. Снижение трудозатрат способствует увеличению количества перевозимых грузов при одновременном сохранении или уменьшении числа сотрудников. Расчет экономической эффективности показал целесообразность применяемых мер, но это лишь первый этап реализации системы цифрового управления компанией.

Перспективы разработки темы исследования состоят в дальнейшей оцифровке деятельности компании на основе разработанного плана действий, создании в будущем полностью оцифрованного процесса управления и взаимодействия с участниками рынка транспортных услуг.

Литература

1. Афанасенко И.Д., Борисова В.В. Цифровая логистика. СПб.: Питер. 2019. 272 с.
2. Шутенко В.В. Коммерческая работа на морском транспорте. Ч. 1.: учебник. СПб. Изд-во ГМА им. Макарова. 2011. 216 с.
3. Бубнова Г.В., Куренков П.В., Некрасов А.Г. Цифровая логистика и безопасность цепей поставок // Логистика. 2017. №7 (128).
4. Абдюшева Д.Р., Меренков А.О., Степанов А.А. Условия построения маркетинговой системы "цифрового" транспорта и логистики в управлении конкурентоспособностью // «Информационные технологии в управлении». 2017.
5. Транспортно-экспедиционная деятельность: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Будрина Е.В. [и др.]; под редакцией Будриной Е.В. Москва: Издательство Юрайт. 2019. 370 с.

**ЛАУРЕАТЫ III СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ
КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»**

Беляков Никита Александрович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,

студент группы № 142381,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: belykovna@rambler.ru

Волхонский Владимир Владимирович

Год рождения: 1948

Университет ИТМО,

факультета лазерной фотоники и оптоэлектроники,

д.т.н., профессор, доцент,

e-mail: volkhonski@mail.ru

УДК 681.7

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ
СРЕДСТВ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ДОСТУПОМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ VLC**

Н.А. Беляков

Научный руководитель – д.т.н., доцент В.В. Волхонский

Работа выполнена в рамках темы НИР №719204 «Разработка персонифицированной системы беспроводной передачи данных через светодиодное освещение для создания умного пропуска LED PASS».

Аннотация

Работа посвящена разработке системы передачи данных для системы контроля и управления доступом с использованием технологии VLC. Были проведены необходимые исследования для выяснения характеристик потенциальной передачи данных с помощью вспышек смартфонов. Была создана односторонняя система передачи данных, позволяющая передавать шестизначный идентификатор пользователя и код запроса за время, не превышающее 2 с, на расстояние до 0,5 м.

Ключевые слова

VLC, система контроля и управления доступом, СКУД, передача данных, смартфон, вспышка.

В настоящее время для систем контроля и управления доступом (СКУД) наиболее распространено использование радиочастотного канала связи. Основной целью работы было создать систему, использующую канал связи по видимому свету, то есть на основе технологии VLC. Концепция системы, в рамках которой выполнялась работа, представлена на рис. 1. Пользователь светит вспышкой смартфона на табличку, когда хочет открыть дверь или получить персонализированную информацию. Табличка, оснащенная фотодиодами и светодиодами, принимает сигнал от вспышки, расшифровывает его и передает данные на камеру смартфона.

Из преимуществ такой системы стоит отметить возможность использования в местах, где запрещен радиочастотный диапазон (медицинские учреждения, измерительные лаборатории), отсутствие необходимости обеспечивать персонал идентификационными ключами, а также безопасность соединения на физическом уровне.

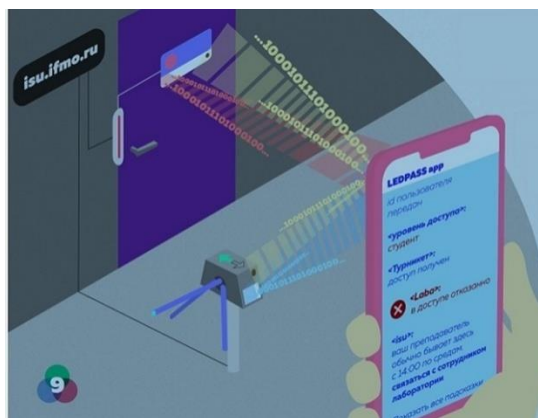


Рис. 1. Общий вид системы

Работа посвящена реализации канала связи для передачи данных от смартфона на табличку с помощью вспышки смартфона. Для выполнения поставленной цели были определены следующие основные задачи:

- определить требования к пропускной способности канала: передать шестизначный идентификатор пользователя и один из четырех видов запроса на расстояние до 0,5 м за время, не превышающее 2 с;
- исследовать реальную пропускную способность канала связи: определить возможные виды модуляции, источники шумов и их уровни;
- разработать протокол передачи данных;
- разработать программно-аппаратные средства для приема и обработки сигнала.

В смартфонах под управлением операционной системы Android возможности по модуляции сигнала вспышки сильно ограничены: нельзя управлять интенсивностью вспышки [1], поэтому была выбрана модуляция «On-OffKeying».

Для эксперимента по определению возможной частоты модуляции вспышки был выбран фотоприемник FDS 100, полоса пропускания которого, намного превышает задаваемые частоты модуляции, таким образом, он не вносит искажений в наблюдаемый сигнал. Приемник также воспринимает постоянную засветку, из-за чего эксперимент проводился в темной комнате, на расстоянии между вспышкой и фотодиодом около 10 см. Как видно из осциллограммы, представленной на рис. 2, при выключении вспышки происходит растягивание спада импульса.

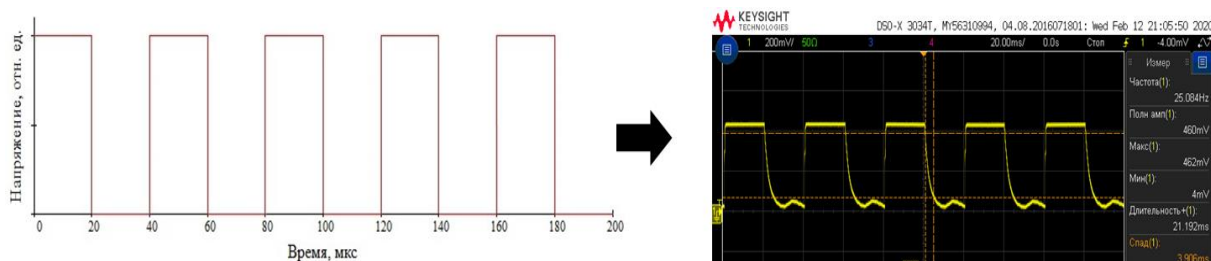


Рис. 2. Программное представление сигнала, управляющего вспышкой (слева) и сигнал, детектируемый на фотоприемнике (справа)

Был проведен эксперимент на различных частотах модуляции. На основании полученных осциллограмм, представленных на рис. 3, был сделан вывод о том, что с увеличением частоты модуляции растягивается задний фронт, появляющийся при выключении вспышки.



а) Частота $F = 20$ Гц

б) Частота $F = 100$ Гц

в) Частота $F = 200$ Гц

Рис. 3. Результаты эксперимента на различных частотах модуляции

При дальнейшем увеличении частоты модуляции, время спада начинает превышать период передачи, что делает передачу сигнала невозможной из-за возникающих ошибок при отправке данных (рис. 4). Растягивание заднего фронта связано, не с ограничением частоты мерцания светодиода в смартфоне, а с особенностями внутренних алгоритмов работы операционной системы смартфона. Таким образом, появляется понятие «предельная частота модуляции». В ходе экспериментов было замечено, что различные модели смартфонов обладают различной предельной частотой модуляции.

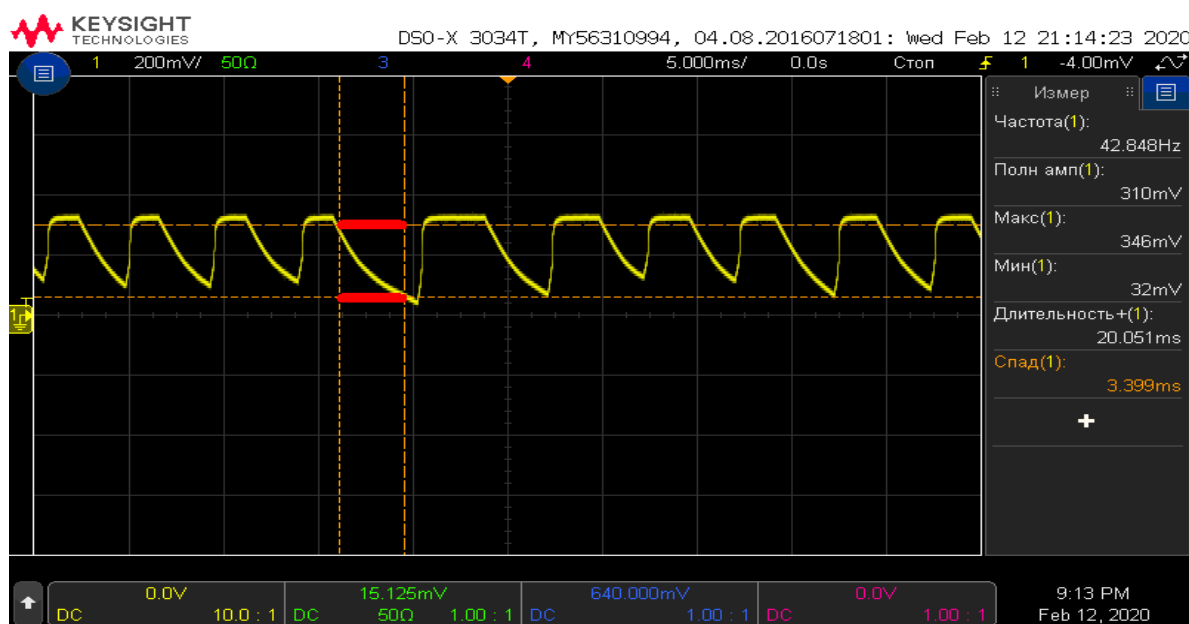


Рис. 4. Изменение сигнала при превышении предельной частоты ($F = 500$ Гц)

Для определения предельной частоты было протестировано 16 смартфонов 13 различных моделей. Передаваемая информация: пакет длиной 80 бит. В случае безошибочного определения всех символов сообщения три раза подряд, частота считалась рабочей. Было установлено, что подавляющее большинство смартфонов стабильно передают на частоте модуляции до 50 Гц (рис. 5). Более современные смартфоны могут работать на частоте 100 Гц. Смартфоны одной и той же модели имеют одни и те же показатели.

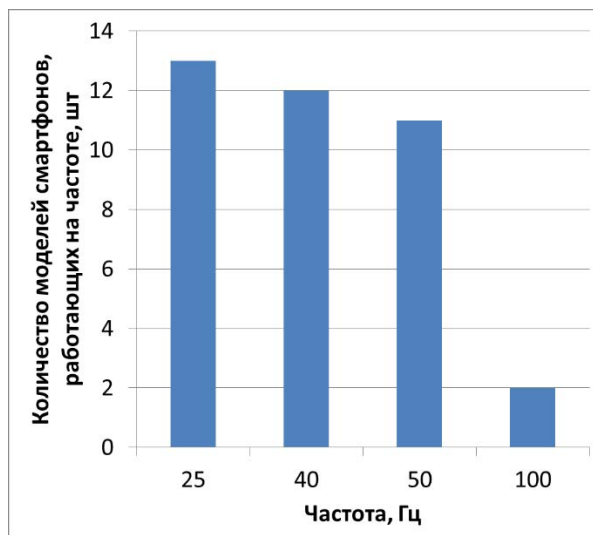


Рис. 5. Предельная частота модуляции вспышки различных моделей смартфонов

Был разработан формат сообщений, состоящий из преамбулы, шестизначного идентификатора пользователя и кода запроса, занимающих суммарно 40 бит. Для отправки данных для смартфонов под управлением операционной системы Android было разработано приложение, скриншот которого представлен на рис. 6.

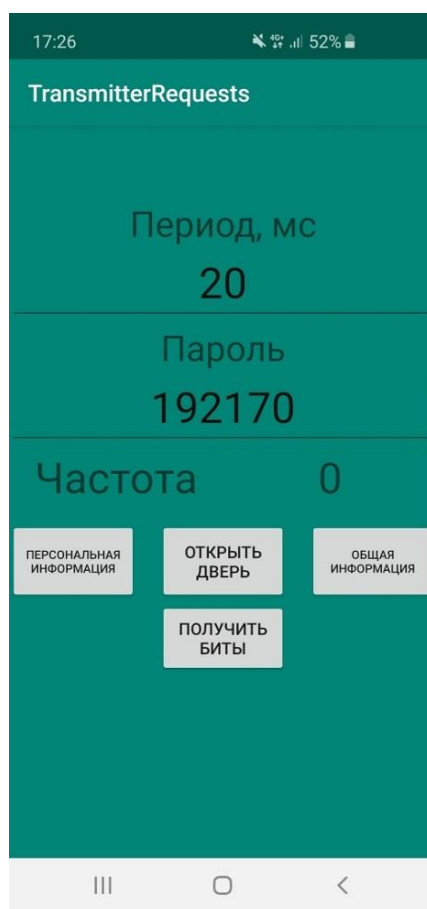


Рис. 6. Скриншот разработанного приложения

Приложение получает три входных параметра:

- период передачи, обозначает время передачи одного символа в мс. Предусмотрено несколько возможных значений, воспринимаемых приемником: 5, 10, 20, 25, 40 и 50 мс. Значение выбирается в зависимости от рабочей частоты конкретной модели смартфона;
- идентификатор пользователя – шестизначное число в десятичной системе счисления;
- код запроса, зависящий от нажатой кнопки в приложении, различный для запросов: «Открыть дверь», «Персональная информация», «Общая информация» и «Получить биты».

Идентификатор пользователя кодируется как 2 трехзначных числа, каждое из которых занимает 10 бит, поэтому для преамбулы и кодов запроса использованы четырехзначные числа, которые также занимают 10 бит, то есть от 1000 до 1023. Поступившие входные данные переводятся в двоичную систему счисления. К тридцати битам, представляющим собой идентификатор пользователя и код запроса, применяется расширенный код Хэмминга. Расширенный код Хэмминга позволяет исправлять одинарную ошибку и находить двойную [2]. Получившаяся последовательность вместе с преамбулой кодируются манчестерским кодом: «0» заменяется на «01», «1» заменяется на «10». Таким образом, сформированный выходной пакет имеет размер 94 бита. Так как для большинства смартфонов рабочей частотой является 50 Гц, такой пакет данных будет передан большинством смартфонов за 1,88 с.

Был проведен эксперимент по определению расстояния, на котором возможна обработка сигнала от вспышки (рис. 7). Эксперимент проводился для двух различных моделей смартфонов. Было установлено, что вспышки смартфонов различных моделей могут обеспечить приблизительно одинаковую освещенность.

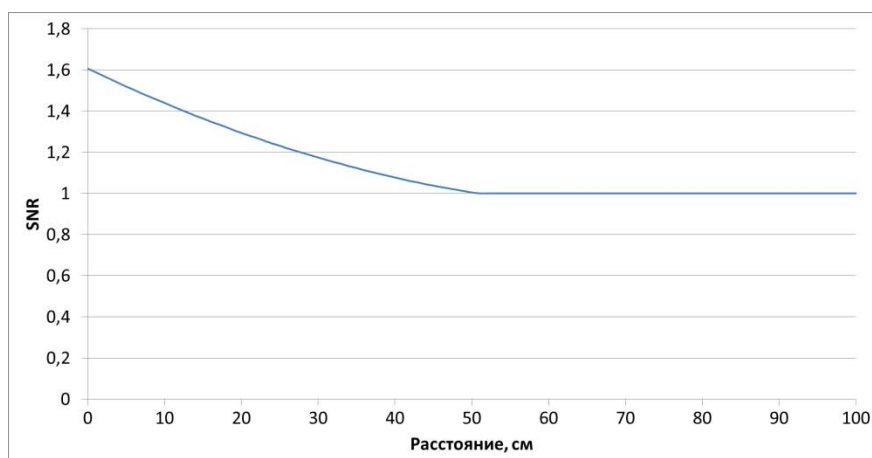


Рис. 7. Зависимость соотношения сигнал/шум на фотоприемнике на различных расстояниях

На основании проведенных испытаний было определено, что на расстоянии более 0,3 м обработка сигнала невозможна. Чтобы увеличить это расстояние, требуется дополнительная электронная схема, позволяющая снизить влияние фонового освещения и повысить соотношение сигнал/шум для последующей программной обработки. Также необходимо было учесть, что обратный канал связи в табличке создает мерцающее освещение, которое может вносить искажения в сигнал от вспышки. Для решения данных проблем была применена электронная схема, выполняющая роль полосового фильтра для частот модуляции вспышки.

Результатом проделанной работы является односторонняя система передачи данных по технологии VLC для системы умного пропуска LedPass, включающей в себя функции СКУД. С помощью системы возможна передача сообщений, содержащих идентификатор пользователя и код запроса, на расстояние до 0,5 м за время, не превышающее 2 с. В ходе работы были проведены необходимые эксперименты для выяснения характеристик потенциальной передачи данных с помощью вспышек смартфонов. На основании полученных результатов можно утверждать, что:

- вспышки различных моделей смартфонов могут обеспечить приблизительно одинаковую освещенность, однако имеют различную скорость переключения;
- большинство смартфонов способны стабильно осуществлять передачу на частоте 50 Гц;
- для создания системы передачи данных в помещениях с наличием фоновое искусственного освещения требуется дополнительная электронная схема, которая позволит снизить влияние фоновое освещения и повысить соотношение сигнал/шум для последующей программной обработки.

Были разработаны формат сообщений, приложение-передатчик для смартфона, приемная часть, алгоритм и программа для нее. Из функций разработанной системы стоит отметить:

- автоматическое определение периода передачи из заданного набора вариантов;
- четыре варианта запроса;
- отправка запроса на открытие двери устройству, имеющему доступ к базе данных;
- открытие замка при получении сообщения о разрешенном доступе.

Литература

1. Zhang O., Qian Z., Mao Y., Srinivasan K., and B. Shroff N. ERSCC: Enable Efficient and Reliable Screen-Camera Communication. // In Proceedings of the Twentieth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc '19). Association for Computing Machinery. New York, NY, USA. P. 281–290.
2. Сидельников В.М. Теория кодирования. Физматлит. 2008. 324 с.

Бойко Арина Андреевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

студент группы №В42102,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: aa.sparagus.bo@yandex.ru

Малашин Роман Олегович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

к.т.н.,

e-mail: malashinroman@mail.ru

УДК 004.932.4

МЕТОД ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТАЛОННЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ УЛУЧШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А.А. Бойко

Научный руководитель – к.т.н. Р.О. Малашин

Работа выполнена в рамках темы НИР «Улучшение изображений видеопоследовательности с помощью глубоких нейронных сетей, обучаемых без использования эталонных данных».

Аннотация

На основе предположения о сходстве сигнала и независимости шумовой составляющей в пространственно близких пикселях изображения предложен метод обучения нейронных сетей улучшению изображений без эталона. Подход позволяет сформировать данные для обучения из каждого кадра видеопоследовательности путём прореживания изображения, поэтому возможно обучение восстановлению с учётом признаков о динамических свойствах объектов на изображении. Исследованы эффективность и ограничения предложенного метода, продемонстрирована его работоспособность на базе данных изображений, снятой в условиях низкого освещения.

Ключевые слова

Подавление шума, восстановление изображения, обучение без эталонов, обработка изображения, фотонный шум.

Восстановление сигнала из повреждённых или неполных данных является важным подразделом статистического анализа. С появлением и развитием нейронных сетей глубокое обучение все чаще используется при решении задачи подавления шума и реставрации данных [1]. Для обучения современных свёрточных сетей, используемых в задачах восстановления и генерации изображений, зачастую требуются большие наборы данных, которые подготавливаются из пар изображений вида «эталонное – искаженное». Существующие наборы данных, зарегистрированных в реальных условиях, обычно ограничены и специфичны с точки зрения описываемой задачи [2, 3]. Составление базы данных из видеопоследовательностей совсем не тривиально, так как обычно нет возможности составить выровненные пары «эталонное – искаженное» для

одной и той же сцены, не пользуясь дополнительными преобразованиями (или чтобы обе видеопоследовательности при динамическом изменении сцен показательно друг другу соответствовали). При этом информация о специфике объектов (а также характерных признаках их движения) может быть чрезвычайно полезна для решения задачи восстановления изображений с максимальным качеством.

В данной работе представлены основные результаты обучения на данных, искажённых естественным шумом, характерным для изображений, зарегистрированных на цифровые камеры с фильтром Байера. Особенность предлагаемого подхода заключается в отсутствии известного «чистого» эталона. Наше решение основано на работе [4], где было показано, что использование зашумлённого изображения в качестве эталона возможно и даже (при достаточной обучающей выборке) сводится к тому же решению, что и обучение на эталонах. На основе предположения о статистическом сходстве сигнала и независимости шумовой составляющей в пространственно близких пикселах в этой работе предложена модификация метода [4] для обучения нейронных сетей улучшению изображения в видеопоследовательности без использования эталонных данных. Наш метод заключается в прореживании оригинального зашумлённого изображения на два для подачи одного на вход нейронной сети и использования другого в качестве эталона.

Авторы [4] показывают, что существует возможность научиться удалять фотонный шум, используя только пары зашумлённых изображений, без необходимости использования длительных экспозиций (что невозможно для видео). В связи с этим, они назвали этот метод Noise2Noise (шум-к-шуму). Обучающие выборки [4] формировались с помощью синтетических моделей шума.

Однако этот метод нельзя использовать для обучения нейронной сети улучшать изображения видеопоследовательности с использованием информации о перемещающихся объектах. Для того, чтобы преодолеть этот недостаток, исходя из стабильности статистических характеристик реального шума в любой части изображения и схожести статических характеристик пространственно близких пикселей, нами предложено сделать прореживание искажённого фотонным шумом исходного изображения на части в соответствии по схеме «чётный–нечётный». Схема алгоритма представлена на рис. 1.

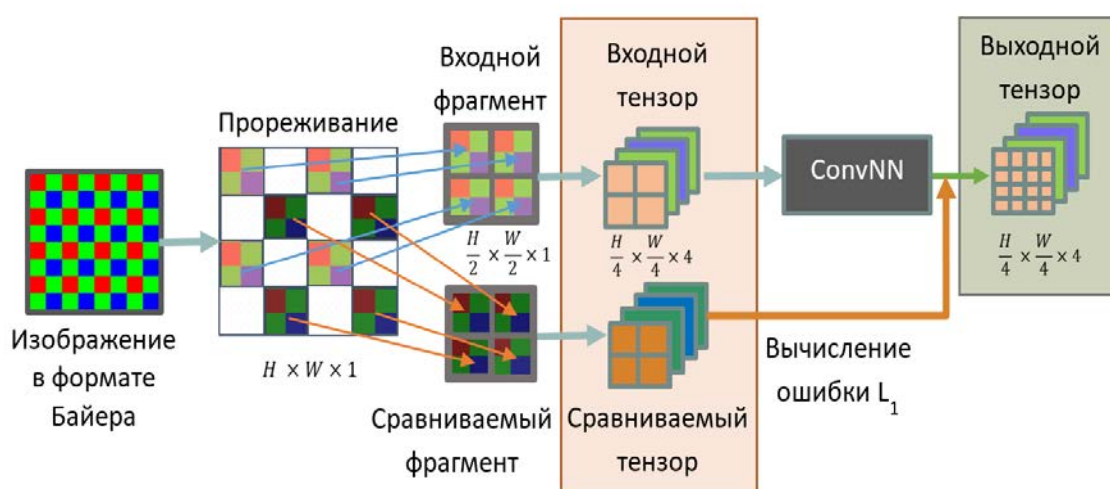


Рис. 1. Схема обучения нейронной сети на данных из единственного кадра видеоизображения.
 H и W – высота и ширина изображения, соответственно

Согласно схеме, исходное изображение можно разбить на 4 изображения (чётные

и нечётные элементы строк и столбцов) операцией прореживания с целочисленным коэффициентом. Одно из изображений пар этих изображений можно использовать для прямого прохода нейронной сети, а второе – в качестве эталона для вычисления функции ошибки для обратного прохода. Поскольку вместо эталонного изображения используется часть изображения с известным сдвигом относительно фрагмента изображения, подающегося на вход нейронной сети, то после обучения можно ожидать смещения изображения на выходе сети относительно входа.

Метод позволяет собирать пары различных реализаций искажённого сигнала с одного кадра, а, следовательно, пользоваться каждым кадром в видеопоследовательности как отдельным источником для формирования примера обучающей выборки. Таким образом, не требуется решать задачу сопоставления пары изображений и возможно обучения с использованием динамических сцен. Поскольку предложенный нами подход основан на использовании метода Noise2Noise [4], но использует единственный кадр, то для нашего метода по аналогии мы используем название SingleFrame Noise2Noise (шум-к-шуму по одному кадру).

Нечётные “плитки” изображения на рис. 1 представляют собой четырёхкомпонентные элементы матрицы Байера, подающиеся на вход нейронной сети. Чётные “плитки” формируют изображение, которое используется в качестве эталона для расчёта функции потерь. Информация белых “плиток” не используется. Было исследовано несколько конфигураций предложенного подхода, потому как операция прореживания позволяет получить пары, смещённые друг относительно друга вертикально, горизонтально и диагонально. Прокомментируем краткие обозначения, которые мы будем использовать в таблицах и в подписях к рисункам:

- SFN2N↓ – обучение на парах зашумлённых изображений, смещённых вертикально. Оба изображения получены из единственного исходного кадра.
- N2C↓ – обучение на парах «зашумлённое–эталонное». Изображения смещены вертикально.
- N2C – обучение на парах «зашумлённое–эталонное», без прореживания и сдвига.
- N2C○ – пары «зашумлённое–эталонное» для обучения подготавливались с прореживанием, но без сдвига.

В основе предлагаемого метода у нас нет особенных требований к архитектуре используемой свёрточной сети. В наших экспериментах мы пользовались сетью U-net [6]. Для проведения экспериментов была выбрана база данных, предложенная авторами работы [2]. Она состоит из 236 фотографий в формате RAW (“сырые” данные, зарегистрированные на сенсоре без обработки), записанных в тёмное время суток, либо в сильно затемнённом помещении. Для каждой сцены было зарегистрировано несколько снимков, представляющих собой сочетания высоко-экспонированных фотографий (эталонные) и низко-экспонированных (входных). Для оценки качества восстановленных изображений относительно эталонных образцов использовались метрики отношения пикового сигнала к шуму (PSNR, PeakSignaltoNoiseRatio) и индекс структурного сходства (SSIM, StructuralSimilarityindex).

На рис. 2 представлен пример результатов обучения нейронных сетей на основе вертикального (SF N2N↓) и горизонтального (SF N2N→) сдвигов.

На изображениях используемого набора данных присутствуют артефакты построчного чтения данных с матрицы. В связи с этим, при использовании горизонтального сдвига (SF N2N→, рис. 2г) нарушается используемое нами предположение о независимости значений шума в соседних пикселах, что проявляется в виде “горизонтальных” артефактов на восстановленном изображении, которые в значительной степени компенсируются при использовании вертикального сдвига (SF N2N↓, рис. 2в).

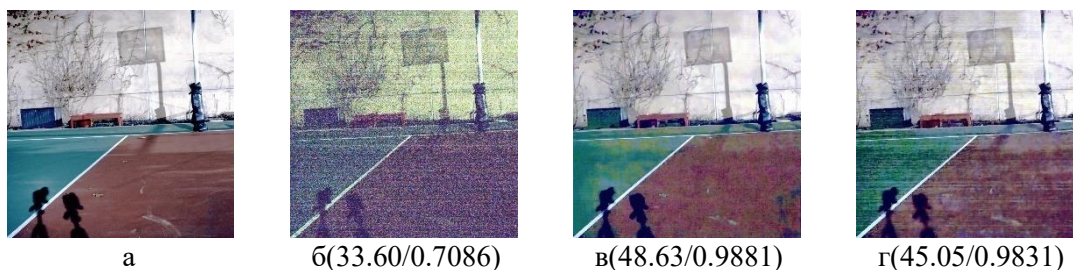


Рис. 2. Примеры изображений, полученных на выходе нейронных сетей, обучающихся на различных конфигурациях обучения. В скобках указаны значения метрик PSNR и SSIM, измеряемых относительно эталона (а) – зарегистрированное с долгой выдержкой; (б) – зашумлённое фотонным шумом изображение, зарегистрированное с короткой выдержкой, (в) и (г) – результаты, полученные на выходе нейронных сетей, обученных по методу SF N2N с вертикальным (SF N2N↓) и горизонтальным сдвигом (SF N2N→), соответственно

Поскольку известно, что нейронная сеть учится восстанавливать смещённые относительно входа изображения, можно было бы считать необходимым учитывать этот факт при оценке метрик. В таблице продемонстрированы значения PSNR и SSIM с учётом возможных смещений, а также проводится сравнение с традиционными методами обучения «зашумленное к чистому» и с методом, основанном на априорной информации, заложенной в нейронной сети (DeepImagePrior) [5].

Таблица

Сравнение различных методов

Конфигурация обучения	PSNR, дБ / SSIM с компенсацией предполагаемого сдвига	PSNR, дБ/ SSIM без компенсации сдвига
N2C	–	39,78 / 0,9341
N2C○	–	39,73 / 0,9334
N2C ↓	37,44 / 0,9255	37,94 / 0,9286
SFN2N ↓	37,89 / 0,9172	37,80 / 0,9163
DIP	–	35,53/0.9026

В работе [5], где был представлен метод DIP, исследовали способность самой структуры нейронной сети восстанавливать прообраз изображения, подвергнутого искажению. На основе полученных ими выводов возможно ввести критерий оценки работы алгоритмов нейронных сетей, обучающихся на наборах данных без эталонов, так как мы хотим выявить, действительно ли при использовании предложенного подхода сеть обучается новым признакам. Если нейронная сеть со случайной инициализацией внутренних весов оказывается более или столь же эффективной в решении поставленной задачи, то можно утверждать, что исследуемый алгоритм обучения не сработал, и конечное распределение весов обученной сети не имеет преимуществ перед случайным распределением.

Из таблицы видно, что предлагаемый метод SF N2N↓ обеспечивает в среднем чуть менее чем на 2 дБ более низкие значения пикового отношения сигнал/шум по сравнению с методом без смещения и прореживания N2C. При этом основное падение метрик связано не с прореживанием (N2C○), а с наличием сдвига между изображениями, подаваемыми на вход нейронной сети и для расчёта функции потерь (N2C↓ и SF N2N↓). Также в среднем отношение пикового сигнала к шуму в режиме DIP

достигает 35,53 дБ, что меньше результатов предлагаемого метода SFN2N↓ на 2,27 дБ. Исходя из этого, можно утверждать, что нейронной сети, обученной в предлагаемом нами режиме, удастся выучить полезные признаки, необходимые для восстановления искажённых изображений.

На рис. 3 представлен пример обработки изображения нейронной сетью, обученной с помощью предлагаемого нами метода. Также представлен для сравнения результат работы метода DeepImagePrior [5].



а(22.22/0.2008) в(38.01/0.9296) г(37.93/0.9291) д(33.62/0.9340)

Рис. 3. Сравнение результатов обработки нейронной сети, обученной с помощью метода SFN2N↓ (г), с помощью классического метода (в) и с помощью метода DIP (д). В скобках указаны значения метрик PSNR и SSIM, измеряемых относительно эталона (а); (б) – зашумлённое изображение

Оценки метрик отношения пикового значения сигнала к шуму и индекса структурного сходства незначительно упали по сравнению с оценками результата традиционного обучения без прореживания, но визуально обладают схожими свойствами и недостатками восстановления.

На рис. 4 представлены результаты после обучения на парах вида “зашумлённое к чистому” и “зашумлённое к зашумлённому”, полученные с прореживанием и сдвигом согласно нашему методу. Также представлен результат работы метода DeepImagePrior.

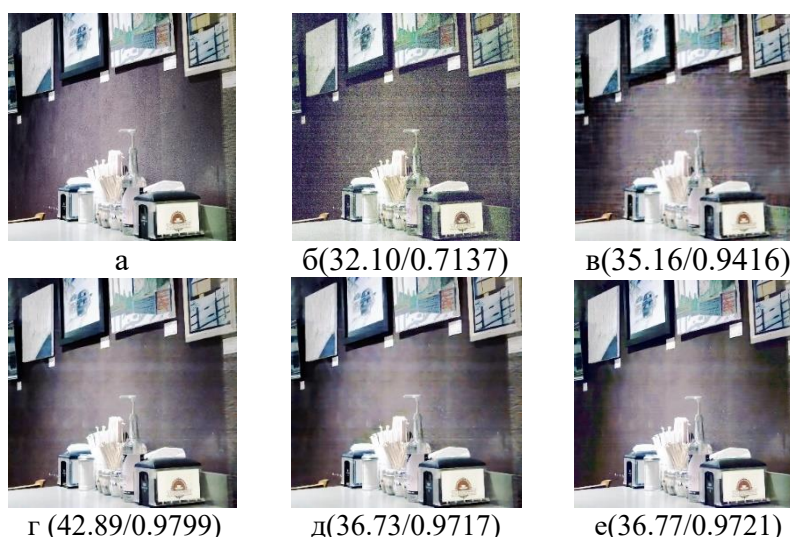


Рис.4. Пример результатов нейронной сети, обученной при использовании метода DIP(в), классического метода обучения с эталоном (г), предлагаемым методом SFN2N↓ (д) и методом N2C↓(е). Артефакт в виде горизонтальных полос присутствует на всех обработанных изображениях (в, г, д, е). В скобках указаны значения метрик PSNR и SSIM, измеряемых относительно эталона (а); (б) – зашумлённое изображение

Можно видеть, что артефакты регистрации сцены (в виде светлой горизонтальной полосы около центра изображения), присутствующие на зашумлённом изображении, передаются на выход независимо от используемого метода обучения.

Таким образом, проведено сравнение разработанного метода с методом, основанном на использовании эталонных изображений, в точности восстанавливаемого изображения с эталоном с точки зрения соотношения пикового сигнала к шуму, индекса структурного сходства, а также визуального восприятия. Предлагаемый метод оказался чуть менее эффективен с точки зрения метрического анализа, чем классическое обучение, однако визуальные результаты, полученные на выходе обученных нашим методом нейронных сетей, обладают почти теми же визуальными свойствами, что и результаты традиционного обучения. С использованием предложенного метода удалось поднять значение отношения пикового сигнала к шуму с 25,25 дБ (характерное число для зашумлённых изображений) до 37,80 дБ по всей тестовой выборке. Также можно отметить схожую степень выраженности артефактов у рассмотренных методов (классического и предлагаемого). То, что с помощью предложенного нами подхода сеть получает возможность эффективно использовать информацию, заложенную в базу данных, подтверждает значительное превосходство над методом, основанным на априорной информации, содержащейся в нейронной сети (DeepImagePrior), эту информацию игнорирующим.

Таким образом, поскольку разработанный подход имеет значительные преимущества с точки зрения ресурсоёмкости подготовки обучающей выборки (особенно при обучении на видеопоследовательностях), то он может быть востребован при разработке перспективных систем улучшения изображений.

Литература

1. Tian C., Xu Y., Fei L., Yan K., Deep learning for image denoising: a survey // International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. Springer. Singapore. 2018. P. 563–572.
2. Chen Chen, Qifeng Chen, Jia Xu et al. Learning to see in the dark // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City. UT. June 2018. P. 3291–3300.
3. Plotz T., Roth S. Benchmarking denoising algorithms with real photographs // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Honolulu. HI. Jul 2017. P. 2750–2759.
4. Jaakko Lehtinen, Jacob Munkberg, Jon Hasselgren et al. Noise2Noise: learning image restoration without clean data // International Conference on Machine Learning. Stockholm. Sweden. July 2018. P. 2965–2974.
5. Ulyanov D., Vedaldi A., Lempitsky V.S. Deep image prior // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City. UT. June 2018. P. 9446–9454.
6. Ronneberger O., Fischer P., Brox Thomas. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. Springer. Cham. 2015. P. 234–241.

Гусейнова Ирада Валерьевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № 42302,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: 14371150@kafedrapik.ru

Мишура Людмила Геннадьевна

Год рождения: 1977

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: mishuralg@yandex.ru

УДК 330.322

ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

И.В. Гусейнова

Научный руководитель – к.э.н., доцент Л.Г. Мишура

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

Аннотация

В рамках данного исследования был разработан и поэтапно описан алгоритм выбора метода оценки экономической эффективности инвестиций инновационные проекты, а также создан и апробирован программный продукт, реализующий данный алгоритм. В работе также был произведен выбор наиболее подходящего для оценки эффективности инновационных проектов программного обеспечения, а также проанализирована возможность внедрения в него разработанного в рамках исследования программного продукта.

Ключевые слова

Инновационные проекты, методы оценки экономической эффективности, источники финансирования, ставка дисконтирования, программное обеспечение.

Во времена перенасыщенности рынка однотипными товарами и услугами важным критерием увеличения конкурентоспособности предприятий становится уровень их инновационной активности. На сегодняшний день на территории Российской Федерации функционируют государственные и частные компании, реализующие множество проектов, целью которых является поддержка и развитие инновационного бизнеса. Помимо различных образовательных и бизнес- мероприятий большинство данных организаций предоставляют и финансовую поддержку высокотехнологичных проектов. Наряду с ними инвестиционную часть инновационного проекта берут на себя и бизнес-ангелы-частные инвесторы, вкладывающие свой собственный капитал на взаимовыгодных условиях в компании, реализующие высокотехнологичные проекты, как правило, находящиеся на ранний стадиях своего развития.

Стараясь привлечь внешнее финансирование, инициаторы инновационных проектов должны оценить целесообразность их реализации как для себя, так и для потенциальных инвесторов. Важно убедить потенциального инвестора вложить свои собственные средства в проект, плановые показатели эффективности которого будут максимально приближены к фактическим.

Даже если же организация не планирует привлекать внешние источники финансирования, важным аспектом является способность конкретного инновационного проекта окупить вложенные в него инвестиции и приумножить собственный капитал компании. Исходя из этого, большую роль играет не только точность расчетов, но и выбор метода, определяющего группу показателей и методику их вычисления.

Также во время бума активной цифровизации практически всех прежде ручных процессов человека возрастает и необходимость в создании программного продукта, способного систематизировать и автоматизировать процесс выбора метода оценки. В первую очередь это связано с экономией временных ресурсов, снижением вероятности допущения случайных и преднамеренных ошибок, а также, в целом, удобством использования.

Исходя из этого, целью данного исследования является разработка алгоритма выбора метода оценки экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты, а также в создании самостоятельного программного продукта, реализующего данный алгоритм.

В рамках данной работы были проанализированы существующие на сегодняшний день методы оценки экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты, а именно учетные, динамические методы, а также модели реальных опционов, в частности, модель Блэка-Шоулза и биномиальная модель Кокса-Росса-Рубинштейна [1]. На основании проведенного анализа данных методов были выделены критерии, которые были положены в основу разрабатываемого алгоритма.

Выделенные на основе сравнительного анализа критерии, положенные в основу разрабатываемого алгоритма, представлены в таб. 1.

Таблица 1

Анализ методов экономической эффективности инвестиционных проектов

Метод	Критерии сравнения			
	Ориентированность на денежные потоки	Гибкость в принятии решений	Учет риска	Учет различных источников финансирования
Учетные методы	-	-	-	-
Динамические методы	+	-	+/-	+
Модели реальных опционов. Биномиальная модель	+	+	+	+

Как видно из таб. 1, в ходе сравнительного анализа наихудшие результаты пришлись на учетные методы, что говорит о их слабой применимости при оценке инновационных проектов. Однако это не являлось основанием не учитывать их в алгоритме, иначе он был бы неполным и недостоверным.

В свою очередь, наилучшие результаты пришлись на модели реальных опционов,

а именно на биномиальную модель. Модель Блэка-Шоулза ввиду некорректности ее использования при работе с реальными инвестициями при разработке алгоритма было принято не учитывать.

Как видно также из таб. 1, критерий возможности применения гибкости в принятии управленческих решений является преимуществом модели реальных опционов, предполагающего построение дерева сценариев на каждом этапе реализации проекта. Данный метод аналогично динамическому ориентирован на денежные потоки и учитывает влияние риска на итоговые показатели проекта [2]. Однако в случае с динамическими методами риски возможно учесть исключительно при расчете ставки дисконтирования. Исходя из этого, нельзя полностью отрицать то, что динамические методы экономической эффективности инвестиций лишены возможности корректировки итоговых показателей эффективности с учетом присущих проекту рисков, но и утверждать полную достоверность подобных значений нельзя.

Однако биномиальная модель дает возможность учесть проектные риски не только в значении ставки дисконтирования, но и в сценарном анализе развития событий, что, в свою очередь, рассматривает риск в качестве положительного фактора в том числе.

Ставка дисконтирования при оценке проекта динамическими методами дает возможность его инициаторам учесть влияние различных источников финансирования на итоговые показатели проекта. Аналогичная ситуация обстоит и с моделью реальных опционов. Однако последний метод предоставляет возможность при помощи сценарного анализа выбрать наиболее подходящую модель финансирования, при которой итоговые показатели эффективности будут наиболее привлекательными.

На рис. 1 представлен разработанный алгоритм выбора метода оценки экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты.

В рамках разработки данного алгоритма необходимым условием его использования будет являться допущение о том, что данная компания прежде не создавала данный продукт или услугу. То есть по типу инновационного продукта анализируемые проекты (в рамках рассматриваемого алгоритма) должны относиться к проектам по созданию радикально нового или модернизированного продукта или услуги. В свою очередь, по уровню принимаемых стратегических решений к проектам, которые не являются частью отдельно взятых более крупных проектов. Оценка проектов, являющихся частью более крупных инновационных проектов, должна отталкиваться от методов, входных параметров и промежуточных результатов последних. Исходя из этого, область применения данного алгоритма не распространяется на данную группу проектов, а применима лишь к самостоятельными инновационным проектам.

Таким образом, на этапе идентификации инновационного проекта определяется тип продукта и уровень применяемого стратегического решения.

Еще одним важным для использования данного алгоритма условием является этап его жизненного цикла. Так, инновационный проект должен находиться на стадии «Инициации» или «Разработки прототипа».

На следующем этапе важно определить тип инновационного проекта по следующим видам классификации: по сроку его реализации (общепринятая классификация) и объему требуемых финансовых ресурсов. В рамках последнего вида была выбрана классификация, используемая на сегодняшний день «Агенством стратегических инициатив» (АСИ) для грамотного распределения поступающих заявок на участие в различных программах развития инновационных проектов, в том числе финансовой поддержки от российских и зарубежных венчурных Фондов.

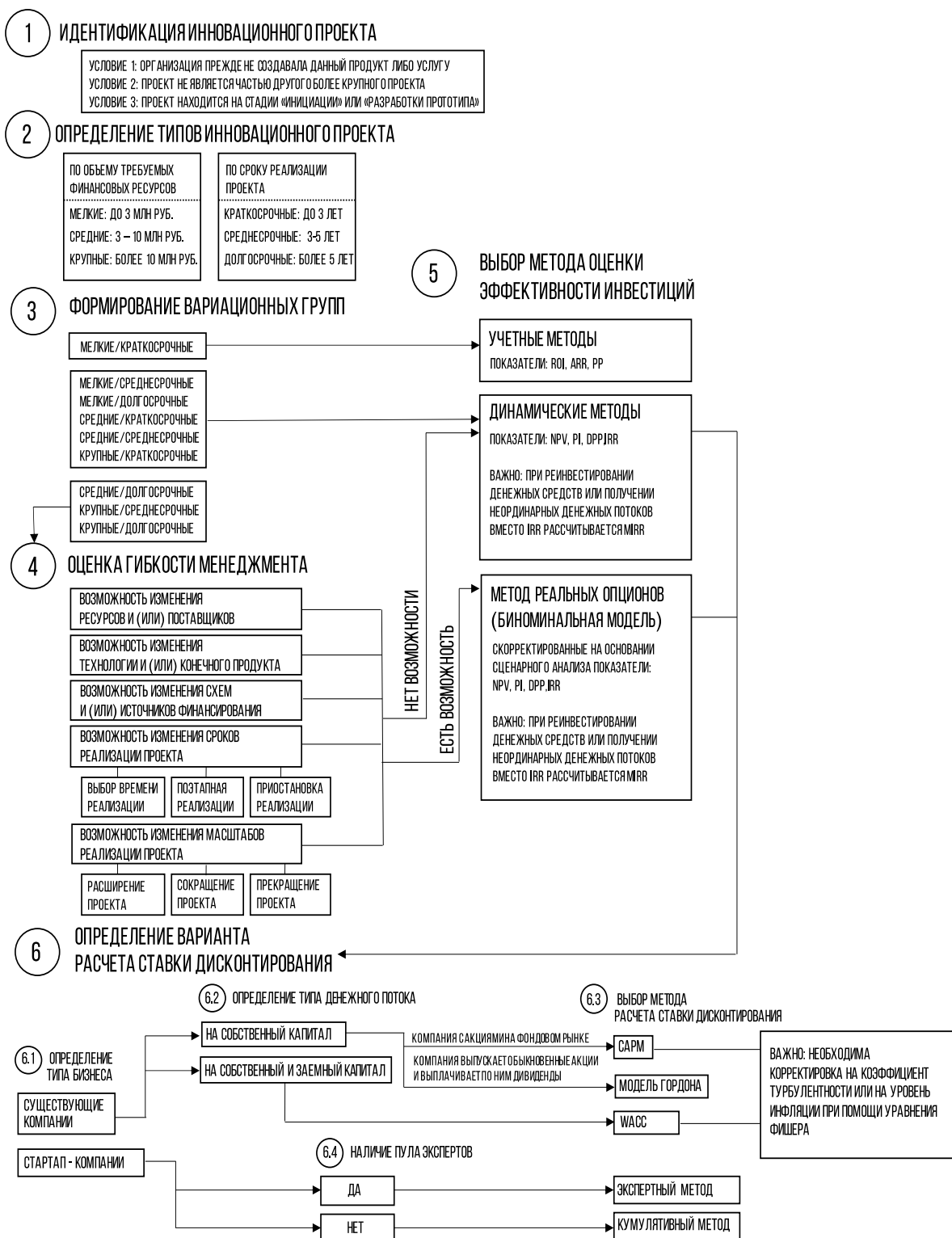


Рис. 1. Алгоритм выбора метода оценки экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты (разработано автором)

На третьем этапе необходимо сформировать различные вариации по выделенным типам инновационных проектов. Необходимость в формировании данных вариаций связана с вероятностью получения неоднозначных результатов при выборе метода оценки эффективности инвестиций. Как видно из рис. 1, для шести из девяти вариационных групп уже на данном этапе разработанного алгоритма является

возможным определить метод оценки.

Однако для третьего вариационного блока предварительно следует оценить гибкость менеджмента. Необходимость ввода в алгоритм данного этапа обусловлена высокой вероятностью больших финансовых потерь для данных вариационных групп проектов, а также высокой степенью неопределённости в конечных результатах в связи с длительным сроком реализации.

В случае, если у менеджмента есть возможность учесть хотя бы один из представленных на 4 этапе условий, то оценку проекта рекомендуется производить при помощи биномиальной модели. В противном случае, при помощи динамических методов. Далее для данных двух групп методов необходимо определить вариант расчета ставки дисконта.

Данный этап алгоритма начинается с определения типа бизнеса: стартап либо уже существующая компания, имеющая длительный опыт операционной деятельности и уже ведущая финансовую отчетность. Для существующих компаний важно установить тип денежного потока, относительного которого и определяется вариант расчета ставка дисконта.

Для стартапов вариант расчета ставки дисконта определяется на основании критерия о наличии пула экспертов.

Стоит также сказать, что в рамках разработанного алгоритма сравнение инновационных проектов среди альтернативных возможно исключительно в рамках оценки одним методом. В противном случае, проекты будут несопоставимы для сравнительного анализа.

Далее в рамках данной работы был разработан самостоятельный программный продукт, реализующий вышеописанный алгоритм выбора метода оценки экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты.

Программа была написана на компилируемом языке программирования «C++», а графический интерфейс был разработан при помощи фреймворка «Qt». Каждое окно, описывающее отдельный этап алгоритма, было реализовано на основе паттерна «Model-View-Controller». Выбор данного паттерна обусловлен возможностью разделения логики работы от ее визуализации, что позволило написать программу, содержащую в себе малое количество повторяющегося кода. Верстка дизайна окон была произведена в кроссплатформенной среде «QtDesigner» [3].

Программное обеспечение было апробировано на примере проекта по созданию креативного кластера в Красноярске. Проект планируется к реализации силами уже существующей компании (технопарк «Ленполиграфмаш») за счет собственных средств и средств частного инвестора.

На рис. 2 представлены скриншоты, демонстрирующие поэтапную работу в разработанном программном продукте для выбора метода оценки эффективности, а также ставки дисконтирования для вышеупомянутого проекта.

На основании проведенного сравнительного анализа трех наиболее популярных на российском рынке программных продуктов, а именно «Альт- Инвест», «ТЭО-Инвест» и «Project Expert», можно сказать, что они все являются достаточно удобным инструментом для оценки инвестиционных проектов. В целом, функционал данных программ позволяет оценить привлекательность проектов по всем трем методам определения экономической эффективности инвестиций: учетные, динамические и модели реальных опционов. Однако для оценки инновационных проектов практичнее будет использовать программы открытого типа, а именно «Альт- Инвест» и «ТЭО-Инвест». В свою очередь, в исходных вариантах установления величины ставки дисконтирования программного продукта «Альт-Инвест» заложен алгоритм расчета только одним методом - модель средневзвешенной стоимости капитала (WACC). И хоть открытый тип данного продукта позволяет создать свой собственный алгоритм

расчета, всегда существует вероятность допущения методических и преднамеренных ошибок.

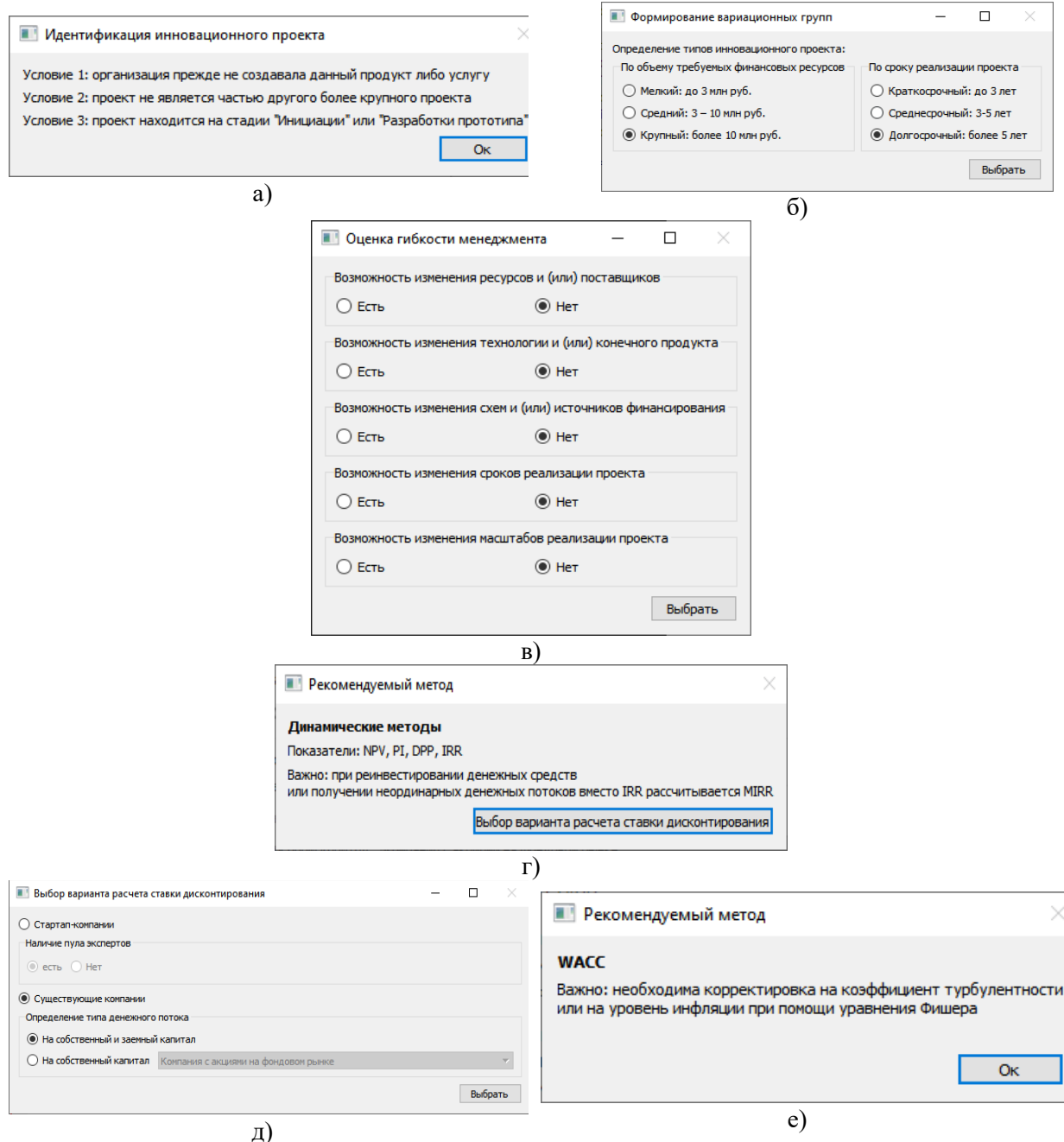


Рис. 2. Скриншоты, демонстрирующие поэтапную работу в программе

На основании данной информации, для оценки экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты, а также для самостоятельного внедрения созданного программного продукта, реализующего ранее разработанный и описанный алгоритм, рекомендуется использовать программу «ТЭО-Инвест».

В таб. 2 представлено сравнение российских программных продуктов для оценки инвестиционных проектов.

Таблица 2

Анализ программных продуктов для оценки инвестиционных проектов

Критерии сравнения	Программный продукт		
	Альт-Инвест	Тэо-Инвест	Project Expert
Методы оценки	Учетные Динамические Биномиальная модель	Учетные Динамические Биномиальная модель	Учетные Динамические Биномиальная модель
Тип программы	Открытый (возможность редактирования)	Открытый (возможность редактирования)	Закрытый
Вариант расчета ставки дисконтирования	WACC	WACC CAPM CCM	WACC CAPM CCM
Одновременная удаленная работа	Есть возможность	Есть возможность	Есть возможность
Дополнительное ПО	Требуется	Требуется	Не требуется
Демонстрационные версии	Демоверсия	Демоверсия Trial-версия	Демоверсия Trial-версия Работающая версия программного продукта, доступная через Интернет
Возможность внедрения силами организации программного продукта, реализующего разработанный алгоритм выбора метода оценки эффективности инвестиций	Есть возможность	Есть возможность	Нет возможности (внедрение возможно только силами компании- разработчика)

*составлено автором

Литература

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования (утв. Госстроем РФ, Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госкомпромом России 31.03.94 N 7-12/47).
2. Гусейнова И.В. Применение моделей оценки опционов при анализе инвестиционной деятельности организации // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. 2019.
3. Лапин С.А. Использование программного обеспечения при оценке инвестиционных проектов // Журнал «Интерэкспо Гео-Сибирь». 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-programmnogo-obespecheniya-pri-otsenke-investitsionnyh-proektov> (дата обращения: 15.09.2019).

Морозова Ольга Владимировна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

студент группы №Т42301,

направление подготовки: 19.04.01– Биотехнология,

e-mail: Olchekboch@gmail.com

Забодалова Людмила Александровна

Год рождения: 1948

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

д.т.н., профессор,

e-mail: zabodalova@gmail.com

УДК 637.1

**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ
КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ОВСЯНЫМ
ЭКСТРАКТОМ В КАЧЕСТВЕ СТАБИЛИЗАТОРА**

О.В. Морозова

Научный руководитель– д.т.н., профессор Л.А. Забодалова

Аннотация

В данной работе было исследовано влияние овсяного экстракта на потребительские и технологические свойства кисломолочного продукта с заданными свойствами. В качестве функционального ингредиента был выбран овсяный экстракт, который так же является природным стабилизатором и источником β -глюканов. Частичная замена молочной основы растительным также решает проблему ресурсосбережения в условиях дефицита натурального молочного сырья.

Ключевые слова

Кисломолочный продукт, пробиотики, β -глюкан, сердечно-сосудистые заболевания, реологические свойства.

В современном мире одной из основных причин смерти являются сердечно-сосудистые заболевания. Заболеваниям этой группы подвержены люди различных социально-экономических классов, возрастных категорий и гендера по данным ВОЗ. Факторы развития риска сердечно-сосудистых заболеваний можно представить как некорректируемые (которые невозможно изменить) и корректируемые (поддающиеся коррекции). В первую группу относятся пол, возраст и наследственность. Доказано, что мужчины чаще страдают от сердечно-сосудистых заболеваний и впервые симптоматика обнаруживается в более молодом возрасте, чем у женского пола. Однако с возрастом, риск развития сердечно-сосудистых заболеваний увеличивается у представителей обоих полов. Наиболее подвержены сердечно-сосудистым заболеваниям люди с предрасполагающей наследственностью. Данный факт изменить невозможно и в таком случае необходимо разрабатывать индивидуальную программу профилактических мер. Отдельно можно выделить сахарный диабет как причину сердечно-сосудистых заболеваний. К корректируемым факторам относятся в основном дислипидермия (нарушение уровня холестерина или/и триглицеридов в плазме крови), гипертония (синдром повышенного систолического давления), курение, пониженная физическая активность, избыточный вес, психологический стресс и т.д. эти факторы

обуславливаются образом жизни человека, его социальной адаптированностью, а также уровнем организации информирования населения о необходимости профилактики заболеваний на государственном уровне [1].

Кисломолочная продукция популярна среди населения разных стран в виду своих уникальных органолептических характеристик и положительного эффекта оказываемого на состояние организма, в частности, на органы желудочно-кишечного тракта. Как правило для функционального питания характерно использовать пробиотические штаммы микроорганизмов в качестве закваски (*Streptococcus thermophilus*). Пробиотики оказывают влияние не только на микрофлору кишечника, но и на опорно-двигательный аппарат, нормализацию минерально-ионного обмена и усвоение витаминов [2]. Массовое потребление кисломолочной продукции является основной причиной, по которой разрабатываемый продукт был ферментированным.

С целью оптимизации ресурсосбережения в данной работе использовалось обезжиренное молоко как основа для кисломолочного продукта.

В качестве функционального ингредиента был выбран овсяный экстракт, который так же являлся природным стабилизатором и источником В-глюканов.

Концентрат сывороточных белков применялся с целью повышения биологической ценности белковой составляющей продукта.

Овсяный экстракт – однородная вязкая жидкость, светло-коричневого цвета с серым оттенком, полученная путём водной экстракции (мацерации). В виду того, что при экстракции в водную фазу переходят главным образом полисахаридные компоненты (В-глюканы и арабиноксиланы), при тепловой обработке (85°C) с последующим охлаждением наблюдается образование геля, прочность которого зависит от содержания сухих веществ в экстракте.

В-глюканы или 1,3:1,4-В-Дглюканы – специфичные водорастворимые высокомолекулярные полимеры глюкозы с гликозидными связями, способствующие снижению концентрации холестерина триглицеридов и глюкозы в крови, способствуют снижению массы тела, обладают онкопротекторными антимикробными, иммуномодулирующими свойствами [3].

Подобные физиологические эффекты объяснимы тем, что при попадании в ЖКТ повышается вязкость естественной среды толстой кишки и ее содержимого в момент переваривания пищи. Образованные слизи затрудняют ассимиляцию питательных веществ, главным образом углеводов, холестерина желчных кислот и их производных [4].

Концентрат сывороточных белков обладает ценными функциональными характеристиками, высокой питательной ценностью, в сравнении с казеином, что объяснимо повышенным содержанием серосодержащих аминокислот и незаменимых аминокислот (изолейцина, триптофана, лизина, тирозина). Использование КСБ придаёт определённые технологические свойства продукту, в виду хороших гидрофильных и липофильных свойств (N. Ertaş, et al, 2015).

В качестве сырья использовалось обезжиренное сухое молоко (производителя Bob'sRedMill, U.S.A.) Восстановление проводилось из расчёта содержания белка в восстановленном обезжиренном молоке 3%. Для этого необходимое количество сухого молока гидратировали отфильтрованной водопроводной водой при температуре $40 \pm 2^\circ\text{C}$ при непрерывном перемешивании до полного растворения сухого остатка на мешалке EUROSTAR 20 digital фирмы IKA (1000 об/мин) и оставляли на 2 часа для набухания белковой составляющей. Восстановленное молоко фильтровали через тканевый фильтр. В восстановленное обезжиренное молоко $t=37 \pm 2^\circ\text{C}$ вносится КСБ до содержания белка 6% при постоянном перемешивании до полного его растворения. С целью предотвращения коагуляции белка при тепловой обработке использовали смесь

солей лимонной и пирофосфорной кислот в количестве 0,6г на 1000г смеси (0,03%). Молочную белковую смесь подвергали температурной обработке при температуре $76 \pm 2^\circ\text{C}$ с выдержкой 15 мин с последующим охлаждением и хранением до востребования при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

Для получения овсяного экстракта использовали отруби овсяные по ГОСТ 21149-93. Экстракция проводилась методом мацерации при температурах 20,30,40°C. Гидромуль определяли опытным путём в пределах 1:1-1:10. Перед экстракцией овсяные отруби предварительно подвергались обработке в автоклаве при температуре $121 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 10 мин с целью предотвращения побочных ферментативных процессов, вызванных присутствующей посторонней микрофлорой (дрожжи, плесени и т.д). Время окончания экстракции определялось содержанием сухих веществ, массовая доля которых определялась арбитражным методом. Содержание сухих веществ в готовом экстракте должно быть не менее 9%, что позволит избежать порока водянистость в готовом продукте (сухие вещества обезжиренного молока – 8,8-9,2%). Данному требованию удовлетворяют образцы с гидромулями 1:4 и 1:5, однако решающим критерием выбора являлось определение содержания β -глюканов в данных образцах в соответствии с ГОСТ Р 57513-2017.

Таблица 1

Содержание В-глюканов в исследуемых образцах

Гидромуль	Температура экстракции	Содержание Сухих веществ, %	Содержание В-глюканов, %
1:4	20	$9,882 \pm 0,081$	$4,74 \pm 0,02$
	30	$10,407 \pm 0,022$	$5,02 \pm 0,01$
1:5	20	$8,312 \pm 0,023$	$3,72 \pm 0,03$
	30	$9,116 \pm 0,021$	$4,63 \pm 0,01$

Рациональными условиями экстракции были определены следующие параметры: температура – 20°C , гидромуль овсяные отруби: вода – 1:4. Определение белка в овсяном экстракте проводилось с использованием спектрофотометра ShimadzuUV-1800 при длине волны 280нм по ОФС.1.2.3.0012.15 и составляет $1,02 \pm 0,2\%$.

В подготовленную молочную белковую смесь при температуре $37 \pm 2^\circ\text{C}$ вносили овсяный экстракт в количестве 20%. Определение вносимого количества зависело от органолептических свойств готового продукта оцениваемых группой дегустаторов, состоящей из 28 человек, различных возрастных категорий и равной в процентном соотношении по гендерным признакам по выбранной гедонической шкале (рис. 1).



Рис. 1. Органолептическая оценка опытных образцов с различным содержанием овсяного экстракта

Рациональной дозой внесения была принята масса экстракта, соответствующая 20% от массы молочно-белковой смеси. Молочно-овсяная смесь подвергалась

пастеризации при $t=87\pm 2^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 30 сек. Режим пастеризации обусловлен способностью овсяного экстракта к гелеобразованию и конечными структурно-механическими свойствами готового продукта.

Выбор используемой закваски базировался на органолептической оценке) с использованием гедонической шкалы (рис. 2).



Рис. 2. Органолептическая оценка опытных образцов изготовленных на различных заквасках

Наилучшими органолептическими характеристиками обладает образец с использованием вязкого штамма термофильного стрептококка. Зависимость активной и титруемой кислотности в течение времени сквашивания представлены на рис. 3. В качестве контрольного образца бралась ферментированная молочно-белковая смесь. Процесс ферментации велся до достижения всеми образцами $\text{pH} = 4,55$ и значения титруемой кислотности не ниже 65°T . Контрольный и опытный образцы достигают заданных значений через 6 часов. Овсяный экстракт не ингибирует рост заквасочной микрофлоры. Стоит отметить, что после 3 часов ферментации консистенция опытного образца изменяется. По сравнению с контрольным образцом он имеет более прочный казеиновый гель, в то время как контрольный остаётся жидким. Исследования влагоудерживающей способности опытного образца отражены на рис. 4.

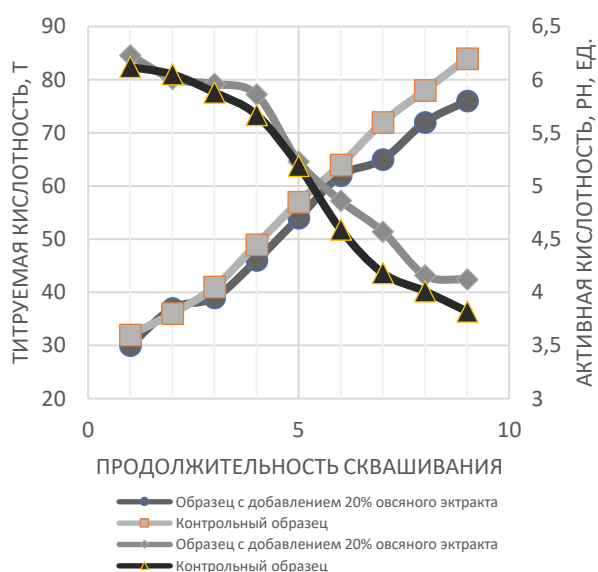


Рис. 3. Влагодерживающая способность опытного и контрольного образцов

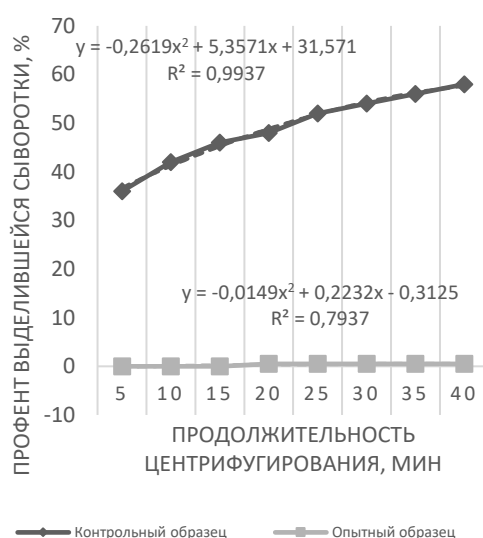


Рис. 4. Динамика кислотонакопления опытного и контрольного образцов

Применение стабилизаторов в данном случае В-глюканов повышает степень восстановления структуры и улучшает структурно-механические характеристики кисломолочного продукта (рис. 5, 6 и таб. 2).

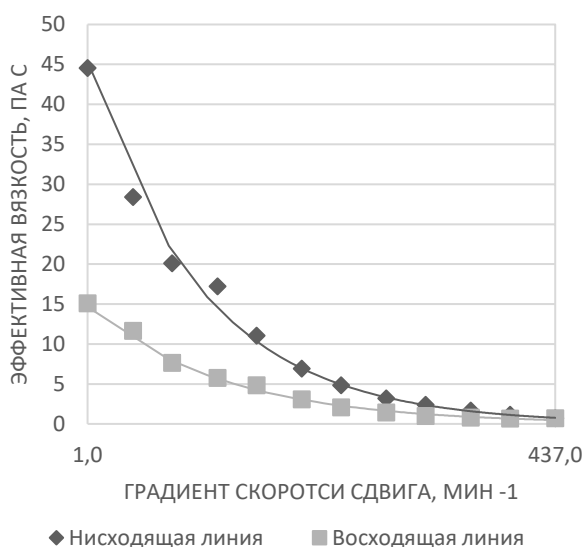


Рис. 5. Тиксотропные свойства образца с добавлением овсяного экстракта при 4°C

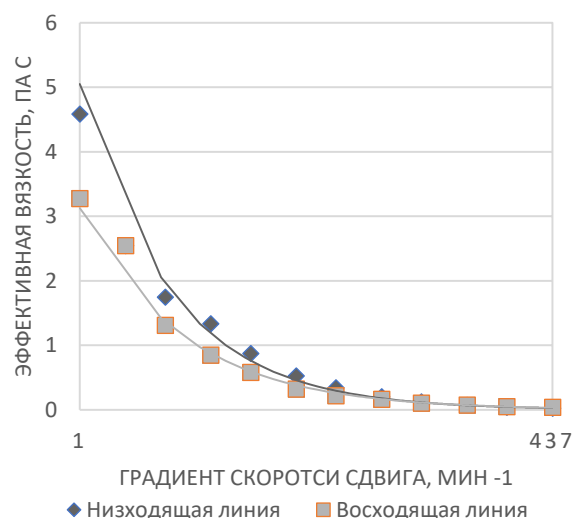


Рис. 6. Тиксотропные свойства контрольного образца при 4°C

Таблица 2

Тиксотропные характеристики контрольного и опытного образцов

Показатель	Значение	
	Опытный образец	Контрольный образец
Способность коагуляционной структуры к восстановлению, %	90,44	85
Коэффициент механической стабильности	1,11	1,18
Коэффициент потерь вязкости	9,56	15

Для установления срока годности полученные образцы кисломолочного продукта с овсяным экстрактом укупоривали в стерильных стеклянных банках вместимостью 110мл по 100г продукта и хранили при температуре $4\pm 2^\circ\text{C}$ при относительной влажности воздуха от 80 до 85%.

Срок хранения разрабатываемого продукта определялся по динамике изменения технологических и потребительских свойств, а также по микробиологическим показателям (рис. 7).

Коэффициент запаса выбирался в соответствии с МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» для продуктов со сроком годности до 30 суток включительно и равен 1,3. Опытный образец исследовали на 0,5,8,14,19сутки. Микробиологические значения на 19 суток хранения образца не нарушают норм, установленных в ТР ТС 033/2013. Рекомендуемый срок хранения составляет не более 14 суток при температуре $4\pm 2^\circ\text{C}$.

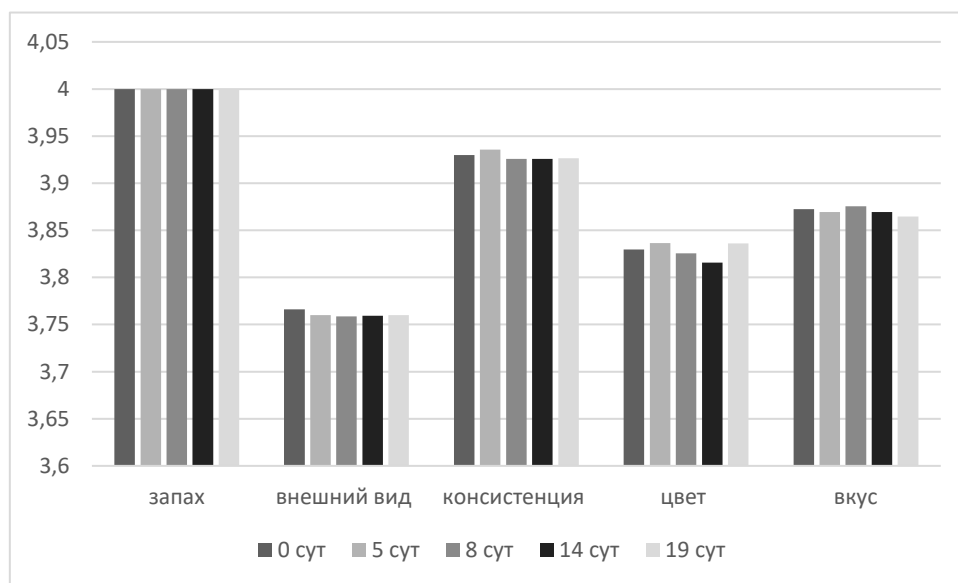


Рис. 7. Динамика изменения органолептических показателей опытного образца в процессе хранения при $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

Было исследовано влияние овсяного экстракта на потребительские и технологические свойства ферментированного обезжиренного молочного продукта. Полученные данные подтверждают, что использование экстракта в концентрации 20% не оказывает негативного влияния на органолептические свойства готового продукта, а также повышает его реологические свойства. Овсяный экстракт не оказывает влияния на развитие микроорганизмов стартовой культуры в течение ферментации. Наибольшее влияние экстракт оказывает на влагоудерживающую способность сгустка.

Литература

1. Крулев К.А. Заболевания сердца и сосудов. Профилактика и лечение / Крулев К.Н. СПб: Питер Пресс. 157с.
2. Gijs den Besten. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism/ Gijs den Besten, Karen van Eunen, Albert K. Groen, Koen Venema, Dirk-Jan Reijngoud, Barbara M. Bakker// J Lipid Res. 2013 54(9) P. 2325–2340.
3. Wood P.J. Cereal β -glucans in diet and health/ Wood P.J./J. Cereal Sci. 2008. 46(3) P. 230–238.
4. Petr Sima. β -glucans and cholesterol (Review)/. Sima P., Vannucci L., Vetvicka V.// International Journal of Molecular Medicine. 2018. P. 1799–1808.

Пилясова Дарья Дмитриевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

Институт Дизайна и Урбанистики,

магистрант группы № С42551,

направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика.

Управление государственными информационными системами,

e-mail: pilyasova.d@gmail.com

Кононова Ольга Витальевна

Год рождения: 1964

Университет ИТМО,

к.э.н., ординарный доцент ИДУ,

e-mail: kononolg@yandex.ru

УДК 004.415.2

АНАЛИЗ ДАННЫХ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ ГОРОДА В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ И КУЛЬТУРЫ

Д.Д. Пилясова

Научный руководитель – к.э.н., доцент О.В. Кононова

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы проектирования и реализации банка цифровых решений для проектов городских цифровых инициатив и проектов Умный город. Идея создания банка цифровых решений возникла как следствие того факта, что при наличии планов и программ по цифровизации городов или отдельных городских сфер деятельности на федеральном и региональном уровнях, отсутствуют и опыт реализации цифровых решений на местах, и инструмент для интеллектуальной поддержки и осознанного выбора цифровых решений. Результаты сравнительного анализа городских практик, учитывающих местные особенности – характеристики, определяющие уникальность городской экосистемы, позволили максимально адаптировать продукт к потребностям пользователей. Банк цифровых решений имеет широкое применение, хотя проектировался в первую очередь для нужд сферы образования и культуры. Особенности реализации банка цифровых решений являются: учет опыта создания подобных продуктов с учетом потребностей сфер образования и культуры; использование типологизации городов, взявших курс на цифровизацию; использование идентификаторов Дублинского ядра для формирования структуры и мета-описания банка; конструктивные решения, обеспечивающие оптимальные показатели скорости ответа на запросы и гибкость системы.

Ключевые слова

Банк цифровых решений, Умный город, Образование, Культура, Архитектура умного города, Типология городов.

К цифровому развитию городов можно также отнести как отдельные инициативы и проекты, так и всеобъемлющие проекты, выполняемые в соответствии с программой «Умный город». Программа «Проект Цифровизации городского хозяйства «Умный город»» [1] реализуется при поддержке Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации в рамках национальных проектов «Жилье и городская среда» и «Цифровая экономика».

Акцентирование внимания в исследовании на сферы образования и культуры

обусловлено не только необходимостью их развития, за счет применения цифровых технологий поскольку анализ показал, что как в мировой, так и в Российской практике, этим сферам уделяется недостаточно внимания (таблица), опыт цифровизации этих сфер УГ разобщен и не систематизирован.

Несмотря на то, что образование и культура не являются первоочередными сферами, за которые берутся городские власти и инициативные группы, участвующие в реализациях проектов УГ, эти сферы имеют высокую общественную значимость и интерес со стороны горожан. Это доказывает проведенное в рамках проекта «Умный Санкт-Петербург» социологическое исследование, которое показало, что жители Санкт-Петербурга заинтересованы в развитии социальной сферы при реализации проекта «Умный город Санкт-Петербург» [2]. Один из 5 принципов программ «Умный город» также декларирует ориентацию на человека и его потребности, что подтверждает актуальность исследования и предлагаемого проектного решения.

Таблица

Процент городов, развивающих сегменты

Умный город (УГ): Сферы реализации	Количество городов (%), реализующих проект УГ по сферам
Экономика	66%
Образование	72%
Энергетика	50%
Вода и санитария	33%
Окружающая среда	72%
Финансы	33%
Управление	77%
Здравоохранение	83%
Отдых	72%
Культура	50%
Безопасность	38%
Кров	55%
Телекоммуникации и инновации	50%
Транспорт	100%
Градостроительство	66%
Сточные воды	27%

Проведя анализ развития регионов в России и мире было выявлено, что сферам образования и культуры уделяется недостаточно внимания, поскольку данные сферы являются сложными для цифровизации, в связи с их высоким социальным фактором. Однако, все-таки существует множество удачных примеров решений, реализованных в рамках различных проектов. Именно поэтому возникает необходимость агрегировать и неким образом систематизировать подобные примеры. Для этого был разработан банк цифровых решений в сферах образования и культуры, который, в последствии можно будет расширить на любые необходимые сферы.

Банк цифровых решений, разработанный для сфер образования и культуры, является универсальным инструментом поддержки принятия решений в области городского управления. Банк позволяет ознакомиться с наиболее удачными цифровыми решениями и подобрать те, которые гармонично впишутся в существующую экосистему.

Исследователи работают над определением общей архитектуры умного города, чтобы облегчить разработку и внедрение информационных и коммуникационных

технологий умных городов в будущем. Проведя анализ архитектур УГ [2-6], и принимая во внимание цели умных городов и показатели, обозначенные в стандартах, были выделены следующие минимально необходимый набор элементов архитектуры УГ для последующего рассмотрения применения для моделирования архитектур образования и культуры, состоящих из: слоя технических элементов; слоя передачи данных; слоя работы с данными; слоя интерфейсов и технологий; слоя потребителей. Архитектура умного города представлена на рис. 1.

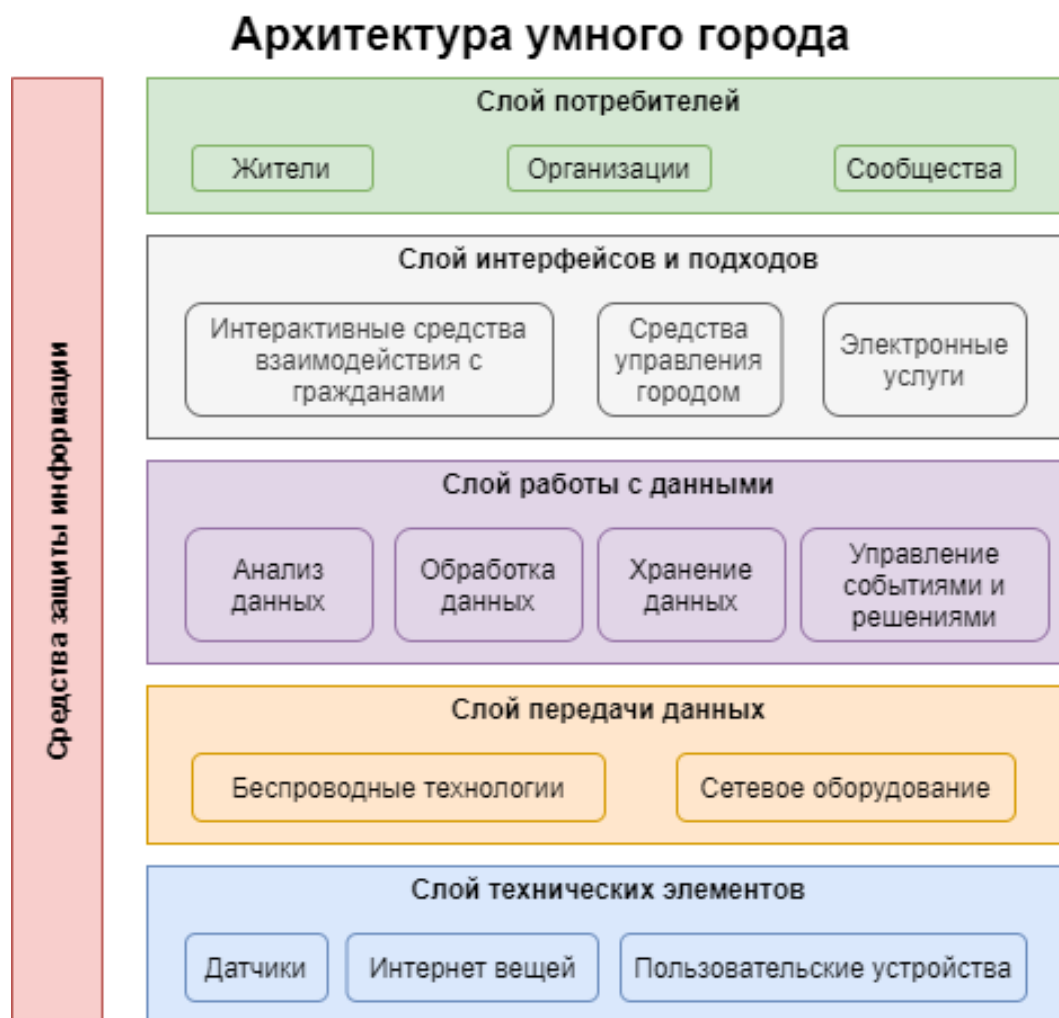


Рис. 1. Архитектура Умного города

Отличительной особенностью предложенного подхода к описанию архитектуры является: заполнение таблиц производится «сверху вниз с 1 по 5 слой», т.е. в первую очередь выявляются заинтересованные стороны (слой потребителей), далее выявляются предлагаемые для каждого из них существующие или внедряемые на рынке интерфейсы и подходы, при этом интерфейсы включают в себя один или несколько подходов, затем описывается работа с данными в каждом из них, и в последнюю очередь выявляются применяемые технологии передачи данных и технические элементы. Дублирующий элемент не записывается повторно [7].

Для банка решения были собраны все найденные подходы к классификации, а также предусмотрена возможность добавления новых, если такая необходимость возникнет. Благодаря этому появляется возможность наиболее полно описать город, используя систему «тегов» - характеристик, описывающих особенности города.

Рассмотрев город можно получить наиболее полное представление о потребностях и особенностях. Изучив потребности и особенности необходимо сформировать рекомендации для реализации проектов «Умный город». Для этого можно воспользоваться «Банком решений» - списком успешных практик, применяемых для реализации проекта. Упомянутый ранее «Банк решений Умного Города» и созданный при поддержке Министра России содержит реестр проектов (на ноябрь 2019 года их всего 358), обязательным условием размещения в котором является то, что проект уже должен быть реализован на территории РФ. Таким образом отсеивается большой пласт общемировых успешных практик. Также на платформе нет возможности фильтрации проектов, относящиеся к сферам образования и культуры, и отсутствует функция подбора проектов в зависимости от особенностей города.

Банк цифровых решений в сферах образования и культуры должен являться единым централизованным ресурсом, в котором размещены данные о успешных проектах, реализованных в рамках проектов цифровизации в сферах образования и культуры. Система должна позволять производить поиск по различным критериям, а именно: город реализации, тип города, тип решения, название, сфера, стоимость реализации. Публикация решения возможна только при предоставлении полной информации о нем, при этом система сама производит классификацию и разметку документа. Для понимания вектора развития сфер образование и культура в рамках определенного города необходимо определить особенности города, потребности и рассмотреть уже имеющийся опыт. Для определения особенностей города можно воспользоваться одной из предложенных в системе классификаций.

Основываясь на типе города можно отобрать лишь те решения, которые будут вписываться в основное направление городского развития. Также для определения особенностей города можно воспользоваться архитектурным подходом. Исследователи работают над определением общей архитектуры умного города, чтобы облегчить разработку умных городов в будущем. Однако возможность определения универсальной архитектуры «умного города» для развертывания в реальном мире далека от реальности, хотя теоретически выполнима. Резкие изменения в требуемых функциях от города к городу ограничивают универсальную архитектуру.

Исходя из анализа рассмотренных решений и принимая во внимание опыт реализации существующих банков цифровых решений были выделены следующие общие и необходимые элементы для описания цифровых решений в сферах образования и культуры: название; владелец; описание; источник; язык; информация о реализации; затраты; эффекты; дата начала реализации; дата окончания реализации; дата публикации. Также для выполнения задач поиска решения по характеристикам города необходимо иметь информацию о городе, в котором реализуется решение, его характеристиках и особенностях.

Решения, которые размещаются и хранятся в банке представляют собой описание проектов, реализованных в рамках программ и проектов цифровизации городских сфер, в первую очередь для сфер образование и культура. Для удобного поиска решения предусмотрена возможность фильтрации кейсов по выбранной сфере. Решение должно быть полно и понятно описано. Для того, чтобы сформировать мета-описание решения были проанализированы 158 решений, относящихся к сферам образования и культуры, и было выявлено, что существуют как достаточно часто встречающиеся поля (такие как название, язык и т. д.), так и достаточно редкие (например, экономические эффекты).

Для разработки структуры и мета-описания цифровых решений, размещаемых в банке цифровых решений, используется семантическая сеть основных понятий английского языка, предназначенный для унификации метаданных – Дублинское ядро («DublinCore»). Набор элементов метаданных DublinCore представляет собой словарь, состоящий из элементов, используемых для описания ресурсов. Набор описываемых

свойств носит общий базовый характер и может быть использован для описания самых разных ресурсов. Для описания решения были использованы такие параметры как: название, владелец, описание, источник, язык. Использование Дублинского ядра позволило унифицировать описание решения и избежать избыточности информации. Данная структура обеспечивает полноту данных и позволяет искать по любому столбцу, комбинации столбцов, производить любые операции, в том числе и контекстный поиск.

Диаграмма физической модели базы данных, разработанная в нотации EER представлена на рис. 2.

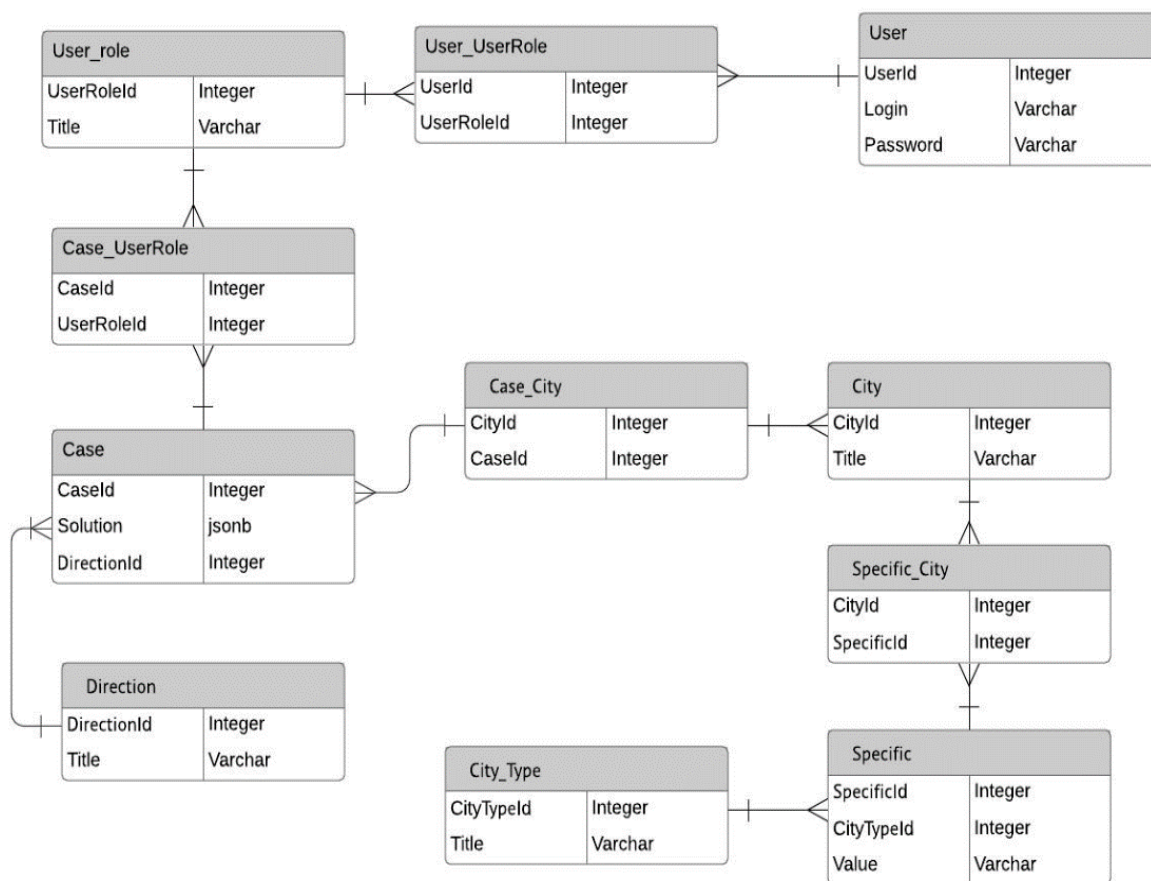


Рис. 2. Физическая модель данных

На основании логической информационной модели произведена разработка проекта базы данных с учетом особенностей генерирования данной модели на сервер PostgreSQL. Для проектирования использовался инструмент PgAdmin версии 4.19.

Поле Solution формата jsonb позволяет достичь необходимой гибкости. Во-первых, обеспечивается достаточно произвольный формат данных (например, можно в поле окончания написать дату, а можно текст или ничего не писать). Во-вторых, это добавляет гибкости – можно некоторое количество «решений» написать в одном формате, а в последствии, из-за каких-либо причин, изменить формат, при этом не придется менять структуру таблицы (добавлять колонки, удалять колонки, обновлять данные). Таким образом в json можно писать любую информацию в любом удобном виде, и обработку этой информации переложить на код.

Компонентная архитектура системы представлена на рис. 3.

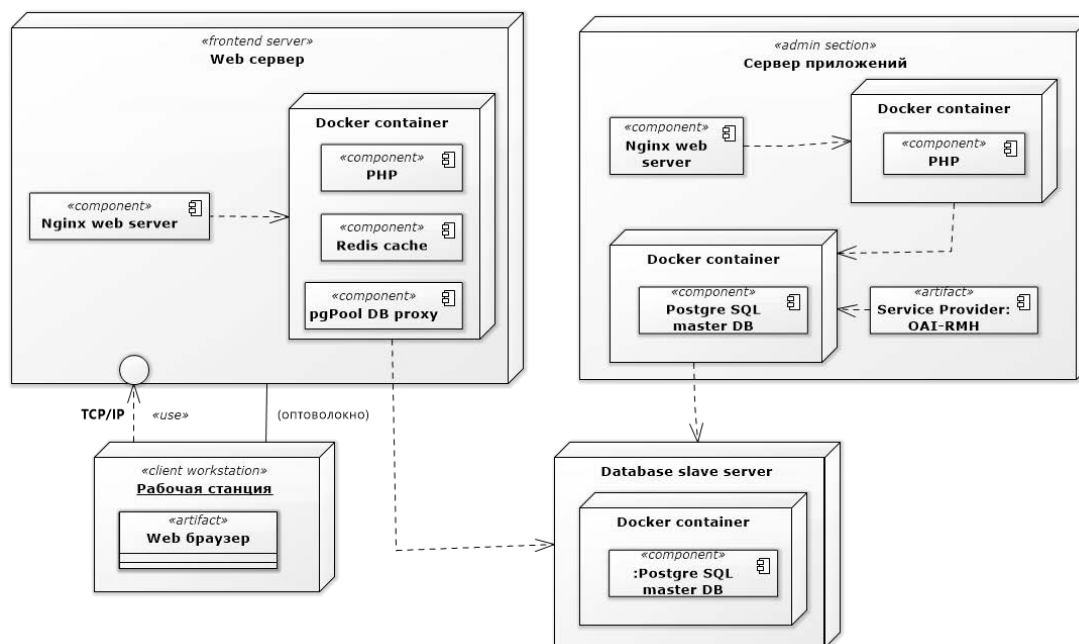


Рис. 3. Диаграмма развертывания информационной системы
Банк цифровых решений в сферах образования и культуры

Для реализации связи СУБД, используемой в информационной системе с прикладной программой, требуется профессиональное администрирование: для обеспечения информационного обмена между компонентами внутри системы требуются локально-вычислительная сеть.

Контейнеризация позволяет быстро разворачивать части приложения (к примеру, поднять быстро N фронт-серверов или N реплик БД) и быстро и надежно их перемещать между физическим железом, если возникает такая необходимость. Кроме того, это позволит, к примеру, на одной физической машине поднять несколько узлов разом (к примеру, на одном сервере с высокими характеристиками запустить все узлы системы). Использование master-slave репликации позволяет записывать данные всегда только в мастер, а получать - из необходимого количества слейвов. Мастер нужно поместить в контейнер, чтобы его быстро можно было перемещать при необходимости (например, перевезти в другой датацентр), а слейвы в контейнерах нужны прежде всего, для того, чтобы быстро их разворачивать. Master-slave репликация увеличивает пропускную способность всего решения в целом и добавляет отказоустойчивости.

Фронт-сервер нужно контейнеризовать таким образом, чтобы внутри одного контейнера был исполняемый код (PHP), кэш данных для него (redis) и прокси, который знает про все слейвы (pgpool). А находиться в одном контейнере они должны для того, чтобы исключить сетевые задержки между узлами контейнера - ситуацию, при которой понадобится отдельно держать код, а отдельно прокси для базы данных, представить невозможно. Практичнее будет развернуть прокси и кэш на локальном сокете рядом с исполняемым кодом.

Научными результатами исследования являются: архитектура для рассмотрения умных городов, структура и мета-описание цифрового решения на базе метаданных Дублинского ядра, и научно-практическими – Банк цифровых решений, являющийся одним из инструментов, который можно использовать при реализации проектов в сфере образования и культуры в рамках программ цифровизации регионов и проектов Умный город. Банк цифровых решений города опубликован в открытом доступе (с апреля 2020 г., по адресу <http://84.38.184.213:8100/>) в тестовом режиме. Для обеспечения поиска

решений, в зависимости от особенностей региона, была введена система «тегов» для типологизации городов. Для мета-описания были использованы идентификаторы Дублинского ядра, что позволило описать решение избежав избыточности информации. Также при проектировании были применены ряд конструктивных особенностей, обеспечивших оптимальные показатели скорости ответа на запросы и гибкость системы.

При проектировании банка цифровых решений были учтены опыт создания банков решений – ЭБД кейсов политической геймификации, База практик умного города, созданная ICT.MOSCOW и ДИТ Москвы, «Банк решений Умного города» МСиЖКХ РФ, проанализированы их достоинства и недостатки. Хотя БЦР проектировался и разрабатывался применительно к сферам образование и культура, но структура и архитектура системы позволяет использовать его и в других сферах. Система позволяет хранить, систематизировать и анализировать решения, а также является открытой и бесплатной.

В перспективе базовые программно-технологические и методические решения, примененные при разработке банка цифровых решений для сфер образования и культуры, можно адаптировать для любой из сфер городской деятельности.

Литература

1. Проект цифровизации городского хозяйства «Умный город» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.ru/trades/gorodskaya-sreda/proekt-tsifrovizatsii-gorodskogo-khozyaystva-umnyy-gorod/> (дата обращения 12.05.2020).
2. Приложение №2 к концепции внедрения технологий умного города в Санкт-Петербурге «Умный Санкт-Петербург» Проблемный анализ ситуации в Санкт-Петербурге // Санкт-Петербург. 2018.
3. Митягин С.А., Карсаков А.С., Бухановский А.В., Васильев В.Н. «Умный Санкт-Петербург»: комплексный подход к внедрению информационных технологий управления мегаполисом // «Вестник Электроники». 2019. №1. (65).
4. Gaura B., Scotney G., Parra S. McClean Smart City Architecture and its Applications based on IoT // The 5th International Symposium on Internet of Ubiquitous and Pervasive Things. 2015.
2. Cisco, официальный сайт компании [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cisco.com/c/dam/m/ru_ru/internet-of-everything-ioe/iac/assets/pdfs/celc-iggirkin-smartcity-overview.pdf (дата обращения 30.03.2019).
3. Robinson R., The new architecture of Smart Cities. URL: <https://theurbantechnologist.com/2012/09/26/the-new-architecture-of-smart-cities/> (дата обращения 05.04.2019).
4. Bhagya N.S., Murad K., Kijun H., Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities // Sustainable Cities and Society. 2018.
5. ProIoT: ICT.MOSCOW и ДИТ Москвы создали базу практик умного города [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pro-iot.pro/materials/iot-rynok/news/ict-moscow-i-dit-moskvy-sozdali-bazu-praktik-umnogo-goroda/> (дата обращения: 28.01.2020).
6. «Банк решений Умного города» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russiasmartcity.ru/> (дата обращения: 13.03.2020).
7. База практик умного города [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ict.moscow/projects/smart-cities/> (дата обращения: 13.03.2020).

Сидорова Светлана Игоревна

Год рождения: 1996 год

Университет ИТМО,

Институт международного развития и партнерства,

студент группы № D42001,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика, Искусство и наука / Art&Science,

e-mail: Sidorova.svetlana.ig@mail.ru

Озерков Дмитрий Юрьевич

Год рождения: 1976 год

Университет ИТМО,

Институт международного развития и партнерства,

к.ф.н., профессор,

e-mail: dimitri.ozerkov@gmail.com

УДК 7.067

**ФИЗАРУМ–ПРЕДСКАЗАТЕЛЬ:
МИСТИФИКАЦИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

С.И. Сидорова

Научный руководитель – к.ф.н., профессор Д.Ю. Озерков

Аннотация

В рамках магистерской диссертации проведено художественное исследование, включающее краткое описание истории верований и мистики, анализ влияния СМИ и избыточной информации на сознание и реальность. В рамках изучения взаимосвязи между рациональным и мистическим раскрыты темы технофобии и спекуляции в научном искусстве, в частности, в биоарте. Результатом работы над дипломным проектом является создание арт-объекта «Физарум–предсказатель», включая разработку специального программного обеспечения и создание внешней конструкции.

Ключевые слова

Научное искусство, технологическое искусство, physarumpolycephalum, технофобия, мистика в искусстве.

В рамках магистерской диссертации было проведено художественное исследование феномена эклектичности и противоречивости современного мировоззрения, влияния науки, технофобии и мистики на его формирование [1-3], а также подняты вопросы приватности в эпоху дигитализации. Актуальность проекта обоснована возрастающим социальным напряжением, росту которого способствуют многочисленные вызовы общемирового масштаба (экологические, экономические, политические), информационный шум и проблемы в сфере интернет этики [4]. Последний пункт является важным, так как социальное напряжение проявляет себя наиболее ярко именно в интернете. Как следствие возрастает потребность людей в патернализме различного характера: со стороны науки, религии, мистики, лидеров мнений. В свою очередь это ведет к манипуляциям, подчинению и застою во всех сферах человеческой деятельности.

Первая версия проекта была разработана в ноябре 2019 года в составе арт-группы BIOROBOTY019. Проект был представлен на международном фестивале медиаискусства Киберфест-12. Учитывая данный опыт, одной из задач магистерской диссертации стало усовершенствование объекта: модификация конструкции, доработка программного обеспечения и более глубокая проработка концептуальной

составляющей.

Исследование включает краткое описание истории верований и мистики [5], их влияние на культуру и общую картину мира современников, а также отражение в искусстве. В данной работе подчеркиваются актуальные тенденции на мистификации в современном искусстве. Примерами выступают работы «zoltan» Дмитрия Морозова ::vtol::, «TheShapeofTime, Reconsidered» Энни МакДонелл, «Fortune-telling/Re-telling» Салли Вотерман, «Dr.Cogona» художника Ю Фан (YuFun). Именно в эпоху потрясений и нестабильности людям свойственно обращаться за поддержкой к нетрадиционным авторитетам – оракулам, предсказателям, астрологам. Социальное напряжение, возникшее вследствие пандемии коронавирусной инфекции и последовавшего экономического кризиса, дополнительно актуализирует проект. Кроме того, это первый глобальный кризис, в котором невероятно высоко влияние компьютерных технологий и интернета. Все это является благодатной почвой для проведения художественного исследования, в центре которого располагается оракул, убеждающий зрителя в своей тотальной компетенции со стороны науки, современных технологий, высшего разума и сверхъестественной сущности.

В рамках изучения взаимоотношений рационального и мистического затронуты темы технофобии и спекуляций в научном искусстве, в частности – в биоарте. На примере кейса с *physarumpolycerphalum* (рис. 1) проанализирована ситуация возникновения медийной истерии вокруг незнакомого широкой публике существа или явления, в данном случае – “мистического” слизевика. Продемонстрирована ситуация, когда отсутствие свободного доступа к научным знаниям, подавленная способность широких масс к критическому мышлению, а также умелые маркетинговые манипуляции (в том числе при помощи ореола элитарности у современного искусства) ложатся в основу успешных проектов массового и популярного искусства.



Рис. 1. *PhysarumPolycerphalum* на коре дерева

Результатом работы над проектом стало создание арт-объекта «Физарум–предсказатель». В процессе создания объекта можно выделить два основных направления: разработка специфического программного обеспечения и создание внешней конструкции. В основе программного обеспечения заложены уже имевшиеся разработки первой версии проекта. Авторами исходной программы являются Святослав Пономарев и Алексей Зубаков. Программное обеспечение для данного проекта было

разработано Александром Караваевым, бакалавром Факультета систем управления и робототехники Университета ИТМО. Работы по созданию внешней конструкции были выполнены совместно с Алексеем Фесковым, сотрудников центра Науки и Искусства Университета ИТМО.

Арт-объект «Физарум–предсказатель» является интерактивным и предполагает взаимодействие со зрителем как важную часть художественного высказывания. Визуально объект представляет из себя магический лабораторный бокс, в оформление которого используются образы, свойственные научной лаборатории и атрибутике гадалки. Объект предполагает одновременное взаимодействие только с одним зрителем, что закрепляется оформлением фронтальной плоскости объекта.

Далее приведен сценарий взаимодействия с арт-объектом. Перед началом сеанса на экране объекта отображается фраза “Активировать предсказатель”, мелким шрифтом написана дополнительная информация о взаимодействии. Помимо прочего в ней указано, что нажимая на кнопку, зритель разрешает автору объекта произвести фотосъемку ладони и лица зрителя, а также использовать эти фотоснимки по своему усмотрению.

После того, как зритель активирует предсказатель, ему предлагается положить руку на сканирующее устройство. Происходит сканирование ладони, автоматическая обработка изображения и вывод его на экран. Далее поверх изображения ладони воспроизводится визуализация разрастания *physarumpolycephalum*, которая генерируется на основе кода, созданного немецкой художницей Терезой Шуберт, работающей в области биоарта.

Данная визуализация забирает на себя внимание зрителя, в то время как веб-камера, встроенного в объект, делает портретный фотоснимок зрителя. Данный фотоснимок перехватывается программным обеспечением, созданным для проекта. Данная программа загружает фотографию на сервис FindClone, который по закрытым алгоритмам производит скрининг фотографии и находит совпадающие с ней снимки в социальной сети «ВКонтакте». Тем временем на экране отображается сгенерированное предсказание. Завершает предсказание фотография, которая была найдена программой в социальной сети «ВКонтакте». Вторжение в личное пространство в поисках необходимой информации является важнейшим приемом предсказателей. В данном проекте публичная демонстрация личных фотографий используется не только в качестве отсылки к традиции сеансов гадания, но также поднимает вопросы интернет-приватности и влияния персонализации информации на ее восприятие.

Предсказания создаются текстовым генератором. При составлении библиотек для генератора были использованы цитаты из следующих типов источников: онлайн гороскопы, правила использования данных пользователей Продуктов Facebook и сайта VK.com, ресурсы, посвященные хиромантии, периодические издания по философии, пресс-релизы выставок и экспликации к произведениям современного российского искусства. Эклектичное и абсурдное предсказание является текстовой метафорой к современному мировоззрению. Предсказание иллюстрирует распространённый сценарий поведения в интернете: бесцельный скроллинг сайтов с гороскопами, сохранение в закладках очередной статьи по современной (без цели прочтения), проставление лайков пресс-релизам многочисленных онлайн-выставок, игнорирование оповещений о политике использования данных. Абсурдность и ироничность предсказания призваны привлечь внимание зрителя и подтолкнуть к критическому осмыслению процесса получения и обработки информации (рис. 2).

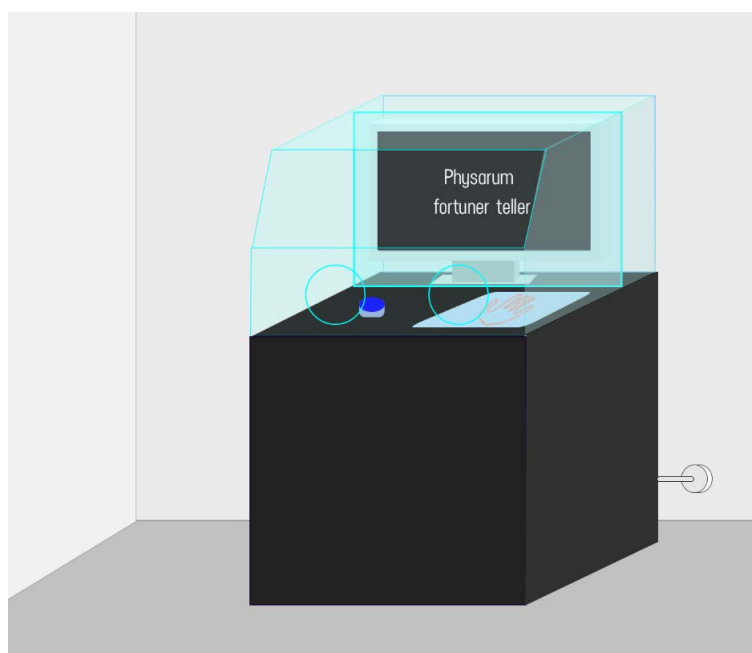


Рис. 2. Эскиз арт-объекта «Физарум предсказатель»

Пользуясь популярностью био-арт повестки, «Физарум–предсказатель» использует “загадочный” *PhysarumPolycephalum* в качестве наживки. Такой прием регулярно используют фокусники и гадалки во время своих представлений. Проект делает ставку на доверчивость зрителей, нейтрализует их бдительность уверениями в научности агрегата. В качестве подтверждения объект сканирует ладонь зрителя, пробуждая в воспоминании сюжеты о технологичных биометрических аппаратах. После чего по изображению ладони начинает разрастаться “дикий организм”, которое ученые активно используют в своих экспериментах. Наличие у зрителя даже призрачной веры в судьбу и мистику, помноженное на такие псевдонаучные уловки, обезоруживает его и окончательно заманивает в свои спекулятивные сети.

«Физарум–предсказатель» демонстрирует эклектичность мировоззрения современного человека, а также является карикатурным воплощением спекуляций в научном искусстве. Твердая вера в научный прогресс и сопричастность к информационному и технологическому прогрессу запросто уживаются в наших современниках с соблюдением суеверных ритуалов и тягой к мистике, более того, дополненными по инерции базовыми религиозными установками. Арт-объект паразитирует на популярных веяниях современного искусства, стремящегося быть научным (информационные технологии, биоарт), воздействует одновременно на противоположные основы человеческих убеждений и таким образом вводит зрителя в состояние внутренней дезориентации, нейтрализует попытки критического осмысления происходящего. Возбуждение такого состояния является главной задачей интерактивного объекта. Таким образом проект призван оставить у зрителя впечатления не о себе как таковом, а об опыте взаимодействия с ним для последующей оценки собственного состояния и поведения в момент скрытой манипуляции.

«Физарум–предсказатель» демонстрирует преимущества междисциплинарного подхода к изучению сложных тем, затрагивающих проблемы технического и философского характера. Будучи проектом в области научного искусства, эта работа сочетает в себе результаты разработки программного обеспечения, инженерии и художественных исследований.

Литература

1. Адорно Т.О технике и гуманизме [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gtmarket.ru/laboratory/expertize/3132/3140> (дата обращения: 10.03.2020).
2. Мамфорд Л. Миф машины. Техника и развитие человечества / Пер. с англ. Азаркович Т., Скуратова Б.М.: Логос. 2001. 416 с.
3. Эллюль Ж. Технологический блеф. М.: Высшая школа. 1995. с. 265.
4. Серкова Н. Мистика низкого сорта. Искусство и ситуация пост-правды [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://syg.ma/@natalya_serkova/mistika-nizkogho-sorta-iskusstvo-i-situatsiia-post-pravdy (дата обращения: 18.04.2020).
5. Леви-Брюль Л. Сверхъестественное в первобытном мышлении / Пер. с фр. Шаревской Б.И. Академический проект. 2015. 428с.

Сундквист Ян Владимирович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42331,

направление подготовки: 15.04.06 – Интеллектуальные технологии

в робототехнике,

e-mail: ivsundkvist@itmo.ru

Колюбин Сергей Алексеевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н., доцент,

e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 62-231, 62-503.57

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО
РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ
ПРОТЕЗИРОВАНИЯ КИСТЕЙ РУК**

Я.В. Сундквист

Научный руководитель – д.т.н., доцент С.А. Колюбин

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

Аннотация

Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного роботизированного комплекса для протезирования кистей рук. В состав комплекса входят: прототип адаптивного мехатронного протеза кисти, его система управления с интегрированным мультимодальным человеко-машинным интерфейсом и интерактивной цифровой моделью протеза. Преимуществами данного комплекса является – повышенная функциональность протеза, увеличенная скорость обучения управлению протезом, многоканальная сенсорная обратная связь с пользователем.

Ключевые слова

Кистевой протез, исполнительный механизм, механическая адаптивность, мультимодальный человеко-машинный интерфейс, обратная связь, интерактивная цифровая модель.

В настоящее время у достаточно большого количества людей есть врождённые или приобретённые травмы верхних конечностей. По данным протезно-ортопедических предприятий ежегодно в РФ около 30000 человек нуждаются в их протезировании.

Однако, несмотря на большое количество различных конструкций, механизмов и систем управления [1] – освоение человеком современных протезов в настоящее время всё ещё остаётся достаточно длительным и сложным процессом.

Функционал протезов не позволяет произвести полноценную замену, вследствие чего некоторые пациенты отказываются от протезирования также ввиду возможных последующих неудобств в использовании данного устройства.

Наиболее известные на сегодняшний день протезы – Bebionic (OttoBock), i-Limb (TouchBionics) и Vincenthand (VincentSystems) имеют антропоморфную конструкцию и

сопоставимые массогабаритные характеристики. Перечисленные выше протезы являются адаптивными только за счёт системы управления [2], что в свою очередь усложняет процесс обучения и использования данного устройства в повседневной жизни. Протезы, являющиеся же адаптивными за счёт механики –MichelangeloHand и SensorHand (оба OttoBock), SoftHand (qbrobotics) существенно уступают по своему функционалу и возможностям. Хотя SoftHand не является протезом, но входит в группу антропоморфных адаптивных захватов, имеющих схожие массогабаритные показатели с рукой человека.

Также большинство современных протезов не обладают системами обратной связи (ОС) с пользователем, что значительно усложняет контроль силы схвата. Проанализированные виды обратных связей (вибротактильная, визуальная, электротактильная, тактильная и звуковая) могут оповещать человека о прикосновении к предмету и уровне силового воздействия, прикладываемого к нему [3]. При использовании ОС мы воздействуем на разные рецепторы и отделы головного мозга. Комбинируя сразу несколько видов ОС, мы получим мультимодальный человеко-машинный интерфейс, дающий общее улучшение результатов по управлению протезом, т.к. будем воздействовать на большее количество каналов связи с телом человека.

К тому же существует проблема скорости обучения человека пользованию протезом, что является немаловажным аспектом в период реабилитации и адаптации к протезу. В настоящее время разработано большое количество реабилитационных платформ на основе игр [4, 5]. Многие из них позволяют улучшить тонус мышц и привыкнуть к наличию протеза [6, 7]. Но данные платформы не предусматривают использование антропоморфного протеза, имеющего несколько захватных движений. Отработка движений со всем процессом настройки на таких платформах затруднена.

Целью работы является разработка роботизированного комплекса для протезирования кистей рук, представляющего собой кистевой протез, его систему управления с интегрированным МЧМИ и интерактивную цифровую модель протеза. Задачами разработки становятся – повышение функционала протеза, упрощение системы управления, увеличение скорости обучения и обеспечение пользователя сенсорной информацией.

Для упрощения конструкции количество степеней свободы каждого пальца было уменьшено с трёх до двух. Средняя и дистальная фаланга объединены в одну, угол между ними фиксирован на 20° . Следовательно, каждый палец содержит только две фаланги - проксимальную и дистальную. При проектировании конструкции протеза на каждый палец используется по одному электродвигателю с целью сохранения возможности воспроизводить различные жесты. Расположение исполнительных механизмов пальцев внутри корпуса ладони позволяет использовать более мощные электродвигатели, что увеличит крутящий момент в фалангах пальцев, а также даст возможность уменьшать габариты пальцев при разработке протезов меньших размеров. Также внутри пальцев остаётся больше пространства для возможности размещения в них датчиков для системы обратной связи. При разработке соблюдались требования по геометрическим размерам кисти человека - не более 200x100x50 мм.

Исполнительный механизм (рис. 1) состоит из электродвигателя (1), ведущего зубчатого колеса (2), ведомого зубчатого колеса (3), червячного винта проксимальной фаланги (4), зубчатого шкива (5), фрикционной шайбы (6), ответного шкива дистальной фаланги (7), червячного винта дистальной фаланги (8).

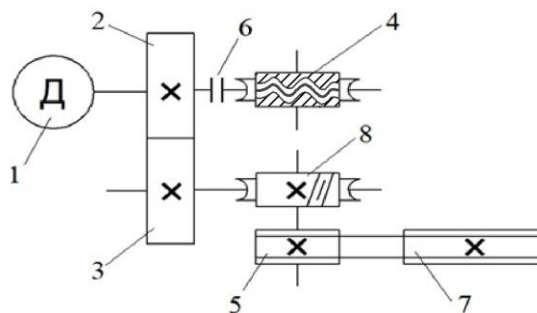


Рис. 1. Кинематическая схема разработанного привода

Активирование движения пальцев происходит через комбинацию червячных, цилиндрических зубчатых передач и тросовой передачи. Механизмы проксимальной и дистальной фаланги связаны через цилиндрическую зубчатую передачу (2-3). Дистальная фаланга связана с зубчатым шкивом 5 через трос.

Во время нормальной работы электродвигатель 1 передаёт вращение в направлении против часовой стрелки и приводит в движение ведущее 2 и ведомое 3 зубчатые колеса, которые в свою очередь передают движение червячным винтам 7 и 8, вследствие чего палец начинает сгибаться. Ведомое зубчатое колесо 3 и червячный винт 8 склеены между собой. Червячный винт 7 имеет внутреннюю правостороннюю резьбу и связан с ведущим зубчатым колесом 2 через фрикционную шайбу 6, закреплённую на нём клеевым соединением. Также данное соединение имеет в своём составе “скрытый” элемент – установочный винт DIN 916 M4. Это соединение элементов является очень важным в данном механизме, так как оно обеспечивает Кулоновское трение, которое не даёт ведущему зубчатому колесу 2 прокручиваться относительно червячного винта 7, тем самым препятствует выкручиванию болта.

Изначально ведущее зубчатое колесо 2 и червячный винт 7 двигаются вместе (рис. 2-а). Когда проксимальная фаланга контактирует с какой-либо поверхностью или объектом (рис. 2-б) момент на червячном винте 7 превышает момент Кулоновского трения, в результате чего болт начинает выкручиваться из червячного винта 7 и проталкивает ведущее зубчатое колесо 2, скользящее по валу двигателя (рис. 2-в). Что позволяет продолжать передавать ведомому зубчатому колесу 3 и червяку дистальной фаланги 8, вращающему шкив 5, крутящий момент от электродвигателя 1. Вследствие чего дистальная фаланга продолжает своё движение и дальше захватывает объект, в то время как проксимальная фаланга остаётся заблокированной.

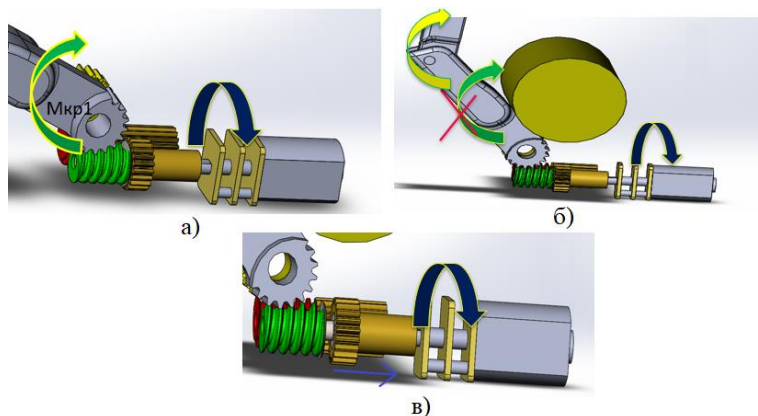


Рис. 2. Работа адаптивного привода, а) сгибание проксимальной фаланги, б) момент соприкосновения проксимальной фаланги с объектом, в) движение зубчатого колеса по валу электродвигателя

3D модель конструкции разработанного протеза представлена на рис. 3.

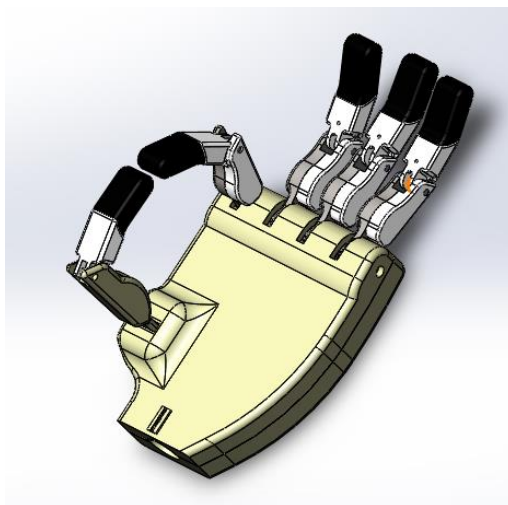


Рис. 3. 3D модель кистевого протеза

Рассчитаем КПД адаптивного малоприводного механизма и скорости вращения червячного винта 4 и тросовой передачи зубчатого шкива 5, тем самым получим скорости вращения фаланг. Также рассчитаем моменты, развиваемые на шарнирах фаланг, и удерживающую силу на кончике пальца в начальном положении.

Частота вращения n_3 проксимальной фаланги:

$$n_3 = n_1 \frac{z_4}{z_3}; \quad (1)$$

где n_1 —частота вращения электродвигателя, z_4 —количество заходов червячного винта 4, z_3 —количество зубьев на шестерёнке проксимальной фаланги.

Частота вращения n_5 тросовой передачи зубчатого шкива:

$$n_5 = n_1 \frac{z_1 z_6 r_3}{z_2 z_5 r_4}; \quad (2)$$

где z_1 —количество зубьев на ведущем зубчатом колесе 2, z_2 —количество зубьев на ведомом зубчатом колесе 3, z_5 —количество зубьев зубчатого шкива 5, z_6 —количество заходов червячного винта 4.

Время открытия/закрытия кисти равно времени разгибания/сгибания механизма дистальной фаланги:

$$t_0 = \frac{60}{4n_5}; \quad (3)$$

КПД $\eta_{\text{мех}}$ механизма:

$$\eta_{\text{мех}} = \eta_1 \eta_2^2 \eta_3; \quad (4)$$

где η_1 — КПД цилиндрической передачи, η_2 — КПД зубчатой передачи, η_3 — КПД тросовой передачи.

Момент T_3 на колесе проксимальной фаланги:

$$T_3 = T_1 \frac{z_3}{z_4}; \quad (5)$$

где T_1 – момент электродвигателя.

Момент T_5 на дистальной фаланге:

$$T_5 = T_1 \frac{z_2}{z_1} \frac{z_5}{z_6} \frac{r_4}{r_3}; \quad (6)$$

Теперь рассчитаем удерживающее усилие на кончике дистальной фаланги. На эквивалентной кинематической схеме (рис. 4) изображены проксимальная и дистальная фаланги длиной L_1 и L_2 , моменты в шарнирах этих фаланг T_3 и T_5 , возникающие при этом силы F_1 и F_2 соответственно и удерживающая результирующая сила F_0 .

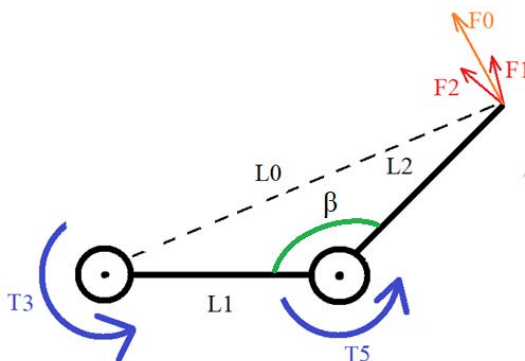


Рис. 4. Эквивалентная кинематическая схема пальца

Составляющая сила F_1 рассчитывается по формуле:

$$F_1 = \frac{T_3}{L_0}; \quad (7)$$

где L_0 – общая длина пальца, рассчитываемая по формуле:

$$L_0^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2\cos\beta; \quad (8)$$

где $\cos\beta$ – угол между фалангами.

Составляющая сила F_2 рассчитывается по формуле:

$$F_2 = \frac{T_5}{L_2}; \quad (9)$$

Суммируя получившиеся силы F_1 и F_2 , получаем значение удерживающей силы F_0 . Данные, полученные при расчёте, представлены в таб.1.

Таблица 1

Расчётные характеристики

Частота вращения ПФ, n_3	30 об/мин
Частота вращения ДФ, n_5	35.3 об/мин
Время закрытия/открытия, t_0	1.15 с
КПД механизма, $\eta_{мех}$	0.6
Удерживающее усилие, F_0	11.5 Н

Человек имеет всего 5 органов чувств, через которые воспринимает информацию от внешнего мира - глаза (зрение), уши (слух), язык (вкус), нос (обоняние) и кожа (осязание). Из перечисленных органов чувств для формирования МЧМИ подойдут только - глаза (зрение), уши (слух) и кожа (осязание). Для выбора необходимых ОС для включения их в МЧМИ обратим внимание на несколько параметров, а именно:

- потребление мощности;
- стоимость;
- массогабариты;
- простота восприятия;
- трудность реализации.

Сравним виды обратных связей (таб. 2).

Таблица 2

Сравнение видов ОС

Вид ОС	Потр. Мощн.	Стоимость	Массогаб.	Восприятие	Реализация
Силовая	Выс	Выс	Выс	Хор	Прост
Электротакт.	Сред	Сред	Низ	Плох	Сред
Вибротакт.	Низ	Низ	Низ	Сред	Прост
Визуальная	Низ	Низ	Низ	Хор	Прост
Звуковая	Низ	Низ	Низ	Хор	Прост

Делая вывод о соответствии критериям, можно выбрать 3 вида ОС. Визуальная, звуковая и вибротактильная. Первые две будут воздействовать на органы зрения и слуха, а третья на орган осязания. ОС выполняется на основании показаний контрольных тензодатчиков датчиков усилия, которые передаются от блока управления кистевым протезом. Для визуальной связи выбран многосегментный светодиодный индикатор, для вибротактильной – миниатюрный вибромотор, для звуковой – пьезоэлектрический динамик. Сигнал с датчика усилия разбивается на 3 уровня – слабый 0-0.75 кг, средний 0.75-2 кг и высокий 2 и более кг. На первом уровне значений силового воздействия загораются первые элементы светодиодного индикатора и производится звуковой сигнал длительностью 0.5 секунды, сообщаящего человеку о контакте с объектом или поверхностью. При повышении уровня силового воздействия сегменты на светодиодном индикаторе продолжают загораться один за другим. На втором уровне значений силового воздействия активируется вибромотор, начинающий работать в переменном режиме с частотой - 5 Гц. При достижении последнего - третьего уровня значений силового воздействия вибромотор включается в постоянный режим работы, а также при достижении максимального для датчика уровня силового воздействия загораются все сегменты светодиодного индикатора.

Тестирование разработанной системы управления и работы её алгоритмов производилось на интерактивной цифровой модели. При этом использовалась ArduinoMega 2560 с макетной платой и аппаратной частью и ЭМГ датчиками, расположенными на предплечье (рис. 4-б) и регистрирующих сигналы в режиме реального времени. Интерактивная модель протеза разработана в программном пакете Matlab/Simulink, где реализована визуализация процесса управления протезом. Сигналы проходят через полосовой аппаратный фильтр 8-300 Гц и далее преобразуются в интерактивной цифровой модели для получения огибающей составляющей. На графиках (рис. 4-а) также представлена схема работы системы управления скоростью электродвигателя. На вход системы подается желаемая

скорость, далее сигнал оцифровывается и подается на электродвигатель. Для непосредственного управления скоростью используется пропорциональный регулятор, коэффициент которого рассчитан по методу Циглера-Никольса.

В итоге пользователь видит на экране визуализацию работы алгоритмов системы управления протезом, саму 3D модель протеза и может учиться выполнять необходимые ему для жизни жесты. Также разработанная модель позволяет заранее обучаться пользованию протезом ещё до его получения (рис. 4).

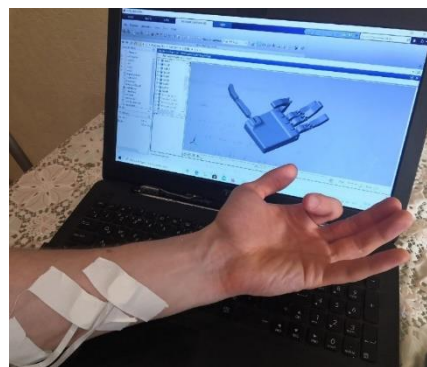
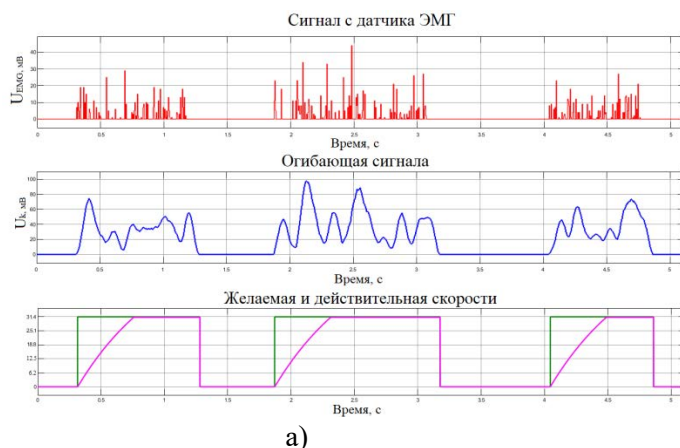


Рис. 4. а) Фильтрация и преобразование сигнала, б) Визуализация работы системы

В ходе работы был произведён литературный обзор существующих кистевых протезов, их конструкций и методов обратных связей, а также реабилитационных платформ. Разработана и описана конструкция адаптивных малоприводных исполнительных механизмов и кистевого протеза, проведены расчёты основных рабочих параметров. Разработана система управления с интегрированным мультимодальным человеко-машинным интерфейсом и интерактивная цифровая модель кистевого протеза, отражающая работу алгоритмов управления, позволяющая проходить предварительное обучение пациента эксплуатации протеза ещё до его получения, настраивать, корректировать и апробировать необходимые жесты.

Литература

1. Paul H. Chappel, Mechatronic Hands – Prosthetic and Robotic design // The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom. 2016. 163 p.
2. Belter J.T., Segil J.L., Dollar A.M., Weir R.F., Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review // Journal of Rehabilitation Research & Development. 2013. V.50. P. 599-618.
3. Antfolk C. On sensory feedback in hand prostheses. Lund University. 2012. 71p.
4. Виртуальная реабилитация [Электронный ресурс] / Виртуальная реабилитация // 2020. Режим доступа: <https://eurosmed.ru/products/virtualnayareabilitatsiya-ortorent-virtual> (дата обращения: 30.05.2020).
5. Компания Моторика [Электронный ресурс] / Моторика // 2020. - Режим доступа: <https://motorica.org/virtualnaya-reabilitaciya-v-attilan> (дата обращения: 30.05.2020).
6. Prahm C, Vujaklija I, Kayali F, Purgathofer P, Aszmann OC. GameBased Rehabilitation for Myoelectric Prosthesis Control // JMIR Serious Games 2017; 5 (1) - e3.
7. Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 1, 10. 2004.

Цветикова Софья Андреевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

студент группы №А41424,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: zvetikova@scamt-itmo.ru

Кошель Елена Ивановна

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

к.б.н., ординарный доцент,

e-mail: koshel@scamt-itmo.ru

УДК 57.021

**STUDY OF THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF COLANIC
ACID – AN EXOPOLYSACCHARIDE OF BACTERIA OF THE
ENTEROBACTERIACEAE FAMILY**

S.A. Tsvetikova

Scientific advisor – candidate of biological sciences E.I. Koshel

Annotation

Members of the *Enterobacteriaceae* family produce an exopolysaccharide colanic acid (CA) in stress conditions. In previous studies, CA showed geroprotective properties in *Caenorhabditis elegans* and *Drosophila melanogaster*. In current work, we describe the CA effects *in vitro* and *in vivo* on cell lines and mice. The MTT assay did not revealed cytotoxicity on cell lines (HCT-116 and IMR-32). *In vivo* study showed that CA has a stimulating effect and increases physical activity. However, high doses of the CA provoke signs of general toxicity.

Keywords

Colanic acid, *Escherichia coli*, polysaccharide isolation, toxicity, MTT assay, *in vivo* study.

Colanic acid (CA), an exopolysaccharide (EPS) of bacteria of the *Enterobacteriaceae* family, is a component of bacterial capsules and biofilm matrix, carrying out the predominantly protective function. At present, the structure of CA, stages of its synthesis, and regulatory processes have been studied. However, little is known about the influence of colanic acid on multicellular organisms. It was established that in nematodes and *Drosophila* sp. CA prolongs lifespan and prevents the occurrence of symptoms of age-related diseases [1]. The objective of the current work is to isolate CA and to determine its possible biological activity and toxicity *in vitro* and *in vivo*. There have been no previous studies on the influence of CA on cell viability or its subchronic toxicity in mice.

Strain-producer of CA (*Escherichia coli* S17-3 pBhya-CAB) was kindly provided by Dr. Sun Junsong (Laboratory of Biorefinery, Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences). For the optimization of CA isolation protocol, we used three modes of polysaccharide precipitation, and compared unpurified and purified from proteins samples. Sample monosaccharide composition gas chromatography analysis was performed in the Laboratory of Polysaccharide Chemistry, N. D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Moscow. Samples properties are summarized in the tab. 1. The biggest yield is obtained in Sample 1 and 2 (1025.6 and 213.8 mg per liter, respectively). These results indicate that

production of CA by the *E. coli* S17-3 pBhya-CAB depends on the pH of the medium, which correlates with the published data [2]. However, the monosaccharide analysis also revealed that the polysaccharide isolated from the culture with media pH 6.5 contains high amount of mannose. These results indicate that the strain produces less polysaccharides at the pH 6.5, and among them the content of a CA is low. Since the dialysis stage was presented in the CA isolation, the molecular weight of a substance containing a large amount of mannose residues exceeds 14 kDa. This substance is most likely a polysaccharide, for example, mannan. Since mannose is a precursor to fucose in the biosynthesis of CA [3], the presence of another polysaccharide indicates a metabolism shift and repression of CA production at pH 6.5.

The comparison of the efficiency of different polysaccharide precipitators was performed for the culture cultivated in the medium with pH 6.5 as there are at least two types of polysaccharides. Acetone (98 %) allows to precipitate more components (144 mg per liter) than ethanol (75.8 and 98 mg per liter), but the precipitate is highly colored (brown), which should be caused by the presence of non-polysaccharidic compounds. For this reason, the use of acetone for the further isolation of polysaccharides is not recommended. When using 4 volumes of ethanol, a larger precipitate is obtained, however, for continuous operation it is more advisable to use 3 volumes.

According to the obtained results, the cultivation for the CA production by strain *E. coli* S17-3 pBhya-CAB should be performed at pH 4.5. Precipitation of polysaccharide should be performed with ethanol, and 3 volumes of ethanol are sufficient for the CA precipitation.

Table 1

Compare of different protocols of CA isolation used in the current work

Number	Yield (mg per liter of the culture)	pH of the medium	Precipitator	Protein precipitation	Mannose content	Color
1	1025.6	4.5	Ethanol (95 %), 3 volumes	No	Low	Slightly beige
2	213.8	4.5	Ethanol (95 %), 3 volumes	Yes	Will be investigated in further studies	White
3	75.8	6.5	Ethanol (95 %), 3 volumes	No	High	Slightly beige
4	98	6.5	Ethanol (95 %), 4 volumes	No	High	Slightly beige
5	144	6.5	Acetone (98 %), 3 volumes	No	High	Brown

Following the described protocols, from the culture with medium pH 4.5 we obtained the yield of 1025.6 mg per liter of CA containing proteins (fig. 1, left), and 213.8 mg per liter of CA purified from proteins (fig. 1, right). The sample of purified CA is a white fibrous cotton-like substance, soluble in water. The CA solution is transparent and highly viscous. The appearance of the compound coincides with described in the original article [2]. However, the CA containing proteins is slightly more colorized and form flakes, and the solution is turbid. Protein precipitation significantly decreases the yield of the sample (4.8 times), which indicates that it contains a large amount of proteins and DNA [4]. Monosaccharide composition and purity of the deproteinized sample requires further

estimation.



Fig. 1. (left) CA sample isolated without a step of deproteinization. It is slightly beige, and forms flakes (right) Deproteinized CA sample. It is white and fibrous, cotton-like

We revealed that CA does not cause cytotoxic effects in concentrations from 3.95 to 1000 mg/ml in the human colon cancer (HCT-116) and human neuroblastoma (IMR-32) cell lines (the viability is higher than 80 %). The results of the viability assay are summarized in fig. 2. Thus, CA did not cause a sharp decrease or increase in the number of living cells in the concentration range from 3.95 to 1000 $\mu\text{g/ml}$, which allows us to consider it as non-toxic, at least for these types of cells. An experiment was conducted by A. A. Zabavkina (1st-year Master's student).

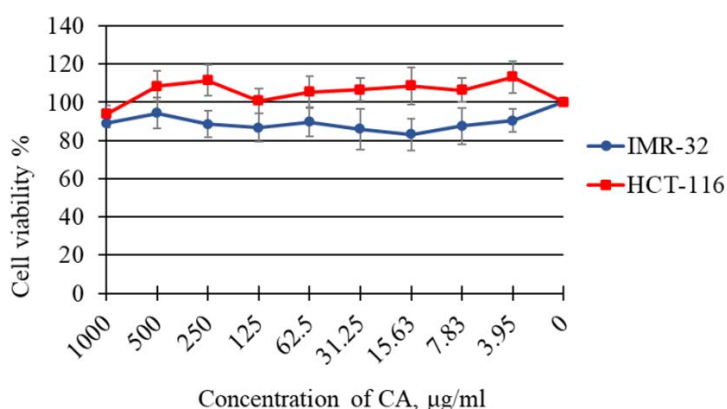


Fig. 2. Viability of the cells after 72 hours of treatment with CA. Cell lines: HCT-116 (red) and IMR-32 (blue). Points indicate the mean of two independent experiments (three replicates in each), error bars – standard deviation

Experiment *in vivo* was conducted at the Ivanovo State Medical Academy (with participation of V. V. Krishtop and N. G. Nikonorova). Since the study of CA on the cell lines did not reveal cytotoxicity, therefore, for the study on mice, we took a large variety of dosages. We selected three CA doses for *in vivo* tests: 2.7 mg, 10.7 mg, 16 mg, and 21.3 mg per day. As at the beginning of the experiment a medium mouse weight was 22 g, the initial doses were 0.1 mg, 0.5 mg, 0.75 mg, and 1 mg per 1 g of mouse weight. CA had a beneficial effect on the animal's well-being and behavior. However, high doses of polysaccharide (16 and 21.3 mg) provoked massive alopecia zones with bruises, and tail necrosis. At the same time, these signs were observed only on the 22nd day of the experiment, which indicates that CA has a subchronic toxicity, but may not have an immediate effect. Low (2.7 mg) and medium (10.7 mg) doses did not provoke such drastic changes, which leads to a conclusion that the CA effect may be dose-dependent, and low doses are less toxic.

In experimental groups, during the whole period of observation, we detected an increased water consumption and appetite, usual frequency and depth of respiratory movements, normal consistency of feces, and an increased frequency of urination. Mice had

increased physical activity and spent more time playing games and on the free-running wheel. In a recent study it was proved that CA improves locomotion and increases the survival in nematodes, affects Alzheimer's disease signs development [1].

During the observation, mice body weight was measured three times per week. The dependence of the body weight on the CA dose and day of the observation is presented in the fig. 3. As mice were taken for the experiment 4 months old, an increase of the body weight in all groups is associated with the growth process. However, the pattern of weight change of the mice treated with CA significantly distinguishes from the control group. On the 30th day of CA receiving, all experimental groups had a lower total weight gain than the control group, except the one that received 10.7 mg of CA per day. Lower weight gain can be associated both with the reduction of fat storage, but also may be a sign of a toxic effect. Both an increased total weight gain in a group that received 10.7 mg of CA per day, and the presence of the weight decrease following the increase indicate that the relation between CA dose and body weight is not linear, and may be influenced by various physiological processes.

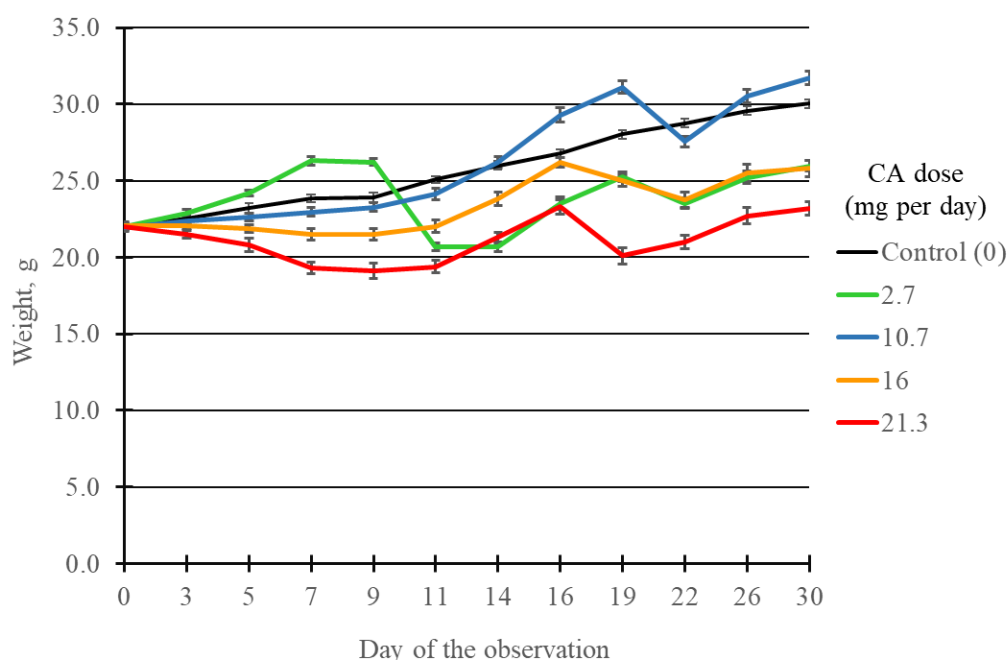


Fig. 3. Dynamics of mice body weight from control (black) and experimental groups (colorized) for 30 days. The legend shows CA doses per day. Error bars indicate standard deviation

To assess physiological effect of the CA, we performed transection on the 30th day of the experiment and measured weight of the heart, liver, and kidneys. Morphology of the internal organs showed no signs of pathology or inflammation. All the data are also summarized in fig. 4, 5, and 6. Brain, heart, liver, kidney, bowel, and gonads were preserved for further histological studies.

Heart mass (fig. 4) was significantly decreased in the group that received 2.7 mg of CA per day. In other experimental groups heart mass was increased, still, a significant increase was revealed only in the group that received 16 mg of CA per day. However, when assessing heart mass, it is necessary to consider that the body weight of the mice differed by 30 days. In this regard, we calculated the relative mass of the organ for all groups of mice. We found that heart mass with respect to body weight increases with increasing dosage of CA. However, a statistically significant difference is observed only in the groups receiving 16 and 21.3 mg of CA. Thus, lower dosages have a weak effect on the development of this pathology. While the toxic effect is usually associated with increasing of the heart mass, a decrease of the heart

mass is rare and may be associated with increased catabolism and subsequent decrease of muscle mass [5]. Heart hypertrophy may be caused by an increase in a heart rate, mechanical wall stress, decreased energy production. Besides, an increase in heart mass may be associated with stimulation of the growth of cardiomyocytes (as in the case of anabolic steroids). Since the CA administration lasted 30 days, these changes are most likely compensatory. However, in the case of a longer intake, they could lead to heart malfunction. The results of a histological examination of the heart will allow us to determine whether CA has a stimulatory and anabolic effect or leads only to toxic damage.

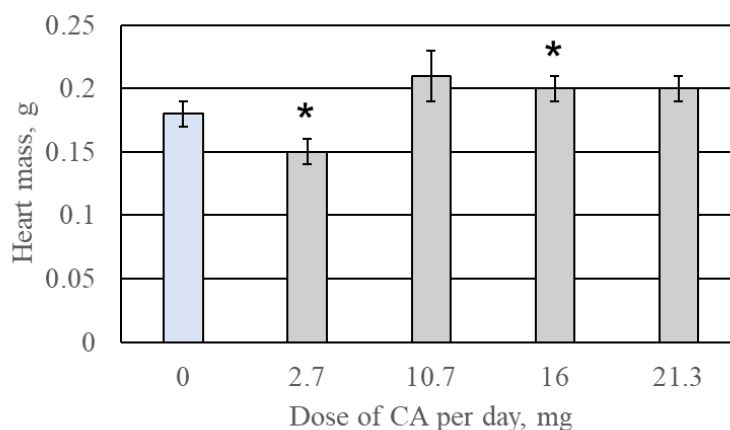


Fig. 4. Heart mass after 30 days of CA receiving in contrast to a control group (received water; colored with blue). Error bars indicate standard deviation. Asterisks indicate statistically significant observations ($p \leq 0.05$)

According to the weighting results, the liver mass was statistically significantly increased in all experimental groups (fig. 5). We found that the relative mass of the liver increases in accordance with an increase in the dosage of CA. The change of the liver mass indicates that CA or impurities of the sample are metabolized. A change in liver mass indicates that it metabolizes CA or other components of the sample. Moreover, the presence of effects on other organs (heart, kidneys, skin) indicate that the liver is either unable to metabolize this substance completely, or does not affect its presence in the bloodstream, but is affected by other components of the sample. This indicates a dose-dependent toxic effect of CA, and that small doses have low toxicity. Liver mass is in most cases associated with generalized accumulation of fat, glycogen, or water. In case of severe toxicity effect, the liver enlargement can be associated with either dystrophy (occurrence of replacing fat structures), hypertrophy (an increase of accumulating cell volume), hyperplasia (an increase of proliferation of normal cells) or neoplasia (uncontrolled abnormal proliferation) [5]. Perhaps a further study of lower concentrations of CA will reduce the toxic effect.

The kidneys are especially sensitive to toxic compounds due to the high blood flow to the organ relative to its mass. According to the weighting results, kidneys mass is significantly decreased in all groups except the one that received 10.7 mg of CA per day (fig. 6). However, when assessing the weight of organs considering body weight (relative weight of the kidneys), it was found that only groups receiving 16 and 21.3 mg CA per day are significantly distinct from the control. This observation confirms the dose-dependent toxic effect of CA and indicates a lower toxicity of low doses. This observation is consistent with the results obtained for other organs.

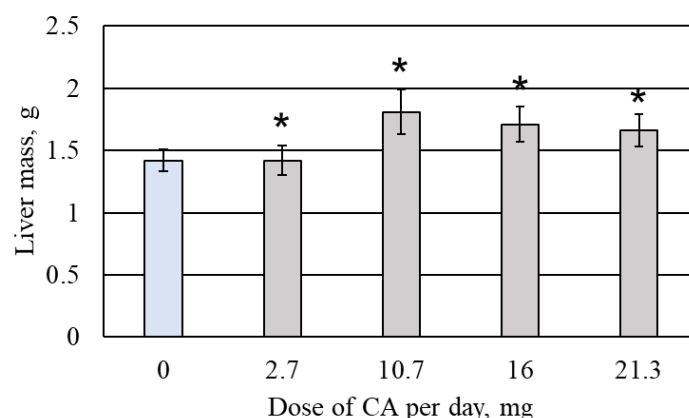


Fig. 5. Liver mass after 30 days of CA receiving in contrast to a control group (received water; colored with blue). Error bars indicate standard deviation. Asterisks indicate statistically significant observations ($p \leq 0.05$)

Decrease of the kidneys' mass is usually associated with cellular degeneration, necrosis, or apoptosis [5]. Hyperplasia can also take place as a reparative mechanism. As we observed tail necrosis in one mouse that received 21.3 mg of CA per day and alopecia in all groups, we can assume that the toxic effect of CA is at least particularly caused by necrotic processes or blood microcirculation disturbance. The reason for the decrease in kidney mass will be studied in a further histological study of the structure of the organ. Nevertheless, the dose dependence of CA is clearly seen in the ratio of the masses of the kidneys of different groups. We can assume that lower doses of CA have less toxicity.

In our work, we have optimized a protocol for the isolation of CA from *E. coli* S17-3 pBhya-CAB. Ethanol is a suitable precipitator for polysaccharides, and TCA is sufficient for proteins separation. The production of CA is tightly controlled and depends on environmental conditions. We detected a metabolism shift that occurs in response to pH alteration, and in addition to CA, a polysaccharide with a high mannose content is produced. In our study of the effect of CA on the survival of colon cancer cells and neuroblastoma, no cytotoxicity was detected. In in vivo study, CA showed signs of toxicity, expressed both in the behavior and change in appearance (condition of the skin and fur, body weight) and in changes in the mass of organs. We have revealed the dependence of the severity of toxic effects on the dosage of CA and the timing of admission. We assume that low doses of CA are more tolerable, while high doses cause severe chronic toxicity. CA significantly increases the physical activity of rodents, regardless of concentration, which possibly indicates its stimulating effect. For the further estimation of CA effect and revealing of its mechanism histological study should be performed.

References

1. Han B/ *et al.*, "Microbial Genetic Composition Tunes Host Longevity," *Cell*, vol. 169, no. 7. pp. 1249-1262.e13, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.cell.2017.05.036.
2. H. Wu, S. Chen, M. Ji, Q. Chen, J. Shi, and J. Sun, "Activation of colanic acid biosynthesis linked to heterologous expression of the polyhydroxybutyrate pathway in *Escherichia coli*," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 128, pp. 752–760, May 2019, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2019.02.004.
3. Stevenson G., Andrianopoulos K., Hobbs M., and P.R. Reeves. "Organization of the *Escherichia coli* K-12 gene cluster responsible for production of the extracellular polysaccharide colanic acid," *J. Bacteriol.*, vol. 178, no. 16, pp. 4885–4893, 1996, doi: 10.1128/jb.178.16.4885-4893.1996.

4. Oliveira R., Marques F., and Azeredo J., “Purification of polysaccharides from a biofilm matrix by selective precipitation of proteins,” *Biotechnol. Tech.*, vol. 13, no. 6, pp. 391–393, 1999, doi: 10.1023/A:1008954301470.
5. Wallig M.A., Bolon B., Haschek W.M., and Rousseaux C.G., *Fundamentals of toxicologic pathology*. Academic Press. 2017.

Цветков Вадим Александрович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

студент группы № W42271,

направление подготовки: 16.04.03 – Проектирование

тепломассообменного оборудования,

e-mail: wadimtsvetkov@mail.ru

Молодова Юлия Игоревна

Год рождения: 1969

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

к.т.н., доцент,

e-mail: julia_molodova@mail.ru

УДК 621.513

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УЗЛАХ
СТУПЕНИ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА**

В.А. Цветков

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.И. Молодова

Аннотация

В данной работе производится краткое изложение материалов выпускной квалификационной работы магистра на тему “Исследование течения газа в уплотнительных узлах поршневого компрессора”. Для воздушного поршневого компрессора рассматривается подробный подбор поршневых уплотнений, деформация под действием газовых сил, расчет мощности трения комплекта уплотнительных колец. Разрабатывается математическая модель массообмена в поршневом уплотнении компрессора с учетом подвижности стенок щели «поршневое кольцо-зеркало цилиндра».

Ключевые слова

Поршневой компрессор, поршневые кольца, газовые силы, массообмен, деформация, трение, радиальная щель, подвижность стенки, КОМДЕТ, ANSYS.

Постановка рассматриваемого вопроса

В выпускной квалификационной работе магистра, выполненной автором [1], поставлена цель исследования течения газа в уплотнительных узлах ступени поршневого компрессора. Объектом исследования является спроектированный двухступенчатый двухрядный поршневой компрессор на нормализованной базе 2ВУ-4/8 со следующими характеристиками: рабочий газ – воздух, производительность $V = 4 \text{ м}^3/\text{мин}$, давление на всасывании, $p_{вс} = 0,1 \text{ МПа}$, давление на нагнетании, $p_{нг} = 0,8 \text{ МПа}$, температура на всасывании, $T_{вс} = 285 \text{ К}$. Для достижения поставленной цели, определены задачи:

- проанализировать методику подбора поршневых колец и обосновать оптимальный вариант комплекта колец;
- рассмотреть деформацию поршневого кольца под действием газовых сил и распределение перепадов давления по поршневым кольцам;
- произвести расчет значений мощности трения уплотнительных элементов;

• обосновать влияние подвижности стенки щели на течение газа в радиальном зазоре "поршневое кольцо – зеркало цилиндра" компрессора и предложить математическую модель учета подвижности рассматриваемого радиального зазора.

Последняя задача обозначена как основное направление исследования в выпускной квалификационной работе.

Основная часть

Подбор поршневых колец. Аналитический анализ источников [2-6] показал наличие различных методик подбора количества уплотнительных поршневых колец компрессора z и их геометрических размеров в зависимости диаметра поршня, воспринимаемой поршнем разности давлений (перепадов давления в ступени компрессора) и материала кольца. Поэтому, при решении данной задачи, следует принять во внимание имеющиеся эмпирические зависимости и справочные данные. При таком подходе численные значения искомых характеристик не всегда совпадают. Выбор параметров поршневых колец компрессора сведен в таб. 1.

Таблица 1

Результаты подбора поршневых уплотнительных колец

Номер ступени, i	Диаметр цилиндра D , мм	Перепад давления ΔP , МПа	Исполнение	Материал	Ссылка на источник при подборе z	Количество уплотняющих колец z , шт.	Ссылка на источник при подборе b_k и h_k	Размеры уплотняющего кольца, мм	
								Радиальная толщина b_k , мм	Высота h_k , мм
1	230	0.1828	Металлическое	Чугун	[4]	2	[2]	8.0	6.0
2	140	0.5172				3		5.0	3.5
1	230	0.1828	Неметалл.	Фторопласт	[2,3]	2	[5]	10.0	10.0
2	140	0.5172				3		8.0	8.0
1	230	0.1828			[2]'	3		10.0	10.0
2	140	0.5172				3		8.0	8.0
1	230	0.1828		Текстолит	[2]''	1	[2]	10.0	10.0
2	140	0.5172				2		6.0	8.0
1	230	0.1828		Графит	[6]	2	[3]	6.4	8.75
2	140	0.5172				4		6.1	8.75

Примечание: 'France Compressor Product, bulletin 200-A; 'ПоРТМЛенНИИХиммаша.

Для дальнейшей проработки подбора уплотнительных колец приняты к рассмотрению параметры, характеризующие стоимость материалов (рис. 1), материалоемкость комплектов поршневых колец (рис. 2) и показатели их работоспособности (рис. 3):

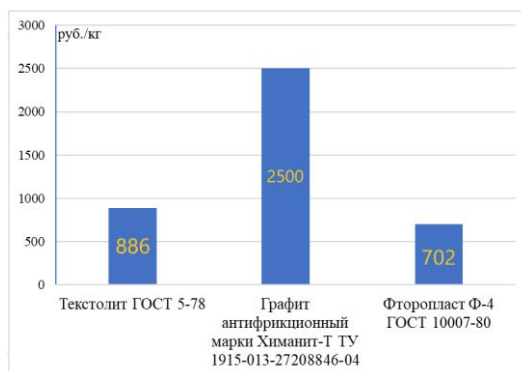


Рис. 1. Сравнение стоимости рассматриваемых материалов (средняя стоимость на осень 2019 г.)

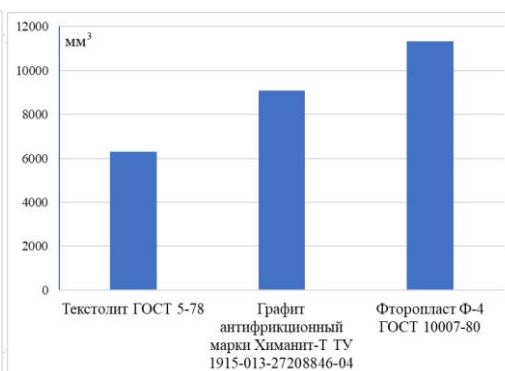


Рис. 2. Сравнение материалоемкости для комплектов поршневых колец

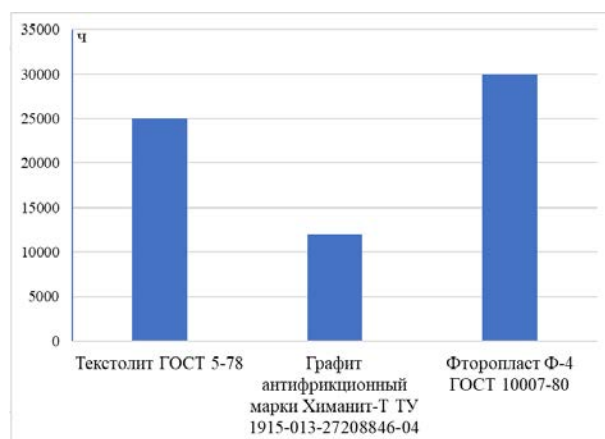


Рис. 3 Сравнение максимальной работоспособности поршневых уплотнений в часах

Анализ результатов таб. 1 и рис. 1-3, позволяет констатировать преимущества исполнения уплотнений поршня компрессора из фторопласта. На данном этапе, при неметаллическом исполнении поршневого кольца, оптимальным вариантом считаем фторопласт. Остается произвести выбор количество уплотнительных колец для первой ступени сжатия компрессора $z=2$ или $z=3$. Решение данной задачи представлено в п.3.3.3 выпускной квалификационной работы [1], на основании анализа распределения перепадов давления газа Δp по поршневым кольцам. Краткие сведения об окончательном выборе числа поршневых колец приведены далее в статье (рис. 5).

Деформация поршневых колец под действием газовых сил. Расчет производился как для металлических (чугун СЧ30), так и для неметаллических поршневых колец (фторопласт графелон-10). Схема к расчету деформаций поршневого кольца приведена на рис. 4:

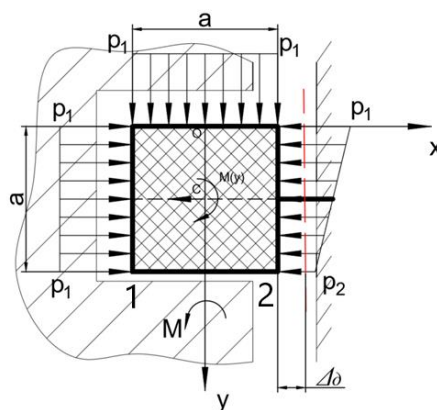


Рис.4. Схема к расчету деформации поршневого кольца под действием газовых сил [7]

Для расчета деформаций неметаллических уплотнений поршня предложена методика [7], согласно которой прогиб кольца определяется с помощью дифференциального уравнения изогнутой оси:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (1)$$

После интегрирования (1) и преобразований, получим:

$$x(y) = (p_1 - p_2) \frac{y^5 - 5a^4 \cdot y + 4a^5}{10Ea^4} \quad (2)$$

Подробный вывод уравнений (1) и (2) изложен в материале [7].

Воспользовавшись выражением (2) были рассчитаны прогибы $x(y)$ при различных перепадах давления Δp (рис. 5). Рассматривалось поршневое кольцо из Графелона-10 со значением $E=0,34 \times 10^{-3}$ МПа, $h_k=10,0$ мм, $b_k=10,0$ мм.

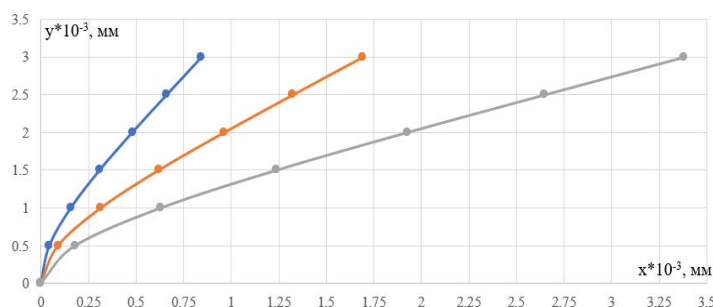


Рис. 5. Расчет прогиба x по оси y при разных значениях Δp
 — при $\Delta p = 0,25$ МПа; — при $\Delta p = 0,5$ МПа;
 — при $\Delta p = 1$ МПа

Таким образом, зазор в щелях поршневого уплотнения в случае его неметаллического исполнения, является переменным.

Выполним расчет деформации поршневого кольца 1 и 2 ступени сжатия компрессора по принятой методике расчета и в программном комплексе ANSYS [8]. Графические материалы расчета деформаций поршневых колец в модуле StaticStructural программы ANSYS представлены в приложении 2 выпускной квалификационной работы [1]. Результаты расчетов сведены в таб. 2.

Таблица 2

Расчет деформации поршневых колец

	Деформация поршневого кольца, мм					
№ ступени сжатия, действующее давление p	Ступень 1, $P=0.2828$ МПа		Величина зазора δ_r , мм	Ступень 2, $P=0.8$ МПа		Величина зазора δ_r , мм
Материал поршневого кольца	Чугун (СЧ30)	Фторопласт (Графелон-10)		Чугун (СЧ30)	Фторопласт (Графелон-10)	
Принятая методика расчета	9.5361×10^{-6}	0,00089	0,0023	$1,4255 \times 10^{-5}$	0,0019	0,0014
Расчет в ANSYS	7.2175×10^{-6}	0,00060953		$1,1969 \times 10^{-5}$	0,001012	

Полученный материал (таб. 2) позволяет сделать вывод, что результаты расчета на базе ANSYS и принятой методике качественно совпадают, так как величина деформации поршневого кольца в обоих случаях имеет одинаковый порядок. Также стоит отметить, что величина прогиба не превосходит величину зазора между зеркалом цилиндра и поршневым кольцом, которую находят по эмпирической зависимости:

$$\delta_r = D_{\text{ц}} * 10^{-5} \text{ мм} . \quad (3)$$

Анализ распределения перепадов давления газа Δp на поршневых кольцах. В таб. 1 настоящей работы при подборе количества уплотнительных колец для 1-й ступени сжатия рассматриваемого компрессора по разным источникам предлагается укомплектовать поршень 2 или 3 неметаллическими уплотнительными кольцами. В данном случае является целесообразным выяснить оптимальное количество колец по результатам проведения анализа текущих значений p и Δp в камерах уплотнительного узла. Расчет произведен в программе КОМДЕТ, результаты проведенного исследования обобщены в графической форме на рис. 6.

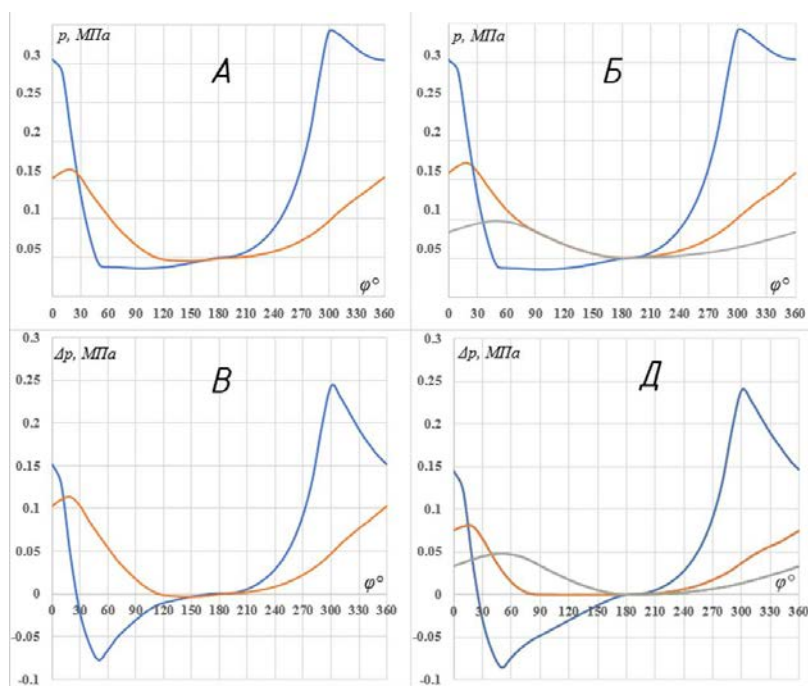


Рис. 6. Текущие значения давления p (А, Б) и перепада давлений Δp (В, Д) в случае комплектации поршня двумя уплотнительными кольцами: А, В; тремя уплотнительными кольцами: Б, Д.

— — — — — - полость цилиндра (перед входом в щель кольца №1);
 — — — — — - полость межкольцевого объема между кольцами №1 и №2;
 — — — — — - полость межкольцевого объема между кольцами №2 и №3.

На рис. 6 А и Б, текущие значения p для колец №1 и №2 практически идентичны, что говорит об отсутствии необходимости в установке третьего поршневого кольца; Аналогичная ситуация наблюдается на рис. 6 В и Г, значения Δp на кольцах №1 совпадают. За счет добавления кольца №3, кривая Δp кольца №2 «сглаживается», по сравнению с данными рис. 6 В, в незначительной мере. В результате можно прийти к выводу о целесообразности использования числа уплотнительных поршневых колец

$z_k=2$. На данном этапе задача подбора поршневого уплотнения для объекта исследования решена в полной мере.

Расчет мощности трения уплотнительных колец. Приведенные теоретические выкладки [6] базируются на гипотезе, что для поршневых колец, работающих со смазкой, давление на кольцо со стороны цилиндра падает от p_1 до p_2 линейно. Практически падение давления происходит по некоторой кривой, характер кривизны которой зависит от многих факторов. С учетом этого рассмотрим работу уплотнения при отсутствии смазки цилиндров.

Анализ экспериментальных данных по износу уплотнительных колец и расчетных по распределению давлений за кольцами показал, что при изменении уплотняемого перепада давления на поршневом кольце из наполненного фторопласта, его радиальный износ можно считать пропорциональным действующему перепаду давления. В свою очередь от уплотняемого перепада давления на кольце и скорости скольжения поршня s_n зависит его температурный режим, что в совокупности приводит к увеличению износа колец комплекта на участках с повышенным перепадом давления.

Коэффициент трения наполненных фторопластовых материалов с увеличением давления несколько снижается, но в большей степени увеличивается с ростом температуры в зоне трения. Повышение температуры приводит к прогрессивному увеличению износа колец, а очевидно и трения, поскольку показатель степени у параметра, характеризующего температуру кольца, больше единицы. Потери на трение уплотнения необходимо определять для каждого кольца уплотнения с учетом особенностей его работы, а затем их суммировать.

Таким образом, мощность трения уплотнительных элементов представлена в таб. 3.

Таблица 3

Расчетные значения мощности трения уплотнительных элементов

	Мощность трения уплотнительных элементов $N_{тр}$, Вт			
№ ступени сжатия	Ступень 1		Ступень 2	
Материал поршневого кольца	Чугун (СЧ30)	Фторопласт (Графелон-10)	Чугун (СЧ30)	Фторопласт (Графелон-10)
1 уплотнительное кольцо	55,564	97,278	48,909	117,893
2 уплотнительное кольцо	9,136	20,711	11,887	31,678
3 уплотнительное кольцо	—	—	45,635	98,416
Σ по комплекту	64,7	117,989	106,431	247,987

При проектировании поршневых компрессоров очень важно иметь математический аппарат, позволяющий рассчитывать уплотнительный узел ЦПГ. Это позволяет оценить такие параметры, как затраты работы на трение и собственно силы трения, что в совокупности с путем пробега уплотнения позволит рассчитать в первом приближении и износ уплотняющих элементов и обоснованно назначать межремонтный пробег.

Потери на преодоление трений поршня и поршневых колец в компрессорах со смазкой составляют 60-70 % от суммарных потерь на преодоление трений поршневого компрессора. Силы трения в уплотнении возникают от действия давления газов на

кольцо (85 %) и от сил упругости колец (15 %). Потери на трение уплотнения необходимо определять для каждого кольца уплотнения с учетом особенностей его работы, а затем их суммировать.

Обоснование влияния подвижности стенки щели на течение газа в радиальном зазоре "поршневое кольцо – зеркало цилиндра" компрессора. Математическая модель учета подвижности рассматриваемого радиального зазора. процессе работы компрессора поршень совершает возвратно-поступательное движение, а также имеет место перепад давлений в радиальной щели. Данные обстоятельства необходимо учесть, а именно знакопеременное движение стенки (уплотнительного кольца) и напорный характер движения газа в рассматриваемом зазоре. Они будут влиять на распределение скорости газа в радиальной щели, а также на расход газа через поршневое кольцо.

Распределение скоростей найдем как сумму скоростей от действующих факторов, т.е. как сумму скорости течения газа в радиальном зазоре без учета подвижности стенки щели и скорости газа с учетом подвижности одной из стенок при безнапорном движении. Подвижная стенка будет увлекать за собой некоторую часть газа.

$$u = \frac{\Delta p}{\mu \pi (R_1^2 - R_2^2)} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) \pm \left(0.5 + \frac{y}{h} \right) c_n. \quad (4)$$

Значение расхода определим аналогичным образом:

$$\bar{V} = \frac{\Delta p h^3}{12 \mu \pi (R_1^2 - R_2^2)} \pm (0.5 c_n) h. \quad (5)$$

Подробный вывод уравнений (4) и (5) изложен в статье [9].

Знаки “+” и “-” в выражениях (4) и (5) обусловлены тем, что возможны два варианта:

1. Направление движения стенки совпадает с направлением течения газа под действием перепада давления. Поршень движется из верхней мертвой точки к нижней мертвой точке. (рис. 6а);

2. Движение поршня поменяло свое направление. Происходит “налипание” на наружную поверхность поршневого кольца, газ устремляется в цилиндр компрессора. Поршень движется из нижней мертвой точки к верхней мертвой точке (рис. 6в).

На рис. 6б изображен момент начала движения поршня из нижней мертвой точки к верхней мертвой точке.

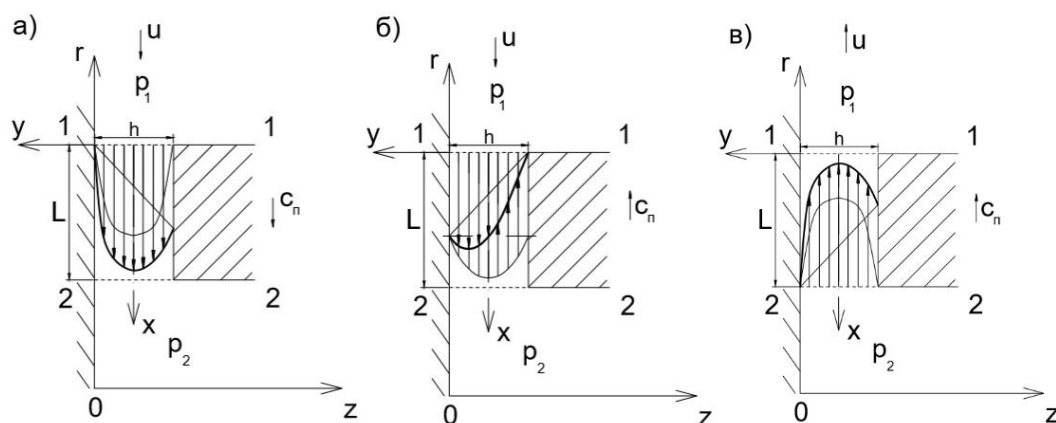


Рис. 6. Эпюры распределения скоростей в зазоре с учетом подвижности стенки и перепада давлений

С учетом выражений (4) и (5) имеем следующее изменение расхода газа $\bar{V}$ при течении через первое уплотнительное кольцо (из рабочей камеры в межкольцевой объем) (рис. 7):

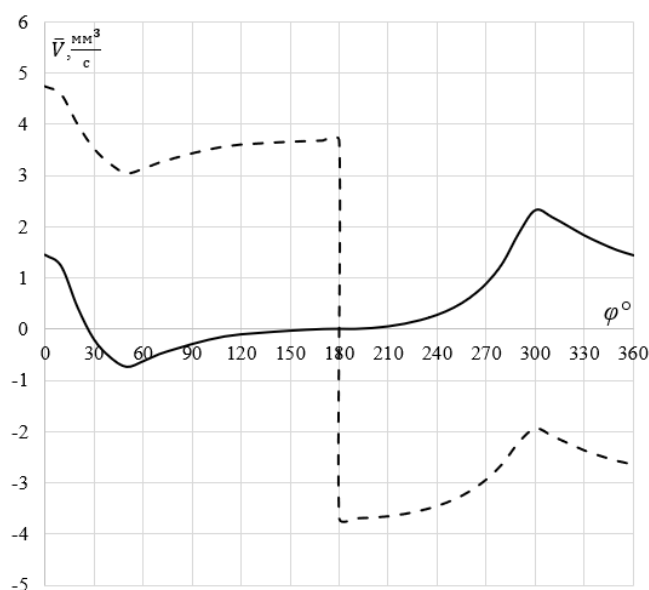


Рис. 7 Текущие значения расхода воздуха $\bar{V}$ при течении через первое уплотнительное кольцо:
— без учета подвижности щели;
- - - с учетом подвижности щели.

Вывод: принятые методики расчета протечек и перетечек в зазорах поршневого уплотнения компрессора, которые обычно производятся без учета движения поверхностей, ограничивающих эти зазоры, могут быть откорректированы в сторону повышения точности [8, 9]. Обосновать необходимость учета относительного движения стенок зазоров возможно численными методами для конкретных условий. Учет подвижности рассмотренной радиальной щели будет актуальным при высоких скоростях поршня и перепадах давления.

Заключение

В процессе работы над выпускной квалификационной работой [1], для достижения поставленной цели, были решены следующие задачи:

1. Проанализирована методика подбора поршневых колец и обоснован выбор оптимального варианта комплекта колец.
2. Рассмотрена деформация поршневого кольца под действием газовых сил и распределение перепадов давления по поршневым кольцам. Произведены расчеты по принятой методике и в программном комплексе ANSYS.
3. Произведен расчет значений мощности трения уплотнительных элементов.
4. Обосновано влияние подвижности стенки щели на течение газа в радиальном зазоре "поршневое кольцо – зеркало цилиндра" компрессора и предложена математическая модель учета подвижности рассматриваемого радиального зазора.

Теоретическая и практическая ценность результатов исследования заключается в возможности их успешного использовании в производстве и образовательном процессе, а также отражает положительные тенденции в развитии современного компрессоростроения.

Литература

1. Цветков В.А. ВКР на тему: “Исследование течения газа в уплотнительных узлах ступени поршневого компрессора” // Университет ИТМО. 2020. 107 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2143:0:112885371787794::DWNLD_F:NO::FILE:9B4D44E0E4A3693B643245914BB5B57F. (Дата обращения: 10.06.2020).
2. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Том 2. Основы проектирования. Конструкции. 3-е изд., перераб. и доп. М.: КолосС. 2008. 711 с.: ил.
3. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. Теория, конструкции и основы проектирования. 3-е издание, переработанное и дополненное. Л.: Машиностроение., 1969г. 744 с.
4. Chlumský V., Liška A. Kompresory. Praha: SNTL/Alfa. 1977. 195 s.
5. РД РТМ 26-12-17-77 Кольца поршневые фторопластовые для поршневых компрессоров без смазки. Типы и основные размеры.
6. Поршневые компрессоры / Фотин Б.С., Пирумов И.Б., Прилуцкий И.К., Пластинин П.И.; Под общ. ред. Фотина Б.С. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение. 1987. 872 с. ил.
7. Цветков В.А. Уточненный расчет неметаллического поршневого уплотнения при анализе массообмена // Сборник трудов VIII конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-19апреля 2019г.). 2019. Т. 5. С. 33-36.
8. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс. 2017. 210 с.: ил.
9. Пронин В.А., Цветков В.А., Молодова Ю.И., Жигновская Д.В. Влияние подвижности стенки щели на течение газа в радиальном зазоре "поршневое кольцо – зеркало цилиндра" компрессора // Вестник Международной академии холода. 2020. № 2. С.19-25.

Эмем Онис Чарльз

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

студент группы №Т42502,

направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,

e-mail: emem.c.onis@gmail.com

Сергиенко Ольга Ивановна

Год рождения: 1957,

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

к.т.н. доцент,

e-mail: oisergienko@yandex.ru, oisergienko@corp.ifmo.ru

УДК 555.32

**SUSTAINABLE MANAGEMENT OF DECOMMISSIONED
PHOTOVOLTAIC MODULES IN THE ECOWAS REGION**

О.Ч. Эмем

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко

This research is carried out in partnership with Life Cycle Engineering Centre at the University of Southern Denmark.

Annotation

To address the looming sustainability challenge PV waste pose to the current waste management system in the ECOWAS region of Africa; this study uses a dynamic Material Flow Analysis (MFA) method to model future PV waste flows for current (2009 to 2019) and future PV panel installation capacities (2020 to 2050). The study results for the least PV growth scenario by 2050 shows that secondary materials in the PV waste flow is worth USD 1.9 billion, and is sufficient to produce an estimate of 43.1 million c-Si panels, 8.5 million CdTe panels and 11.1 million CIGS technologies.

Key words

EOL PV modules, PV waste, West Africa, Circular Economy, Recycling.

Introduction

Modern technological advancements continue to reshape our world positively across various performance matrixes like speed, efficiency, functionality and much more. New technologies require several materials during production, which could be toxic metals, critical metals, precious metals, or require a lot of natural resources during production. Hence, scientist, policymakers and other stakeholders must be able to respond quickly to the unique challenge new technologies pose at the end of their useful lives by assessing their material flows, improving existing waste legislation, and in designing a sustainable waste management plan before large quantities reach their end-of-life.

The deployment of solar technologies is vital in decarbonising the global energy sector, with CO₂ reductions projected to reach 4.9 gigatons of carbon dioxide (Gt CO₂) in 2050 [1]. The drop in solar PV projects cost, simplicity of its installation, highly modular solution for both on-grid and off-grid use have made it an accessible and environmentally friendly solution to the global energy issues in many countries [2, 3]. In the coming years, installed PV

capacity could reach 2,840 GW by 2030 and scaled up even further to 8,519 GW by 2050 [1]. However, for every GW of solar PV installed, 4 million PV module is expected to reach end of life in the future [4], and inadequate waste management policies and infrastructure could lead to both economic and environmental losses.

It is imperative that at a national or regional level, countries should develop PV-specific waste legislation and policies to sustainably manage a large number of solar panels reaching their EOL in the coming years. The European Union (EU) for instance, has set a precedent by developing an electronic waste (e-waste) regulation covering PV-specific collection, recovery and recycling targets [5]. Some other countries like the US and Japan, for instance, do not yet have any PV-specific waste regulation in place, but they have general waste regulations which could ensure panel collection, panel testing for hazardous materials, treatment, recycling and a proper disposal pathway [5]. However, in Africa today, no country has been able to enforce any legislation for e-waste that ensures an organised and structured collection or takeback by the producers [6].

Embodied in PV panels are base/special metals (e.g. Al, Cu, Cr, Mn and others), critical metals (Ga, In, Mg and Te), precious metal like silver, other metals (Si and Steel) and other materials (Glass and EVA). Quantifying their flows at EOL provides decision-makers, researchers, authorities, and other relevant stakeholders useful data and insights for waste policy formulation, and designing an effective waste management strategy that focuses on reuse, repair, refurbishment, remanufacturing and recycling to create a closed-loop system in the region. This closed-loop could ensure significant environmental and socio-economic benefits for the ECOWAS region and globally.

Consequently, this study seeks to:

1. Quantify the number of materials in already installed (2009 to 2019) solar PV panels in the ECOWAS region.
2. Forecast the number of materials in future PV installations (from 2020 to 2050) based on future energy scenarios for PV capacity in the region.
3. Estimate the economic potential of technically recoverable materials from EOL solar PV panels in the region.
4. Provide recommendations for solar PV waste management in the region.

This study is the first to access and forecast both on-grid and off-grid PV waste in the region; hence, it contributes significantly to the body of knowledge on the sustainability and economic benefits of green technologies in Africa.

Material and Method

Energy scenario development

The IRENA's power sector planning model for West African countries used to develop a "Renewable Promotion Scenario" up to 2030 [7] is used for this work to model the grid-connected capacity (For more information, see Session 2 of the supporting document) (fig. 1).

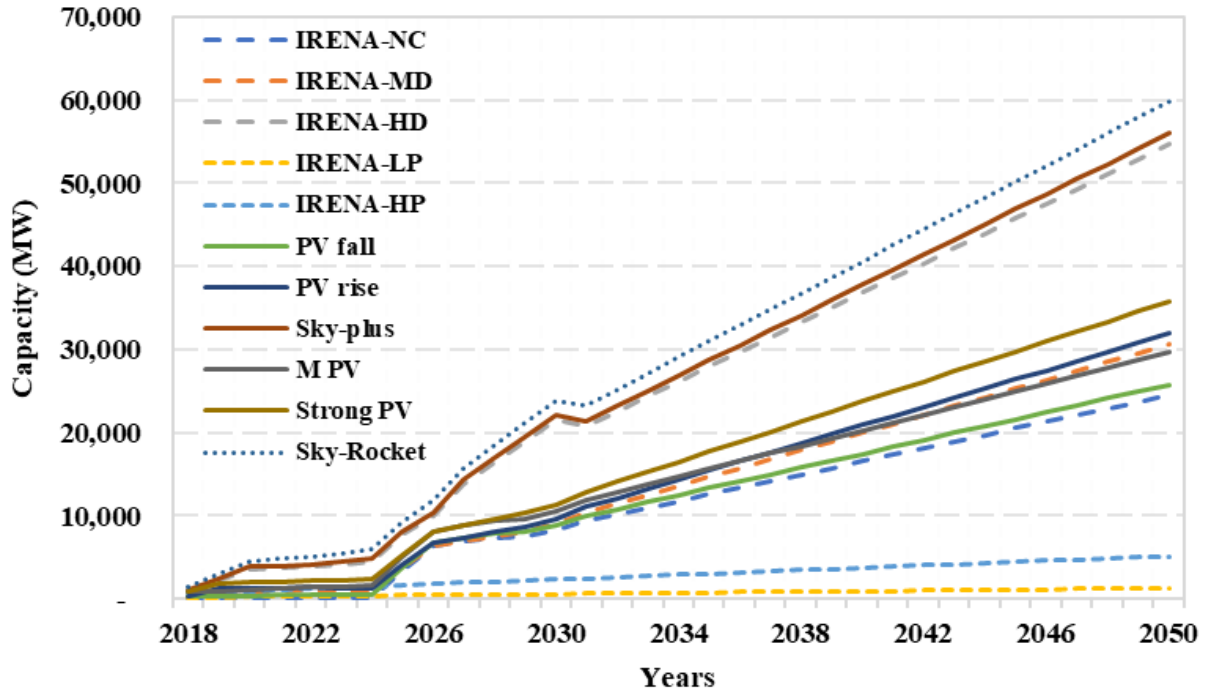


Fig. 1. PV panel capacity scenarios from 2018 to 2050

Waste Modelling

The MFA stock-driven model estimates the waste flows using the annual new and decommissioned capacities of solar PV panels, and the assumed lifetime probability distributions [8, 9]. Meaning that new PV capacities installed and capacities decommissioned will be driven based on the assumed PV panel capacity in-use and the panel lifetime. Equation 1 and 2 below conveys the mathematical relationship between the new and decommissioned PV panels based on their lifetime.

$$Inflow_t = stock_t - stock_{t-1} + outflow_t \quad (1)$$

$$Outflow_t = \sum_{t'=t_0}^{t'-1} inflow_{t'} \times (1 - S_{t-t'}) \quad (2)$$

Where $Inflow_t$ or $inflow_{t'}$ denotes new PV capacities at the year t or t' , while $stock_t$ or $stock_{t-1}$ denotes in-use PV panel capacities at year t or $t - 1$. $Outflow_t$ denotes EOL PV panel capacity at year t while $S_{t-t'}$ refers to the probability that PV panel capacities previously installed will reach the end of their useful life after the in-use period $(t - t')$.

However, it is also important to note that the lifetime of devices follows a distribution pattern [10]; hence, the Weibull distribution function is used to model the PV lifetime distribution based on an early-loss situation, and a regular-loss situation (see equation 3).

$$S(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^\beta} \quad (3)$$

The Weibull function is $S(t)$, the panel life in years is t , the average lifetime of PV panels is τ , and β is referred to as the shape factor because it is responsible for the typical S shape of the Weibull curve. The lifetime distribution varies based on the shape parameter to illustrate the failure rate of a device or product over time [10]. The early-loss situation and regular-loss situation represent two different Weibull shape factors $\beta = 2.4928$ and $\beta = 5.3759$, respectively. The situations use a 25 years average lifetime for the PV panels and a 99.99% probability of loss after 34 years.

Parameters and Material intensity

Evaluating the number of materials in PV waste from the installation capacity requires an understanding of the material composition of PV module technologies, the module specification and the module market share [4, 5, 11]. This work adopts the data obtained from the Photovoltaics Report of the Swiss Centre for Life Cycle Inventories also known as Ecoinvent [12].

Mass determination

We substitute the data on the annual installation of solar PV, the market share of the various PV technologies, the material composition and the panel weight (kg) per unit power (Wp) for each technology into equation (2) based on [13,14].

$$w_y = \sum_{x=1}^y u_x w \quad (4)$$

u_x Is the amount of installed PV panel capacity in MW/year), w is the weight of PV panel (tonnes) per MW, x is the year of installation, and y is the year of waste generation ($x + \text{lifetime}$).

Results and discussions

Current on-grid and off-grid PV panel installation

The fixed-loss situation will be the primary focus of analysis and results in this section. PV panels belong to the category of durable commodities due to their low failure rate [14]. The majority of the PV panel installations between 2009 to 2019, are expected to reach their EOL between 2034 to 2044. fig. 2 shows the results summary and others can be found in the supporting document.

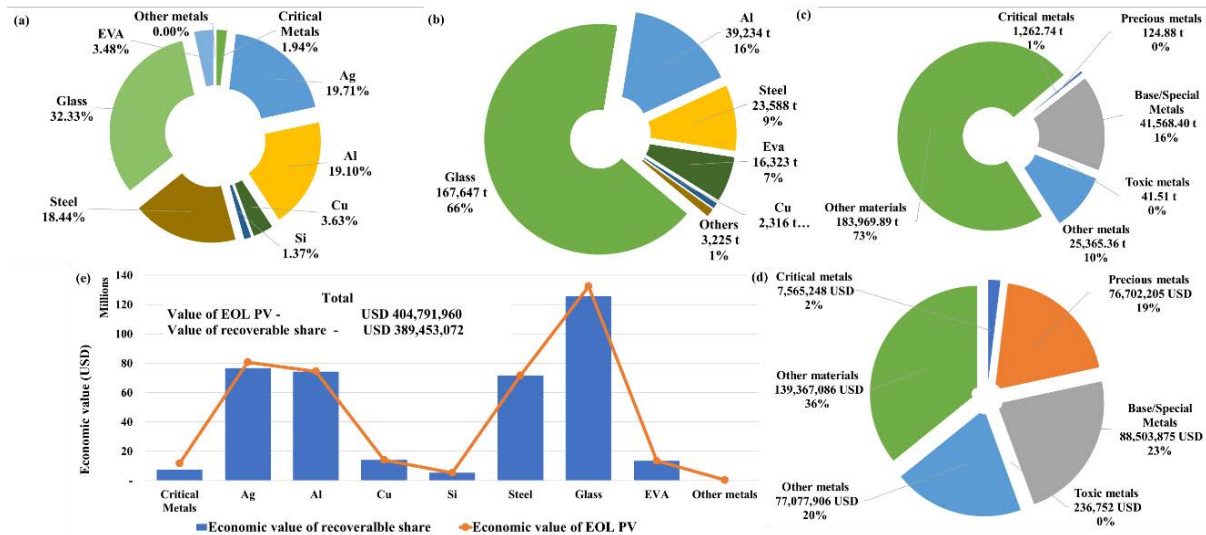


Fig. 2. (a) Share of materials with the highest economic value (%); (b) share of materials by quantity (tonnes) in PV waste generated until 2044; (c) Share by material classification (tonnes & percentage) in PV waste generated until 2044; (d) Economic value share by material classification (USD & %) in PV waste generated until 2044; (e) Potential economic value of PV waste materials generated until 2044 based on the fixed-loss situation

Future on-grid and off-grid PV panel installations

PV fall scenario: The advance c-Si technology is anticipated to outgrow CdTe technologies to be the second most installed panels in the region with 659,884.86 tonnes of PV panels. The CdTe and CIGS technologies have 17.2% of the total mass of panels installed; the emerging technologies have a combined share of 40.6% while c-Si has the largest share of 42.2%.

Sky-Rocket scenario: In this scenario emerging PV technologies are expected to become more competitive in the PV market; although, c-Si technology is projected to have still the highest share in 2050 (42.2%) (fig3.). C-Si technologies are estimated to have 2,751,594 tonnes of PV panels by 2050, while the advanced c-Si technology is estimated to have 1,531,322 (23.4%) tonnes of panels in the technological share. Also, CdTe and CIGS technologies are expected to have 519,029 tonnes (7.9%) and 602,958 (8.2%) tonnes of PV panels installed, respectively.

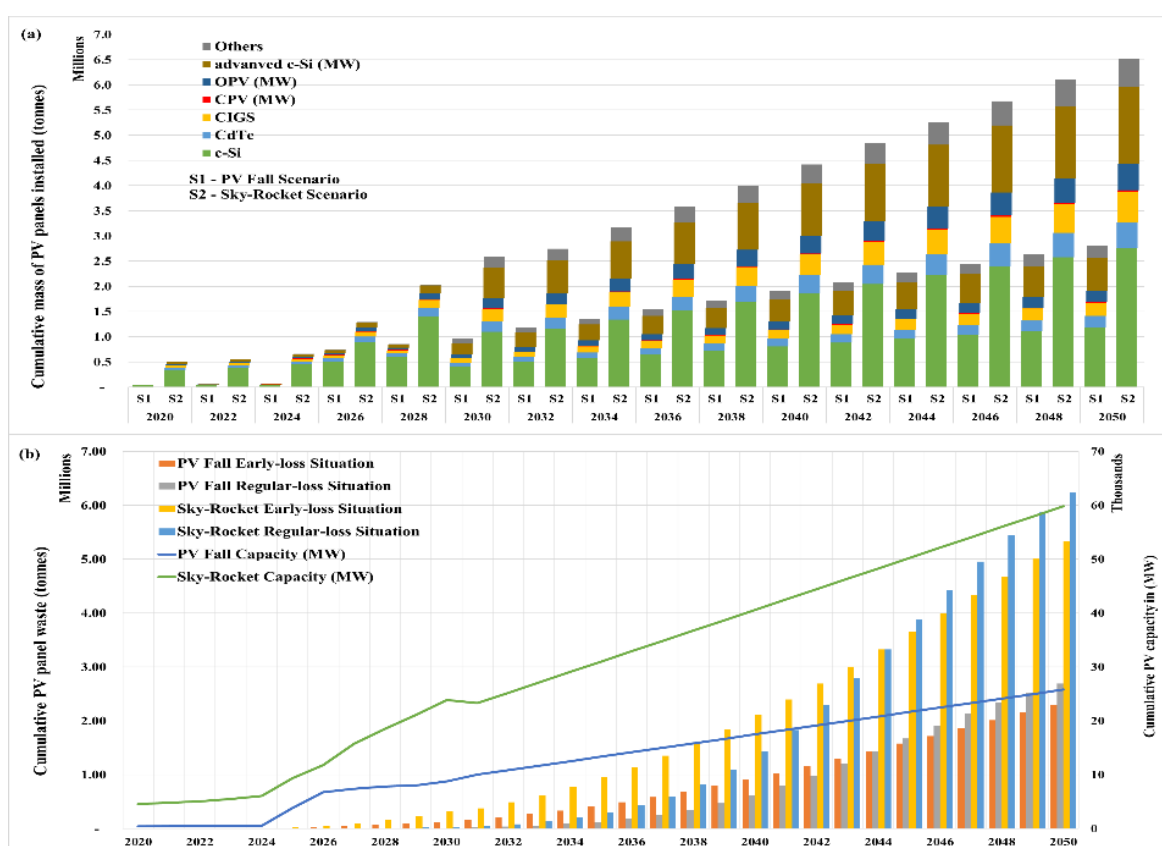


Fig. 3. (a) Cumulative of PV panels installed in tonnes per technology; (b) Estimated cumulative PV waste volumes (in tonnes) in the ECOWAS region. [PV fall scenario and Sky-Rocket Scenario]

The material composition of future PV capacities has limited data on emerging technologies; however, the flow of critical metals in the c-Si, a-Si, CdTe and CIGS, which make up 59.4% of the cumulative waste flow by 2050 is shown. For instance, the amount of Magnesium required to meet the material demand for c-Si technology market share in the region by 2050 is an inflow of 6,166 tonnes while an outflow from in-use capacities at the same year is between 4,971 tonnes (early-loss) and 5,816 tonnes for regular loss. However, Magnesium has a recycling yield of just 33%, which makes the material critical for the region to achieve its intended PV capacity target (fig. 4).

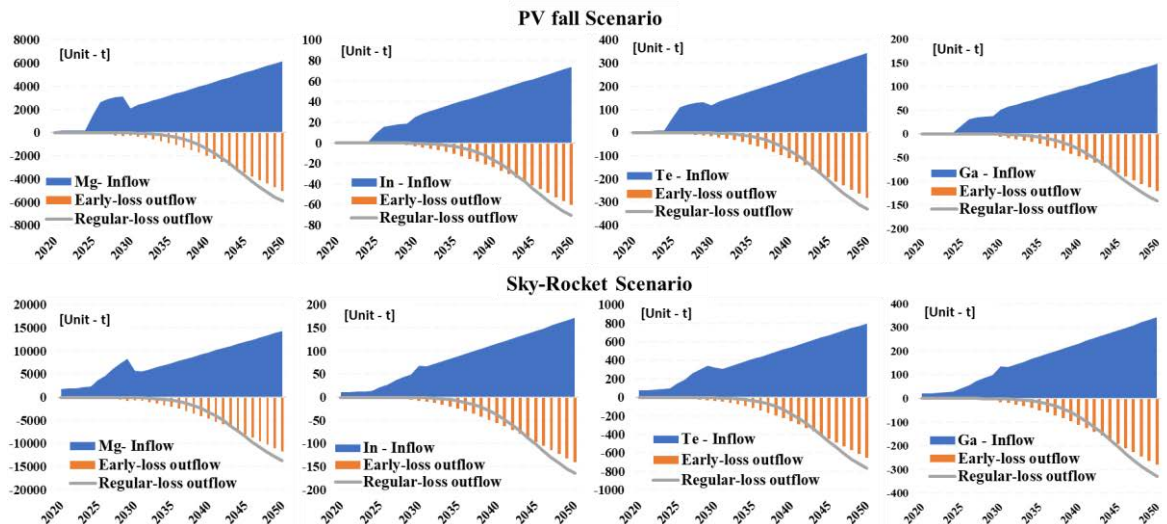


Fig. 4. Material inflows for future installed PV capacity in ECOWAS and potential secondary materials supply (outflows) from decommissioned capacity from 2020 to 2050 in the PV fall scenario.
Note: positive numbers represent inflows and negatives represent outflows

The socio-economic value of EOL PV and the circular economy

Solar PV waste presents a more valuable waste estimated to be over USD 338 million in this study for already installed PV panels. The early-loss situation for PV fall by 2050 is the least expected PV waste in the region and yet, shows compelling socio-economic benefits. After excluding the share of emerging technologies, the PV fall scenario (early-loss) projects that recovered materials in PV waste can be utilised as secondary materials to produce about 43.1 million c-Si panels, 8.5 million CdTe panels and 11.1 million CIGS technologies. The economic value of the PV waste flow is also estimated to be USD 1.9 billion for raw materials alone.

An effective EOL PV management system in the region could provide new job and business opportunities throughout the waste management cycle from collection, storage, treatment and recycling on one hand. On the other hand, the pay for performance business model could ensure a higher collection and recycling rates in the region since the consumers are only paying for the service and not the product (fig. 5).

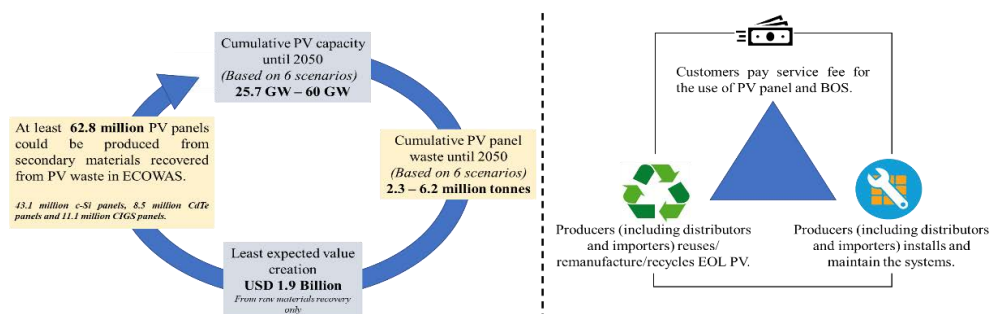


Fig. 5. (Left) EOL PV pathway towards a circular economy in ECOWAS from PV stock between 2020 to 2050, (Right) Pay for performance circular business model

Conclusion

The main results for current on-grid and off-grid installation (2009 to 2019) include;

- The cumulative capacity of already installed on-grid and off-grid PV capacity is 2,341 MW and has a cumulative mass of 254,245 tonnes. Materials such as glass, Aluminium

and steel make up 62%, 18% and 11% of the future waste stream, respectively. Critical metals in the waste stream have a mass of 1,262 tons while toxic metals have a mass of 41.51 tonnes. For future on-grid and off-grid PV capacities, 6 different PV capacity scenarios based on national renewable energy targets, regional targets and no policy changes coupled with off-grid PV growth trend is developed for 2020 to 2050. The key findings include;

- PV capacity for the region is forecasted to be within 25.7 GW for the most conservative scenario and 60 GW for the most ambitious scenario. By 2050, PV losses for the least scenario estimate an early-loss situation of 2,300,355 tonnes and a regular-loss situation of 2,691,588. For the most substantial scenario, an early-loss and regular-loss situation of 5,338,179 tonnes and 6,246,070 tonnes is projected.

In the ECOWAS region, a large number of valuable materials can be lost in the continued lack of appropriate PV waste management policies, regulations and most importantly, a structured and organised waste collection system which is currently absent in the region. Further work to assess the environmental impact and life cycle cost of recycling in the region will contribute to helping the region develop a sustainable managing system for the impending PV waste.

References

1. IRENA. Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. 2019. 73 p.
2. Hillman K. et al. Climate Benefits of Material Recycling // Nordic Council of Ministers. Nordic Council of Ministers. 2015.
3. Solar Power Europe. Global Market Outlook: For Solar Power 2018-2022. 2018.
4. Domínguez A., Geyer R. Photovoltaic waste assessment in Mexico // Resources, Conservation and Recycling. Elsevier. 2017. Vol. 127. No. February. P. 29–41.
5. IRENA, IEA-PVPS. End-Of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels // IEA Photovoltaic Power Systems Programme. 2016. 100 p.
6. Magalini F., Sinha-Khetriwal D., Rochat D., Huisman J., Munyambu S., Oliech J. I.K.N. and O.M. Electronic waste (e-waste) and mitigation options in the off-grid renewable energy sector. 2016. No. August.
7. IRENA. West African Power Pool : Planning and Prospects for Renewable Energy. 2018.
8. Liu G., Bangs C.E., Müller D.B. Stock dynamics and emission pathways of the global aluminium cycle // Nature Climate Change. 2013. Vol. 3. No. 4. P. 338–342.
9. Cao Z. et al. Resourcing the Fairytale Country with Wind Power: A Dynamic Material Flow Analysis // Environmental Science and Technology. 2019.
10. Kim H., Park H. PV waste management at the crossroads of circular economy and energy transition: The case of South Korea // Sustainability (Switzerland). 2018. Vol. 10. No. 10.
11. Domínguez A., Geyer R. Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America // Renewable Energy. Elsevier Ltd. 2019. Vol. 133. P. 1188–1200.
12. Jungbluth N. et al. Life-cycle inventories - Photovoltaics // Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. -2009. No. 6–XII.
13. Paiano A. Photovoltaic waste assessment in Italy // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 2015. Vol. 41. P. 99–112.
14. Mahmoudi S., Huda N., Behnia M. Photovoltaic waste assessment: Forecasting and screening of emerging waste in Australia // Resources, Conservation and Recycling. Elsevier, -2019. Vol. 146. No. March. P. 192–205.

**УЧАСТНИКИ КОНКУРСА
НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ
ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»**

Агембо Эванс

Год рождения: 1985

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

магистрант группы Т4118с,

направление подготовки 19.04.01 – Биотехнология

e-mail: eaagembo@gmail.com

Баракова Надежда Васильевна

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

к.т.н., доцент,

e-mail: barakova@corp.ifmo.ru

UDC 663.085

**THE USE OF ULTRASOUND AND FULVIC
ACID IN THE TECHNOLOGY OF EXTRACTING PROTEIN FROM
SUNFLOWER MEAL**

E. Agembo

Scientific supervisor – ph.d., associate professor N.V. Barakova

The work was performed in the framework of the research subject №617027 «Resource-saving green biotechnology for functional and targeted foods based on complex utilization of foodstock».

Annotation

The main objective of the study was to develop a technology for the recovery of protein isolate from sunflower meal. According to the Lowry method for the determination of water-soluble protein, the concentration of water-soluble protein in the extracted protein isolate is the highest (3.37 g) after 15 minute ultrasound treatment. There was also found the highest yield of protein isolate (42.8±0.2%) after 15 minutes of ultrasound treatment.

Keywords

Sunflower meal; fulvic acid; ultrasound technology; phenolic compounds; protein isolate.

The heightened demand and overdependence on animal proteins and the shortcomings associated with such protein source has compelled the food experts to pursue alternative sources of proteins, such as plant proteins, to offset the increasing protein demand globally. However, such efforts have not addressed the protein gap, partly because of the high cost of production and the inadequate nutritional and functional attributes of food sources. The current study proposes a technology that not only uses the defatted sunflower meal which is a waste product of sunflower oil extraction but also embraces a safer ultrasound technology and an organic acid to extract the proteins. The outcome is a protein isolate with enhanced organoleptic properties, safe for human consumption and produced at a relatively lower cost.

More than 843 million people suffer from malnutrition, most of whom have specific nutrient deficiencies. A further 1 billion people have inadequate protein intake. An increase in population to the anticipated 9.6B will increase the demand for protein by 75% in 2050 [1].

However, the overdependence on animal protein presents enormous challenges, including adverse environmental pollution, high costs of animal proteins, and health concerns. Thus, there is increasing interest in the plant proteins, including oilseed meal proteins, and

among them sunflower meal proteins. The meal is a viable source of plant proteins, containing between 30% and 50% protein [2], and up to 66% subject to the dehulling process [3]. Scholars have emphasized the suitability of the meal as an alternative protein source not only because of its high protein content but also its low content of the anti-nutritional agents [4].

However, the use of sunflower meal as a protein source for humans is limited due to the phenolic compounds present. This can be amended by isolating the sunflower meal protein while keeping its nutritional properties. The primary objective of this study was to develop an ultrasound-aided technology for protein isolate recovery from defatted sunflower meal.

The main object of the study was a defatted sunflower meal obtained from Samara Agroprom Works with the principal components as shown in tab. 1 below.

Table 1

Biochemical characteristics of defatted sunflower meal

Biochemical component	Content (%)
Proteins	39.82
Moisture	10.00
Fibre	16.95
Ash insoluble in HCl	0.10
Oils	0.90
Water-soluble proteins	10.00
Total ash	6.50

The second object was fulvic acid (pH 1) obtained from the Limnology Institute, Russian Academy of Science, St. Petersburg, Russia. Fulvic acid was extracted from sapropel (Seryodka deposit, Pskov, Russia) through the process of cavitation using hydrochloric acid.

Fulvic acid was used for the following benefits. First, it is known to lower the surface tension of water, thereby enhancing the solubility of otherwise insoluble organic materials. It also binds substances and makes them easy to remove from a solution.

Next, the acid enhances the availability of nutrients, making them readily absorbable. This improves the safety and quality of the end product. Importantly, fulvic acid is an organic acid and regarded as safe for use in the extraction of protein isolate, including human consumable isolate.

As of now, there is little data on the use of fulvic acid in protein isolate extraction. We were unable to pinpoint any study that utilized this organic acid in the extraction of protein isolate from sunflower meal.

The protein isolate was extracted from the defatted sunflower meal in three phases: The removal of phenolic compounds using 80% ethanol; Sample pre-treatment with ultrasound of 20 kHz frequency at 45°C and for a different duration (5 mins; 10 mins; 15 mins; or 20 mins); Protein isolate extraction using fulvic acid at a pH of 4.5.

Extraction and Determination of Phenolic Compounds

Initially, 100 g of granulated defatted sunflower meal was crushed using a grinder and sieved with a 1 mm diameter screen (St. Petersburg, Russia).

Ethanol solution (80%) was added to the sample in the ethanol:sample ratio of 5:1 to extract the phenolic compounds. The mixture was stirred for 60 mins and filtered using filter paper. The filtrate was evaporated using EV311 rotary vacuum evaporator (LabTech, Milan,

Italy) at 78°C. The precipitate was air-dried in the cabinet dryer ES-4610 (Reaktivsnab, Shymkent, Kazakhstan) at a temperature of 50°C for about 60 mins and moisture content established at 10% using the moisture analyzer MOC-120H (Shimadzu, Tokyo, Japan). The total phenolic compounds concentration was determined using the Folin-Ciocalteu technique.

Sonication of the Samples

The sunflower meal sample was measured (97 g) and divided into five equal samples of 19 g each, including a control sample. The samples were mixed with 150 ml of distilled water each and shaken for 2 h to ensure a homogenous mixture. The four samples other than the control sample were sonicated using an ultrasound machine (UIP01000hdT, Hierscher, Germany) in a 200 ml beaker and immersed in ice berth to maintain the temperature of samples below 50°C. The samples were sonicated at a frequency of 20 kHz and a temperature of 45°C for 5 mins, 10 mins, 15 mins, or 20 mins.

Extraction of Protein Isolate Using Fulvic Acid

After sonication, 0.1M NaOH was added to raise the pH of samples to 8. The pH-adjusted samples were centrifuged for 20 mins at 4500 rpm (ULAB centrifuge, Beijing, China). After centrifugation, the pH of the supernatant was adjusted to 4.5 using fulvic acid (pH 1) and subjected to centrifugation for 20 mins at 4500 rpm. The pellets were separated from the supernatant, washed twice and re-suspended in deionized water, and finally dried using a freeze drier (Labconco 7400030, USA) and stored in a freezer at -18°C. Automatic titrator 848 Titrino Plus (Metrohm) was used to determine fulvic acid and sample pH.

Determination of Water-Soluble Proteins and Protein Isolate Yield

The concentration of water-soluble proteins was determined according to the Lowry method of 1951. The protein isolate samples was weighed, and the yield of the protein isolate samples was found. Protein yield was calculated as a ratio of extracted and total protein and multiplied by 100 to express in percent.

The sample with optimal results was used to compare the extraction of protein isolate with either fulvic or succinic acid. The yield was again established in percent.

The generated data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using Origin statistical software (Origin Lab, version 8.1) at 5% significance. All measurements were made in triplicate. Results were reported as means $\pm$ standard deviations.

Results and Discussion

The yield of protein isolate was established after the protein extraction process to the results stipulated in fig. 1 below. The outcome of the study reported the highest protein isolate yield ($42.8 \pm 0.2\%$) after a 15 minute sunflower meal treatment with ultrasound.

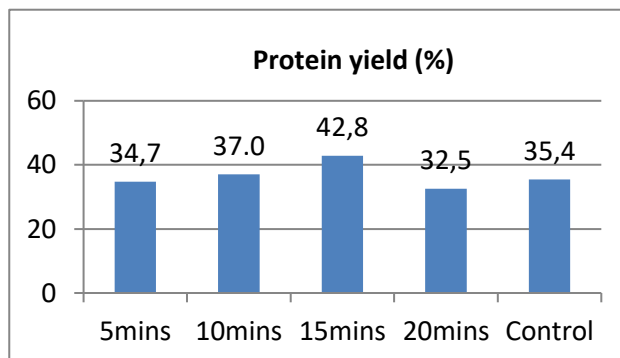


Fig. 1. The yield of protein

Similarly, the highest concentration of water-soluble proteins (3.47 g) was established after 15 mins of sample treatment with ultrasound, as shown in fig. 2 below.

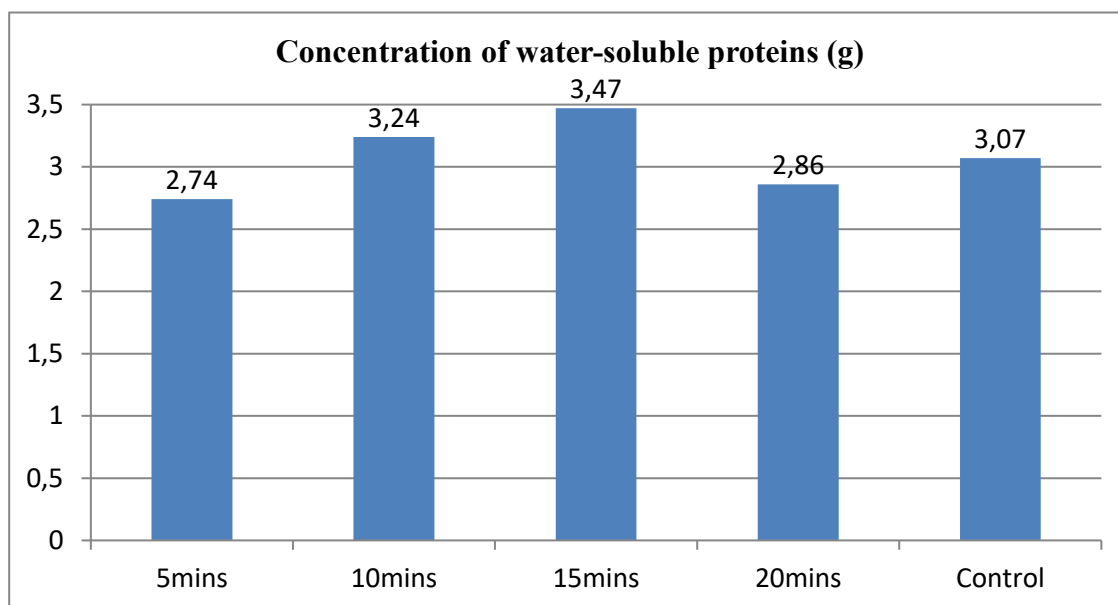


Fig. 2. The concentration of water-soluble proteins

The best outcome of fulvic acid in protein precipitation was achieved at pH 4.5.

The amounts of succinic and fulvic acid used in 20 g meal sample extraction were measured and recorded as 9 ml and 7 ml, respectively.

Thus, it requires 28.6% less fulvic acid to extract protein isolate from 20 g of the sunflower meal compared to succinic acid.

In terms of protein yield, the use of fulvic acid yielded 3.75 g as compared to the yield from succinic acid of 3.5 g.

Therefore, we will get 6.6% more yield of protein isolate if fulvic acid is used in the extraction of protein isolate as opposed to succinic acid. fig. 3 below highlights the differences between fulvic and succinic acid discussed.

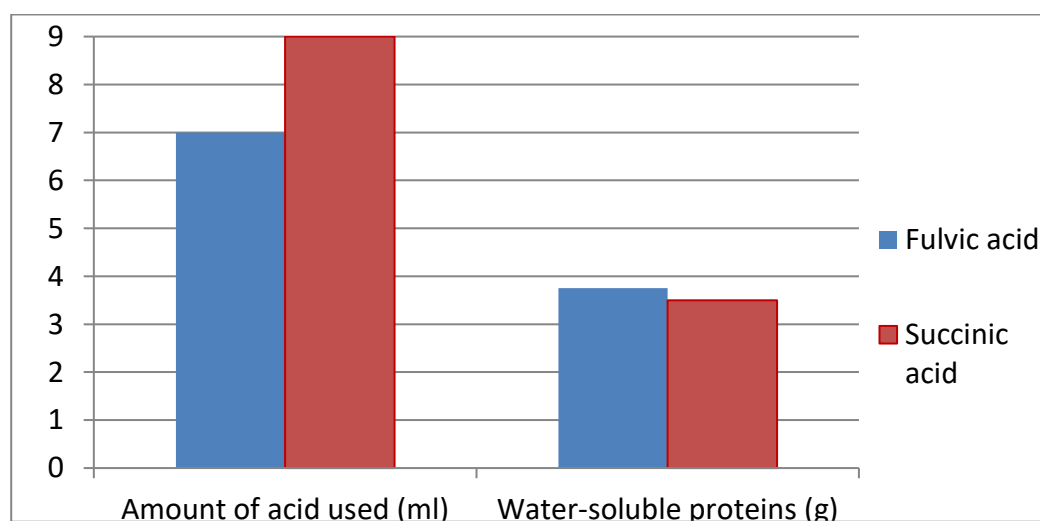


Fig. 3. A comparison of fulvic and succinic acid

The resultant isolate was evaluated based on the parameters shown in tab. 2 below.

Table 2

Characteristics of the Protein Isolate

Parameter	Measurement/Characteristic
Water retention capacity	2.0±0.1 g water per g isolate
Colour of the isolate	Creamy white
Texture of the isolate	Soft
Odour of the isolate	Pleasant, sunflower seed smell

The water retention capacity (WRC) was calculated using the formula [5].

The 2.0±0.1g/g reported in this study coincides with previous studies which have fallen within this range. A previous study on the extraction of sunflower proteins reported 2.00±0.23g/g as the measurement for WRC of protein isolate. Except for the WRC, these authors established that sunflower protein isolate had the highest WRC and fat emulsifying values compared to all other protein isolates [5].

The creamy white colour of the isolate can be possibly attributed to the washing of the sunflower meal with ethanol during phenolics extraction.

The phenolic compounds were extracted and determined using the Folin-Ciocalteu method, and the result shown in the following tab. 3.

Table 3

The concentration of phenolic compounds

Parameters	Average measurements
Moisture content of the defatted meal (%)	11.80±1.65
Phenolics in the dry meal matter (mg/100 g)	1083.00±43.29

The proposed technology presents a promising outcome regarding the extraction of protein isolate from sunflower meal. First, results show that 15 minutes of sunflower meal ultrasound treatment yields not only a high amount of protein isolate but also the highest water-soluble protein concentration. The low power of ultrasound had no impact on the extraction process, but as a time of sonication increased, so did the yield until the optimum period at 15 mins. Ultrasound generates cavitation, which causes the disintegration of the particles in the sunflower meal samples, thereby improving mass transfer. As sonication power increases, the acoustic cavitation also intensifies, exposing the intracellular proteins and increasing the extraction efficiency and yield. However, a further increase in acoustic cavitation causes aggregation, which in turn hinders the extraction process by reducing the release of the intracellular proteins. This explains why the yield reduces if the ultrasound treatment lasts more than 15 minutes.

The outcome of this research concurs with previous studies on the optimal time for ultrasound-based protein isolate extraction from sunflower meal. A previous study utilized Box-Behnken design to ascertain the optimal conditions for protein extraction from sunflower meal, mainly based on yield and energy consumption [3]. Similarly, the findings of this study

revealed that an extraction time of 15 minutes, the temperature of 45°C, and a density of 220 W/l were the ideal conditions for ultrasound-aided protein extraction from sunflower meal.

Our study has established that fulvic acid is effective in protein isolate extraction when compared to succinic acid, in both the volume consumed and the yield of protein isolate. Besides, the technology has enhanced/restored the high-water retention capacity of the protein isolate. This outcome is supported by similar studies conducted in the past, which also affirmed that the treatment of sunflower meal using ultrasound improved the oil binding capacity, foam stability and capacity, solubility, emulsion stability, and emulsifying capacity of the proteins [4]. Protein WRC is a vital functional characteristic because it determines the texture, color, and other sensory properties of food as well as its storage stability.

Therefore, our isolate can be used in any foods that require high WRC protein, such as baked or meat products.

Conclusion

Ultrasound technology and fulvic acid are effective in extracting protein isolate from sunflower meal, especially under optimal conditions. It is advisable to pretreat the sunflower meal for 15 minutes before the extraction process to achieve maximum yield and high concentration of water-soluble proteins. Fulvic acid is more effective in protein extraction compared to succinic acid, particularly at a pH of 4.5. It requires 28.6% less fulvic acid to precipitate the protein compared to succinic acid when the experiment is carried out under the optimal conditions. The yield of protein isolate is also 6.6% higher when using fulvic acid. Ultrasound-based technology enhances the sensory properties of protein isolate such as its colour and odour, as well as other properties like water retention capacity. The protein isolate extracted through the above process can be used in the bakery industry, meat processing, in supplementing other protein-deficient food products.

References

1. Alexandratos N., Bruinsma J. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision/Nikos Alexandratos, Jelle Bruinsma//Rome: FAO/ 2012. 147 p.
2. Ivanova P. et al. Amino acid composition and solubility of proteins isolated from sunflower meal produced in Bulgaria/ Ivanova P., Chalova V., Koleva L., Pishtiyski I.// International Food Research Journal. 2013. Issue 20(6). P. 2995–3000.
3. Dabbour M. et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of protein from sunflower meal and its physicochemical and functional properties/Dabbour M., He R., Ma H., Musa A. // Journal of Food Process Engineering. 2018. Issue 41(5). P. 12799.
4. Malik M.A. et al. High-intensity ultrasound treatment of protein isolate extracted from de-phenolized sunflower meal: Effect on physicochemical and functional properties/ Malik M.A., Sharma H.K., Saini C.S. //Ultrasonics Sonochemistry. 2017. Issue 39. P.511–519.
5. Shchekoldina T., Aider M. Production of low chlorogenic and caffeic acid-containing sunflower meal protein isolate and its use in functional wheat bread making/ Shchekoldina T., Aider M.//Journal of Food Science and Technology. 2014. Issue 51(10). P. 2331–2343.

Аверьянов Владимир Андреевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

студент группы № В42081,

направление подготовки: 12.04.02 – Прикладная оптика,

e-mail: abuelos@yandex.ru

Васильев Александр Сергеевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

к.т.н., доцент,

e-mail: a_s_vasilev@itmo.ru

УДК 535.343.32

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЛАБОРАТОРНОГО СПЕКТРОМЕТРА БЛИЖНЕГО
ИК ДИАПАЗОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЧЕЛИНОГО МЕДА**

В.А. Аверьянов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.С. Васильев

Аннотация

В ходе работы рассмотрены основные методы контроля качества меда, проведен анализ возможности применения спектрального анализа в качестве нового перспективного метода оценки меда. Сформулированы требования к разрабатываемому устройству. Произведены необходимые расчеты спектрометра. Разработаны структурная, оптическая и электрические принципиальные схемы, а также конструкция спектрометра. Проведено исследование спектров поглощения основных сортов меда.

Ключевые слова

Спектральный анализ, мёд, инфракрасное излучение, спектр поглощения, метод контроля, дифракционная решетка, термоэлектрическое охлаждение.

Анализ текущего состояния на рынке сбыта мёда показал, что большинство продукции не является натуральным мёдом и иногда этот показатель достигает 70%. Наиболее распространенными методами фальсификации являются: добавление крахмала или сахарного сиропа, а также вываривание соков фруктов и применения порошкового мёда. Понятие натурального мёда и методы контроля качества устанавливаются ГОСТ [1, 2, 3].

Установить натуральность мёда по одному из признаков не всегда возможно, как правило, применяется несколько методов для объективной оценки. В качестве нового перспективного дополнительного метода предлагается внедрение методики спектрального анализа меда.

Актуальность данной работы заключается в разработке малогабаритного, простого в использовании, спектрометра, позволяющего оценивать натуральность меда.

Целью данной работы является разработка лабораторного спектрометра ближнего ИК диапазона для оценки качества пчелиного меда. Для выполнения поставленной цели необходимо было провести анализ существующих решений, выбрать принцип работы и разработать структурную схему спектрометра, выполнить габаритно-

энергетический расчет системы, разработать оптическую и электрическую схемы спектрометра, разработать конструкцию спектрометра, а также провести исследование алгоритмов определения качества пчелиного меда в спектрометрии.

Существует большое количество методов контроля меда. Они относятся как к оптическим, так и к неоптическим [4].

При исследовании одним из представленных методов установить полностью натуральность меда невозможно. Большинство методов требует длительной подготовки, приготовления различных растворов с применением едких и опасных для здоровья человека реагентов. Требуется квалифицированный персонал и различное лабораторное оборудование.

Новым перспективным методом контроля меда может стать спектральный анализ. Его применение могло бы упростить и ускорить процедуру контроля, повысить вероятность выявления фальсифицированной медовой продукции по новому признаку.

Результаты эксперимента в средней ИК области позволяют установить наличие в мёде фруктозы, сахарозы, глюкозы. Кривые пропускания этих веществ в чистом виде похожи. По полученным кривым пропускания установлены две характерные точки – 2850 нм, 3333 нм.

По соотношению пиков пропускания можно сделать вывод содержания сахарозы. На практике, большой процент содержания сахарозы в образце говорит о разбавлении меда сахарным сиропом или об обильной подкормке пчел [5].

Данный метод является качественным и не дает количественной меры о содержании той или иной добавки.

Недостаток информации о спектральных характеристиках меда в ближней ИК области не дает возможности провести дальнейшее исследование данного метода. Поэтому и было принято решение о разработке спектрометра для работы в этом диапазоне.

Были сформулированы основные требования к устройству, где спектральный диапазон лежит в пределах 900 – 1700 нм, а оптическое разрешение не менее 10 нм.

Разрабатываемый спектрометр предназначен для измерения спектров поглощения мёда и последующей передачи полученных данных на компьютер. Анализируется излучение, прошедшее через образец.

В устройстве использована неперекрестная симметричная схема Черни-Тернера с порядком дифракции +1. Данная схема является достаточно распространенной и простой в реализации [6].

Структурная схема спектрометра, состоит из множества узлов (рис. 1). Источником излучения служит стабилизированная галогеновая лампа (ГЛ). Излучение, попадающее в оптический блок (ОБ), проходит через кювету с исследуемой пробой мёда (К). Оптический блок включает – состоит из входной щели (ВЩ), коллимирующего зеркала (КЗ), дифракционной решетки (ДР), фокусирующего зеркала (ФЗ), линейного ПЗС-приемника (ПОИ).

ПЗС-приемник преобразует полученные спектры поглощения в электрические сигналы блоком обработки и передачи данных (БО). Эти сигналы преобразуются в более мощные – усилителем (УС). Затем усиленный сигнал оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Сформированный АЦП цифровой сигнал обрабатывается микроконтроллером (МК). Обработанные данные передаются на электронно-вычислительную машину (ПЭВМ). Передача данных осуществляется посредством USB-интерфейса.

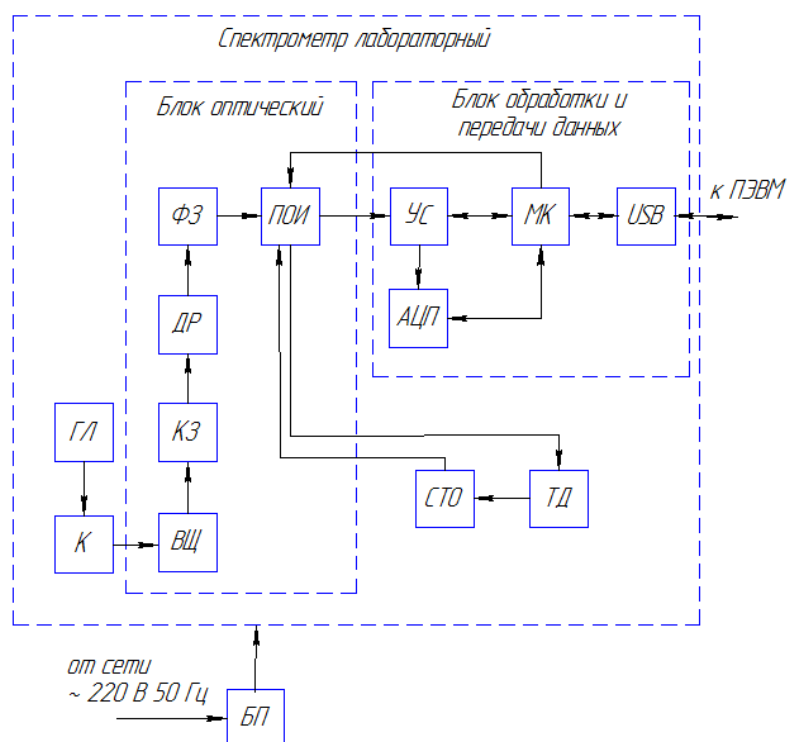


Рис. 1. Структурная схема лабораторного спектрометра

Поддержание постоянной рабочей температуры линейного ПЗС-приемника обеспечивается системой термоэлектрического охлаждения (СТО), основанной на эффекте Пельтье. Температурный датчик (ТД) управляет работой СТО. Источником питания всех активных элементов спектрометра является блок питания (БП).

Задачей габаритного-энергетического расчета являлось определение взаимного расположения компонентов схемы и их параметров, удовлетворяющих заданным техническим требованиям. Рассчитанная оптическая система была промоделирована в Zemax. Там же произведен расчет конструктивных размеров оптических элементов. В результате разрешение спектрометра составляет 3,2 нм при ширине щели: 25 мкм и числом штрихов дифракционной решетки 150 штр/мм. Фокусное расстояние зеркал составляет 100 мм, а чувствительности ПОИ равна 0,963 А/Вт. Световой поток на плоскости ПОИ – 2,07 мкВт.

Далее была разработана оптическая принципиальная схема, где 1 – кювета; 2 – щель входная; 3 – зеркало коллимирующее; 4 – решетка дифракционная; 5 – зеркало фокусирующее. В качестве источника предложено использовать галогеновую лампу Newport 6319 с широким спектральным диапазоном. А в качестве приемника была выбрана ПЗС-линейка Hamamatsu G9204-512DA на основе InGaAs-соединения (рис. 2). Данный приемник имеет малую величину темнового тока и большой размер пикселей, что позволяет добиться высокой чувствительности [7, 8].

При работе устройства у ПЗС-сенсора сильно повышается температура, которая напрямую влияет на его чувствительность [7]. Следовательно, для поддержания характеристик в норме, было необходимо разработать систему охлаждения ПОИ, основанную на термоэлектрическом модуле Пельтье.

Выбранный термоэлемент обеспечит охлаждение в широком диапазоне температур, благодаря ему, отклонение характеристик ПЗС будет минимальным. Режим работы системы охлаждения осуществляется разработанной схемой управления.

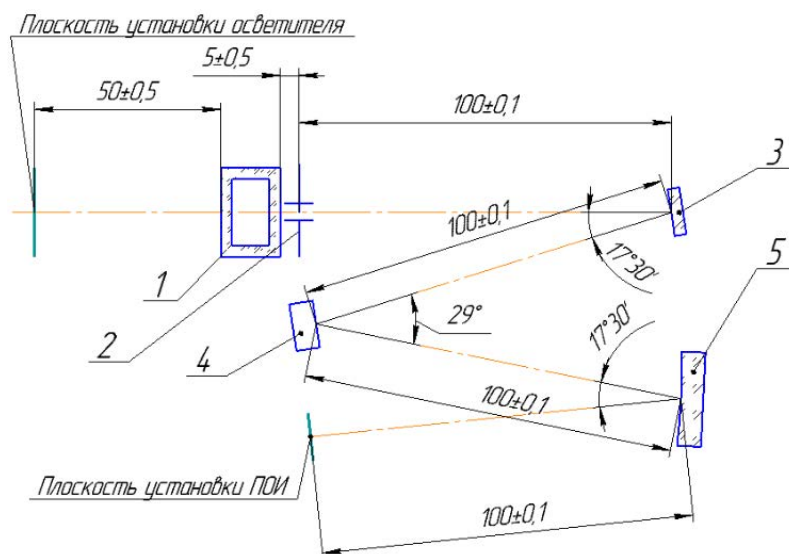


Рис. 2. Оптическая принципиальная схема лабораторного спектрометра

В работе была разработана электрическая схема. Рассчитана схема одноканального усилителя сигнала с ПЗС-сенсора. Усиленный сигнал преобразовывается в цифровой вид при помощи 12-битного АЦП. Считывание, обработка данных и взаимодействие с ПЭВМ осуществляется при помощи МК. Для поддержания спектральных характеристик галогенового источника, была разработана импульсная схема питания, с возможностью плавного включения лампы.

Также была разработана конструкция лабораторного спектрометра (рис. 3). Корпус спектрометра (9) разделен на 2 части перегородкой (7). Осветительный блок отделен от оптического блока и блока размещения электроники. В осветительном блоке находится источник излучения (6). Кювета (8) устанавливается в специальный держатель (5). Коллимирующее и фокусирующее зеркала (1, 2) закрепляются в оправе прижимными планками. Дифракционная решетка помещается в оправу (3), которая может поворачиваться, что дает возможность юстировки системы. Плата с ПЗС крепится к кронштейну (4). Между кронштейном и платой устанавливается термоэлемент Пельтье. В электрическом блоке размещаются все электронные компоненты спектрометра (13). Все блоки закрываются общей крышкой (10). При этом обеспечивается полная защита от проникновения света снаружи и между блоками спектрометра. Предусмотрена возможность смены кювет.

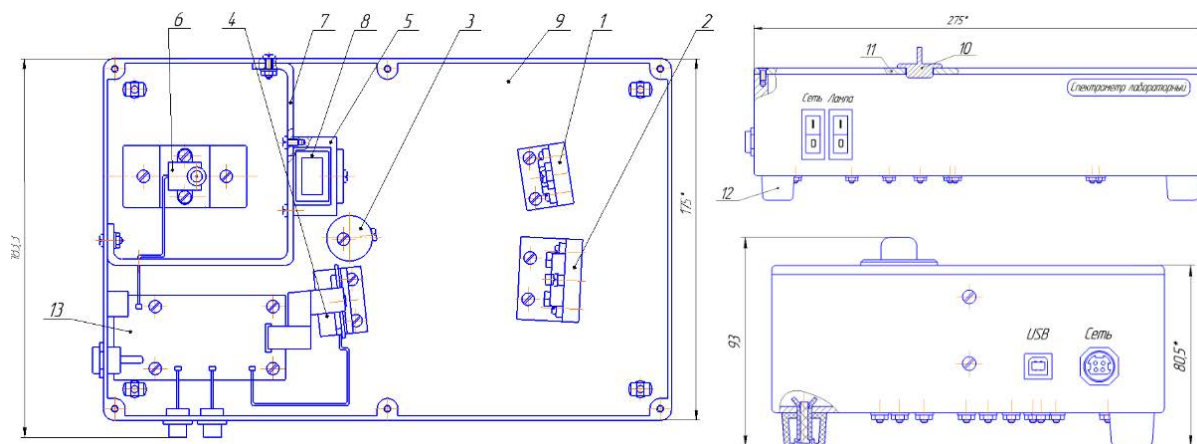


Рис. 3. Конструкция лабораторного спектрометра

В существующих изданиях можно найти только поверхностную информацию, за исключением исследования меда в средней ИК-области. В результате, было решено провести эксперимент по исследованию спектров поглощения меда в видимой области спектра.

В качестве исследуемых образцов меда были использованы 4 различных наиболее распространенных сорта в России.

В результате, все образцы имеют схожую кривую спектра. А именно, максимумы поглощения приходятся на 420 – 440 нм, затем кривая спектра монотонна. Однако, спектр подсолнечного меда имеет три характерных максимума поглощения при 450 нм, 510 нм и 565 нм (рис. 4).

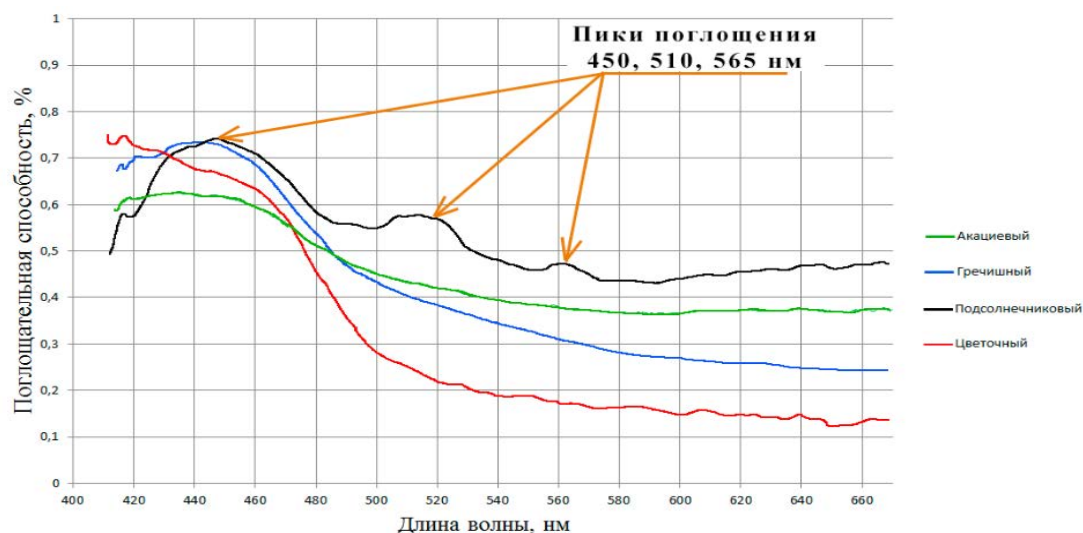


Рис. 4. Графики спектров поглощения основных сортов меда

Известно, что подсолнечниковый мед является самым дешевым медом, и зачастую недобросовестные пчеловоды выдают его за другой сорт или разбавляют им иные сорта. Этот факт может быть использован при контроле качества меда и подтверждает эффективность применения данного метода.

В результате были выполнены все поставленные ранее задачи. Разработана конструкция спектрометра. В дополнение ко всему разработана система термоэлектрического охлаждения ПЗС-приемника.

Научная новизна работы заключается в том, что установлены характерные точки подсолнечникового меда, отличающего его среди прочих сортов. Данное обстоятельство позволяет выявлять фальсифицированный мед, полученный путем размешивания дорого сорта более дешевым.

Практическая значимость работы заключается в том, что представленные технические результаты работы позволяют внедрить разработанный спектрометр в качестве контрольно-измерительного устройства, позволяющего проводить измерения спектров поглощения меда в ближней ИК-области. Полученные экспериментальные данные работы могут лечь в основу нового ГОСТ, регулирующего методы контроля меда.

Литература

1. Мёд без пчел. Что продают россиянам под видом продуктов с пасеки. [Электронный ресурс] // URL: [https:// samara.aif.ru/society/ details/ myod_bez_pchel_chno_prodayut_rossiyanam_pod_vidom_produktoy_pchelovodstva](https://samara.aif.ru/society/details/myod_bez_pchel_chno_prodayut_rossiyanam_pod_vidom_produktoy_pchelovodstva) (дата обращения 10.01.2020).

2. Как выбрать правильный мед. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mk.ru/social/2014/10/27/kak-vybrat-pravilnyu-med.html> (дата обращения 10.01.2020)
3. Китайский мед на российском рынке: мифы и факты. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.apiworld.ru/1468960003.html> (дата обращения 10.01.2020)
4. ГОСТ 25629-2014 Пчеловодство. Термины и определения [Текст]. М.: Стандартинформ/ 2019. 33 с.
5. Исследование метода спектрального анализа для определения натуральности меда. Ковшова К.А., Сыпин Е.В, Лисаков С.А., Бийский технологический институт АлтГУ, г. Бийск. Южно-Сибирский научный вестник. 4 (12). декабрь 2015 г.
6. Christopher Palmer, Diffraction grating handbook // Richardson Gratings, Newport Corporation. 2014. 7th edition. 204 p.
7. Ишанин Г.Г., Челибанов В.П. Приемники оптического излучения: Учебник/ Под ред. профессора В. В. Коротаева. СПб.: Издательство «Лань». 2014. 304 с: ил.
8. HamamatsuS9204-512DAInGaAslinearimagesensorDatasheet [Электронный ресурс] // URL: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/g920356d_etc_kmir1013e.pdf (дата обращения: 02.02.2020).

Алексеев Дмитрий Сергеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

студент группы № W42502,

направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность,

e-mail: alexdmitry4488@gmail.com

Кустикова Марина Александровна

Год рождения: 1958

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

к.т.н.,

e-mail: marinakustikova@mail.ru

УДК 504.064

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Д.С. Алексеев

Научный руководитель – к.т.н. М.А. Кустикова

Работа выполнена в рамках темы НИР №617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Аннотация

В ходе работы исследованы отходы производства ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ» по вариантам наиболее выгодной и экологически безопасной утилизации. Проведен анализ нормативно-правовой базы касательно отходов производства медицинских изделий. По итогам разработан проект системы управления отходами производства медицинских изделий. Для повышения эколого-экономической эффективности использования отходов предложены рекомендации.

Ключевые слова

Управление отходами, утилизация отходов, переработка отходов, морфологический состав, медицинские отходы класса «А», эпидемиологическая безопасность.

Экономический интерес может стать основополагающим двигателем в создании отлаженных механизмов управления отходами на предприятиях в РФ. Вторичная переработка отходов с получением ресурсов, пригодных к дальнейшему использованию, грамотно выстроенное взаимодействие организаций, привлеченных к решению подобных задач, приведет к получению дивидендов обеими сторонами, результат будет выгоден как для предприятия-производителя отходов, так и для перерабатывающих компаний. Экологический ущерб снизится, т.к. отходы, использующиеся вторично, не захораниваются на полигонах, что в свою очередь, ведет к снижению нагрузки на окружающую среду.

Целью работы является разработка системы управления отходами, образующимися в процессе производства медицинских изделий на предприятии ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ».

В соответствии с частью 1 статьи 49 Федерального закона (ФЗ) № 323 «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» такие отходы относятся к медицинским.

На основе СанПиНа 2.1.7.2790-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами» данные медицинские отходы стоит отнести к классу «А» [1, 2].

Несмотря на то, что российское законодательство в области обращения с медицинскими отходами подразумевает в итоге уничтожение или захоронение данных отходов, эпидемиологическая безопасность отходов класса «А» ввиду отсутствия контакта с биологическими жидкостями допускает утилизацию ценных компонентов, образующихся на исследуемом виде производства [3].

В ходе работы необходимо было исследовать отходы производства медицинских изделий предприятия ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ». Был составлен перечень образующихся отходов и изучен их морфологический состав, выяснены ориентировочный объем и период накопления этих отходов на предприятии. Для определения вариантов применения отходов была проанализирована иерархия управления отходами.

Необходимо упомянуть, что возврат отходов обратно в цикл производства не представляется возможным в связи с технологией изготовления продукции на предприятии. Чистота отходов не соответствует качеству первичного сырья. По этому вопросу также стоит обратить внимание на пункт 5.11 СанПиНа 2.1.7.2790-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами" [2], в котором указано, что не допускается использование вторичного сырья, полученного из медицинских отходов, для изготовления изделий медицинского назначения.

В итоге были предложены следующие оптимальные пути использования отходов, представленные в таб. 1.

Таблица 1

Отходы, образующиеся на производстве предприятия

Отходы (морфологический состав)	Ориентировочный объем накопления	Ориентировочный период накопления	Оптимальный путь использования
Манжеты (резина)	2000 кг	10 месяцев	Переработка
Макулатура (гофро-, гладкий картон)	1500 кг	3 недели	Переработка
Цилиндры шприца (полипропилен)	200 кг	3 недели	Переработка
Неразобранные шприцы (цилиндры, иглы, манжеты, защитные колпачки)	500 кг	3 недели	Энергетическая утилизация
Прессованные блистеры (плотная медицинская бумага, пленка из полиэтилена / полиамида)	3500 кг	8 месяцев	Энергетическая утилизация
Иглы (нержавеющая сталь AISI 304, полипропилен)	2000 кг	8 месяцев	Энергетическая утилизация
Лакокрасочные материалы (метоксипропанол)	1000 кг	8 месяцев	Энергетическая утилизация

Необходимо обратить внимание на такой показатель, как уровень переработки отходов (англ. WasteRecyclingRate) в нынешней системе сбора.

$$WRR (\text{год}) = \frac{\text{отходы, переданные на переработку (кг)}}{\text{общее количество образованных отходов (кг)}}.$$

Для предприятия представлен этот показатель за год. Объемы накопления всех отходов приведены к значениям за год. Суммированы отходы, которые можно передать на переработку, и объемы всех образующихся отходов.

$$WRR (\text{год}) = \frac{2400+26000+3500}{2400+26000+3500+8700+5300+3000+1500} = \frac{31900}{50400} = 0,63.$$

По заданию предприятия необходимо было найти организации, готовые утилизировать производственные отходы с наиболее экономически выгодными и экологически безопасными условиями.

Для определения затрат для предприятия умножили стоимость утилизации отхода за килограмм на ориентировочный объем накопления с учетом расходов на вывоз. Результаты вычислений представлены в таб. 2.

Таблица 2

Оценка стоимости утилизации отходов

Отходы	Стоимость утилизации	Ориентировочный объем накопления	Расходы на вывоз	Компания	Доход
Манжеты	1,50 Р/кг	2000 кг	0 Р	ООО «Раббер»	+3000 Р
Макулатура	4 Р/кг	1500 кг	0 Р	ООО «Эксперт Втор»	+6000 Р
Цилиндры шприца	20 Р/кг	200 кг			+4000 Р
Неразобранные шприцы	20 Р/кг	500 кг	0 Р	ООО «Экология 24»	-59000 Р
Прессованные блистеры	8 Р/кг	3500 кг			
Иглы	8 Р/кг	2000 кг			
Лакокрасочные материалы	5 Р/кг	1000 кг			

Так как перерабатывающие компании готовы заплатить за отходы как за вторсырье, ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ» получит положительный доход за манжеты (3000 Р), макулатуру (6000 Р) и цилиндры шприца (4000 Р). За утилизацию неперерабатываемых отходов, таких как неразобранные шприцы, прессованные блистеры, иглы, лакокрасочные материалы ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ» необходимо будет заплатить 59000 Р.

Для повышения эколого-экономической эффективности использования отходов предложена схема раздельного сбора и утилизации отходов, представленная на рисунке.

Отходы должны сортироваться по следующим материалам: резина (манжеты), макулатура (гофро- и гладкий картон), пластмасса (цилиндры шприца, втулки игл, защитные колпачки), стержни игл, лакокрасочные материалы, блистеры. Перерабатываемые отходы должны передаваться в соответствующие перерабатывающие компании. Неперерабатываемые отходы необходимо отдавать в утилизацию на мусоросжигательный завод.

Для предлагаемой схемы важно обратить внимание на следующие показатели:

$$WRR (\text{год}) = \frac{2400+26000+3500+4500+2500}{2400+26000+3500+8700+5300+3000+1500} = \frac{38900}{50400} = 0,77.$$

Уровень переработки отходов увеличится до 0,77, то есть на 14%.

Для оценки рациональности перехода на данную схему необходимо учесть показатель упущенной выгоды (недополученные доходы), равный разнице потенциального дохода и сопутствующих расходов. Показатель приведен к значению за год:

$$УВ (\text{год}) = Д - Р,$$

УВ – упущенная выгода (недополученные доходы);

Д – потенциальный доход (выручка за передачу большего объема отходов на переработку). Это будет 4,5 т цилиндров шприца и 2,5 т манжет:

$$4500 \text{ кг} \times 20 \text{ Р/кг} + 2500 \text{ кг} \times 1,50 \text{ Р/кг} = 93750 \text{ Р}.$$

В существующей системе сбора эти отходы являются частями неразобранных шприцов, их утилизация обходится в $8700 \text{ кг} \times 20 \text{ Р/кг} = 174000 \text{ Р}$ в год. То есть экономическая рациональность перехода на предлагаемый раздельный сбор будет уместна при уменьшении этого объема затрат.

Р – сопутствующие расходы:

- Оплата времени операторов за предлагаемый раздельный сбор отходов;
- Затраты на утилизацию игл: $1700 \text{ кг} \times 8 \text{ Р/кг} = 13600 \text{ Р}$;
- Налог на прибыль в 2%: $(4500 \text{ кг} \times 20 \text{ Р/кг} + 2500 \text{ кг} \times 1,50 \text{ Р/кг}) \times 0,02 = 1875 \text{ Р}$;
- Налог на добавленную стоимость в 20%: $(4500 \text{ кг} \times 20 \text{ Р/кг} + 2500 \text{ кг} \times 1,50 \text{ Р/кг}) \times 0,2 = 18750 \text{ Р}$.

В работе предложены положения системы управления отходами на предприятии:

1. Система управления отходами на предприятии должна строиться на основе концепции раздельного сбора всех отходов.

2. Хранение летучих отходов (ЛКМ) должно осуществляться в закрытой пластиковой или металлической таре. Критерием предельного накопления ЛКМ является 30% ПДК метоксипропанола в воздухе рабочей зоны [4]. Острые отходы (содержащие иглы) должны накапливаться в одноразовых непрокальваемых влагостойких емкостях (контейнерах) с плотно прилегающей крышкой [2]. Остальные отходы производства ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ» допускается хранить навалом. В последнем случае по периметру площадки должна быть предусмотрена обваловка и обособленная сеть ливнеотоков с очистными сооружениями [4]. Все отходы могут складироваться на предприятии не более, чем на 11 месяцев [5].

3. Для снижения образования отходов ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ» должно внедрять методы рационального использования сырья и материалов в процессе

производства своей продукции. Высокое качество производимой продукции и минимизация производственного брака должно поощряться со стороны руководства.

4. При выборе поставщиков упаковочных материалов предпочтение необходимо отдавать производителям, материалы которых изготовлены из вторсырья (если это не противоречит требованиям законодательства, а также не ухудшает качество продукта и упаковки).

5. ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ» должно осуществлять свой бизнес на возможности передачи своих отходов во вторичное использование. Важно расширять информированность о компаниях-переработчиках вторсырья и развивать бизнес в сфере партнерства компании-производителя отходов и компании-переработчика.

6. ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ» необходимо расширять сотрудничество с заинтересованными сторонами (местная общественность, неправительственные организации, СМИ и т.д.) в поиске и разработке решений по минимизации образования отходов, снижении их нагрузки на окружающую среду и вовлечении отходов во вторичное использование (рисунок).

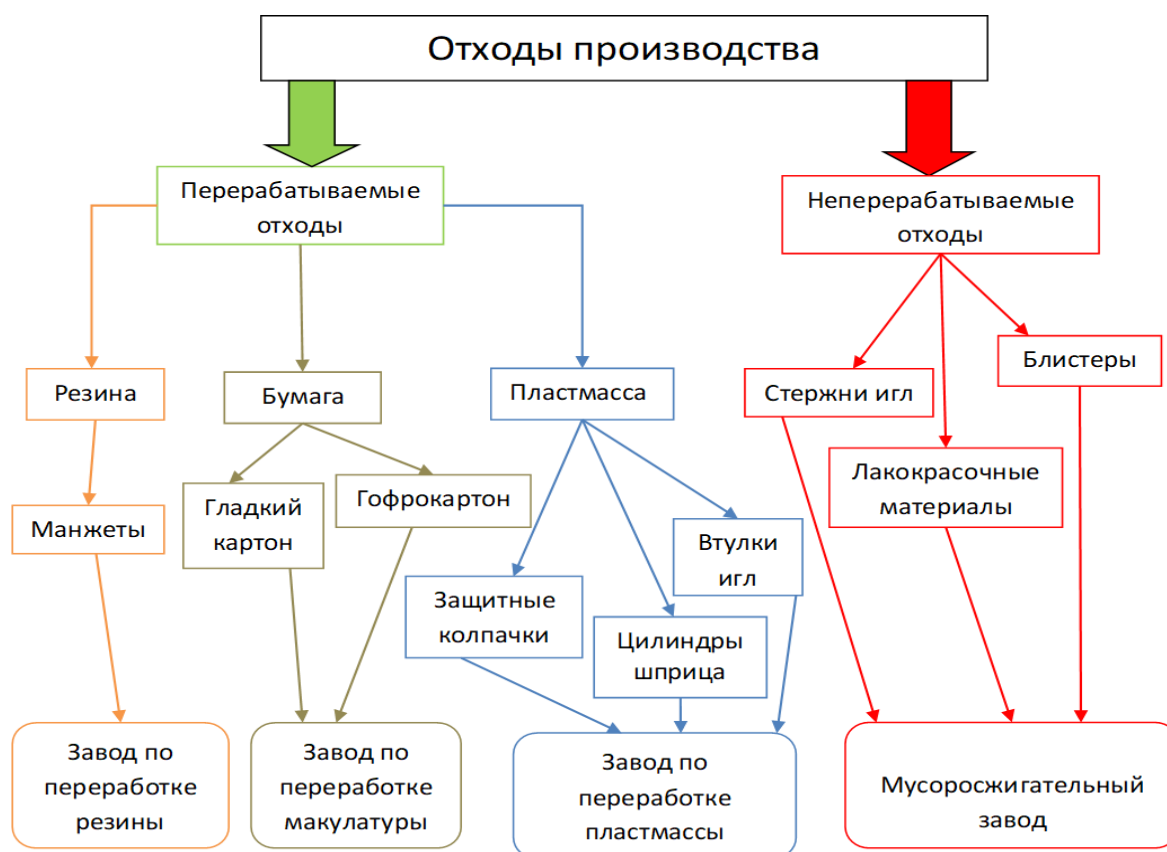


Рисунок. Рекомендуемый раздельный сбор отходов на предприятии

Выводы

В ходе работы исследован морфологический состав отходов производства ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ». В связи с тем, что отходы различны по вариантам их возможной утилизации, необходимо применять комплексный подход к оценке их дальнейшего использования.

Проведен анализ нормативно-правовой базы об отходах производства медицинских изделий. Нынешняя законодательная база может быть трактована неверно, правовые нормы требуют разъяснения: отсутствует перечень пояснений и

разрешительных документов и дополнений к ФЗ №89 «Об отходах производства и потребления», закрепляющему обращение с эпидемиологически безопасными медицинскими отходами.

Найдены наиболее экономичные и экологичные пути управления отходами, образующимися на производстве предприятия ООО «ПАСКАЛЬ МЕДИКАЛ», в нынешних условиях.

На основе выполненного анализа, а также с учетом опыта различных предприятий, предложены основные тезисы системы управления отходами на предприятии.

Литература

1. Федеральный закон "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" от 21.11.2011 N 323-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ (дата обращения: 15.05.2020).
2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 09.12.2010 N 163 "Об утверждении СанПиН 2.1.7.2790-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами" (вместе с "СанПиН 2.1.7.2790-10. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы...") (Зарегистрировано в Минюсте РФ 17.02.2011 N 19871) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_110948/ (дата обращения: 15.05.2020).
3. <Письмо> Росприроднадзора от 08.07.2016 N AA-03-03-32/13510 "О рассмотрении обращения" [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_205552/ (дата обращения: 15.05.2020).
4. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 N 80 "О введении в действие Санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.1.7.1322-03" (вместе с "СанПиН 2.1.7.1322-03. 2.1.7. Почва. Очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы", утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.04.2003) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 12.05.2003 N 4526) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42228/ (дата обращения: 22.05.2020).
5. Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 22.05.2020).

Арутюнян Меланя Андраниковна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42751,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: melanya.arutyunyan@yandex.ru

Будрина Елена Викторовна

Год рождения: 1962

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

д.э.н., профессор,

e-mail: boudrina@mail.ru

УДК 656

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТ ВЕРОЯТНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ
ПЕШЕХОДАМИ УЛИЦ**

М.А. Арутюнян

Научный руководитель – д.э.н., профессор Е.В. Будрина

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) выполнена в рамках конкурса по дипломному проектированию по заданию исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга, в частности Комитета по градостроительству и архитектуре.

Аннотация

В статье описаны разработанная автором методика автоматизированного выявления мест вероятного пересечения пешеходами улиц, в частности прогнозирования и рекомендации мест для установки безопасных, оптимальных пешеходных переходов, а также разработанный метод для подготовки входных данных для предлагаемой инновационной методики. Представлены результаты апробации, разработанной и предлагаемой автором инновационной методики.

Ключевые слова

Инновационная методика, код, метод, алгоритм, машинное обучение, «Дерево принятия решений», пешеходные переходы.

Научная новизна дипломного проекта заключается в разработке автором инновационной методики автоматизированного выявления мест вероятного пересечения пешеходами улиц, в частности прогнозирования и рекомендации мест для установки безопасных, оптимальных пешеходных переходов, а также в разработке метода для подготовки входных данных для предлагаемой инновационной методики.

Предлагаемая автором инновационная методика основана на алгоритме машинного обучения «Дерево принятия решений»–DecisionTrees (DT) [1]. Мы обучаем предлагаемый нами алгоритм существующим безопасным («хорошим») и опасным («плохим») пешеходным переходам в анализируемом городе, в частности в Санкт-Петербурге, после чего прогнозируем и даем рекомендации мест для установки

безопасных и оптимальных пешеходных переходов на тех улицах, на которых они расположены либо неоптимально, либо отсутствуют вовсе. Схематическое представление предлагаемого алгоритма показано на рис. 1 и 2.

Предлагаемый алгоритм представляет собой концепт, который имеет возможность генерировать большой объём входных данных – BigData, что позволит в дальнейшем расширить алгоритм и учитывать ещё больше различных факторов, таких, как например: количество ДТП на улице и/или требования/изменения ГОСТ, СНиП, СП и т.п. для рассматриваемых участков улиц.

В связи со сложившейся ситуацией у автора данной диссертации нет доступа к необходимым BigData, поэтому принято решение разработать собственный метод для подготовки входных данных для предлагаемой инновационной методики.

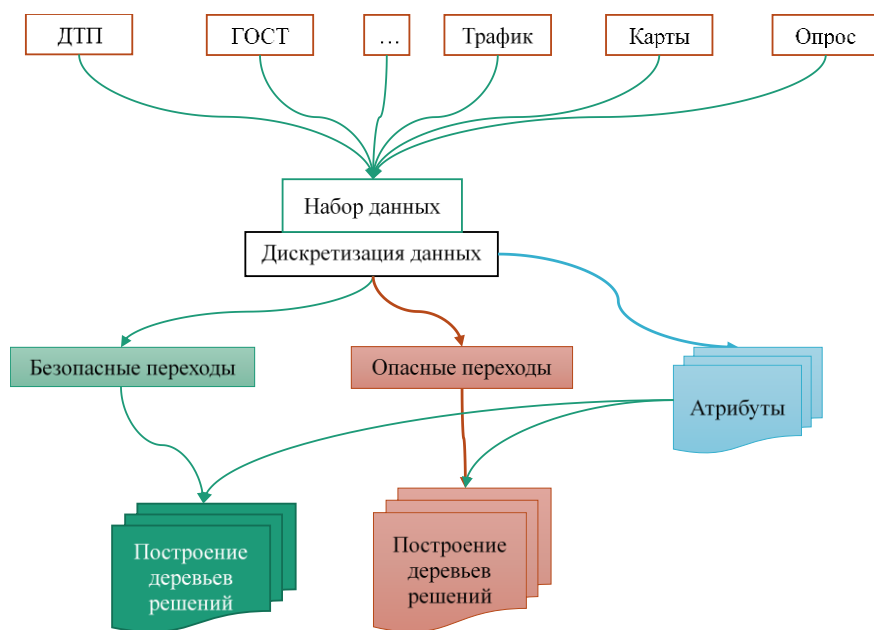


Рис. 1. Тренировка DT модели

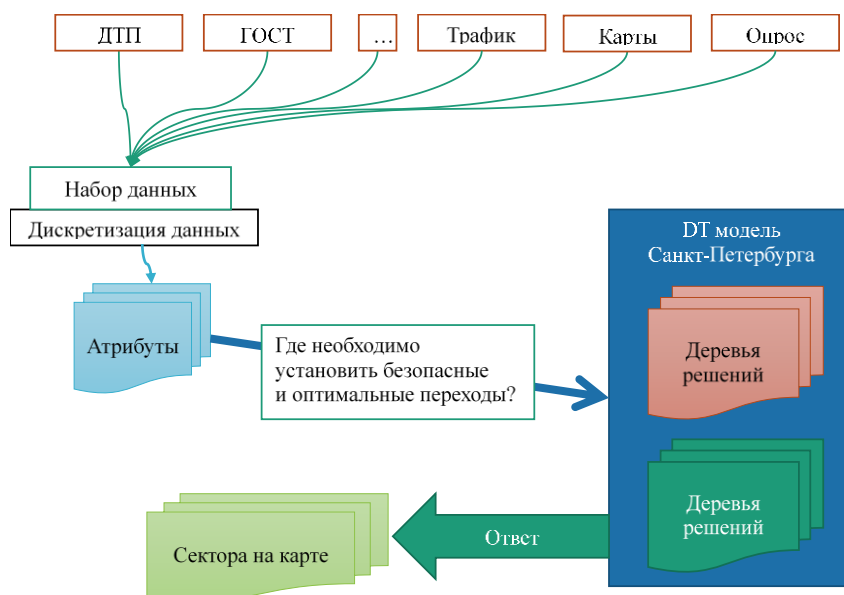


Рис. 2. Применение DT модели

Выбираются улицы (Street) с помощью Яндекс.Карты в различных местах анализируемого города, в частности Санкт-Петербурга, как в историческом центре, так и в спальных районах, с существующими пешеходными переходами. На каждой из выбранных улиц рассматривается участок протяженностью 1000 м. Далее каждый 1000-метровый участок делится на 100-метровые сектора (SecN), затем к каждому сектору прикрепляется и определяется атрибут (AttrN). В данном исследовании главным AttrN определяется необходимость установки пешеходного перехода (PC) на SecN. Значение AttrN может быть либо «Да» (Yes), либо «Нет» (No). Остальные AttrN основаны на «точках притяжения», они могут быть «булевы» или иметь взвешенные значения. В качестве AttrN могут выступать, например: образовательные учреждения, метро, остановки общественного транспорта, медицинские учреждения, магазины, парки, торгово-развлекательные центры, жилые-помещения, бизнес-центры, музеи, соборы, церкви, библиотеки и другие. Метод, который мы предлагаем использовать для подготовки входных данных, наглядно представлен на рис. 3.

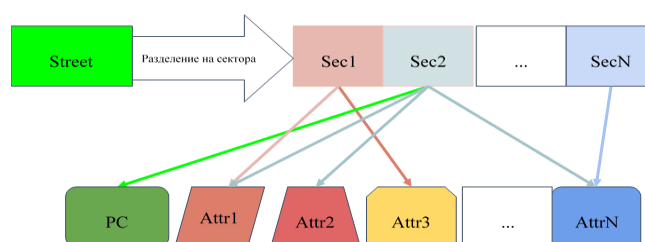


Рис. 3. Схематическое представление входных данных и их взаимосвязей

Автором данного исследования для работы использована платформа GoogleColabCloud. Написана программа на языке Python в готовой библиотеке машинного обучения SkLearn, которая автоматически делает расчеты и выдает необходимые результаты, в частности определяет сектора, на которых рекомендуется установить пешеходные переходы.

Апробация разработанной автором инновационной методики выполнена на примере участка на переулке Челиева города Санкт-Петербурга, где вовсе отсутствуют пешеходные переходы. По результатам апробации выявлено, что на рассматриваемом участке переуллка Челиева рекомендуется установить один пешеходный переход. Рекомендуемый сектор обозначен меткой (рис. 4).

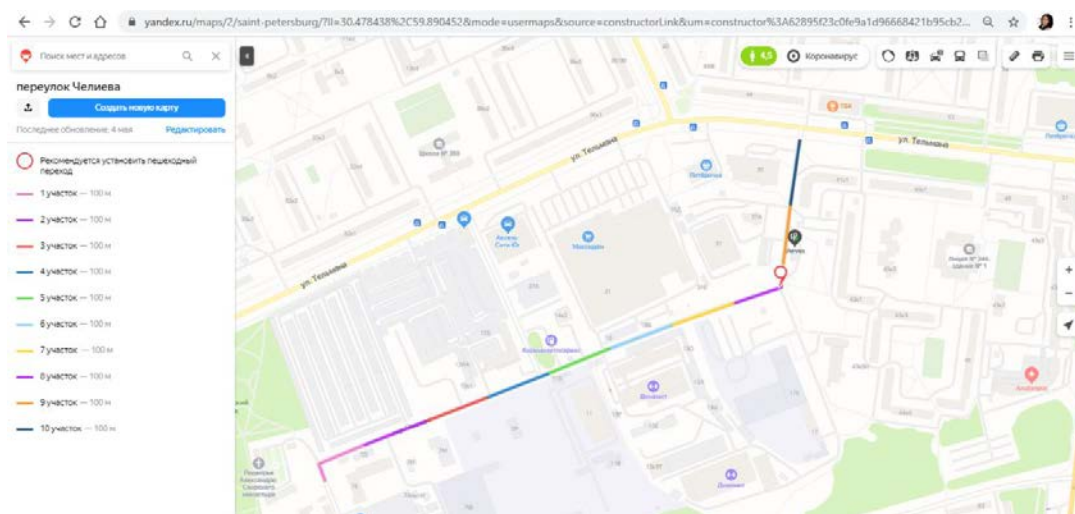


Рис. 4. Демонстрация сектора, где рекомендуется установка пешеходного перехода на рассматриваемом участке на пер. Челиева

На данном этапе у нас есть возможность определять лишь сектора на рассматриваемых участках улиц. В дальнейшем, при наличии необходимых, обоснованных, реальных расширенных входных данных, мы сможем обучить алгоритм определять точные месторасположения рекомендуемых пешеходных переходов. Отметим, что предлагаемая инновационная методика автоматизированного выявления мест вероятного пересечения пешеходами улиц, в частности прогнозирования и рекомендации мест для установки безопасных, оптимальных пешеходных переходов, носит рекомендательный характер. Написанная нами программа позволит выявить места для установки пешеходных переходов на рассматриваемых участках улиц; установка безопасных и оптимальных пешеходных переходов выполняется в рамках Законодательства РФ.

Таким образом, разработанная и предлагаемая автором инновационная методика автоматизированного выявления мест вероятного пересечения пешеходами улиц, в частности прогнозирования и рекомендации мест для установки безопасных, оптимальных пешеходных переходов, основанная на алгоритме машинного обучения «Дерево принятия решений», в частности позволит существенно минимизировать количество дорожно-транспортных происшествий, а именно дорожно-транспортных конфликтов с участием «водитель-пешеход», в том числе с человеческими жертвами. Следовательно, предлагаемую инновационную методику можно считать достаточно эффективной.

Литература

1. International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 3. № 2. 2015.

Ашихмина Мария Сергеевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

студент группы № Т42301,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: masha_ashikhmina@mail.ru

Забодалова Людмила Александровна

Год рождения: 1948

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

д.т.н., профессор,

e-mail: zabodalova@gmail.ru

УДК 579.67

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ
ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ, В ПРОЦЕССАХ
ФЕРМЕНТАЦИИ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ**

М.С. Ашихмина

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.А. Забодалова

Аннотация

В работе рассмотрено выделение молочнокислых микроорганизмов из растительных источников с целью составления заквасок для производства кисломолочных продуктов с функциональными свойствами.

Ключевые слова

Выделение микроорганизмов, молочная промышленность, устойчивость микроорганизмов к ингибирующим веществам, выделение чистой культуры.

Употребление кисломолочных продуктов в последние годы увеличилось. Одной из причин этому расширение потребительской линейки ферментированных продуктов, а также наличие лечебно-профилактических характеристик продуктов. Целенаправленное использование микроорганизмов для получения кисломолочных продуктов с улучшенными свойствами является одним из аспектов биотехнологической направленности.

Помимо ценных питательных веществ кисломолочные продукты в отличие от остальных продуктов, содержат большое количество живых клеток молочнокислых бактерий, составляющих до 2% массы готового продукта, т. е. в одном грамме может содержаться до миллиарда микроорганизмов [2, 5].

Центральную роль при производстве ферментированных молочных продуктов занимают молочнокислые бактерии. При правильном технологическом процессе они способны подавлять развитие патогенных и условно-патогенных, а также технически вредных микроорганизмов, обеспечивая тем самым микробиологическую безопасность готовой продукции для потребителя.

Целью исследования было выявить и оценить перспективы использования штаммов молочнокислых бактерий, полученных из растительного сырья, в технологии получения ферментированного молочного продукта.

Исследования проводились в несколько этапов [3].

На первом этапе провели литературный обзор способов и методов выделения молочнокислых микроорганизмов из растительного сырья, с целью получения заквасочной микрофлоры для использования в производстве кисломолочной продукции.

Вторым этапом работы являлось определение биохимических характеристик выделенных микроорганизмов. А также для выявления перспектив использования выделенной культуры провели исследования *in vitro*, воспроизводящие некоторые условия желудочно-кишечного тракта человека.

Подбор растительного сырья основывается на анализе литературных данных. Наиболее предпочтительным сырьем являются растения, которые имеют высокую биологическую активность, а также широкий ареал произрастания.

На первоначальном этапе объектами исследования были шесть растительных компонентов (зелень укропа, петрушки кудрявой и обыкновенной, кинзы, сельдерея).

Образцы готовили следующим образом: в стерильное обезжиренное молоко опускали предварительно обработанные листья (лепестки) вышеперечисленных растений. Термостатирование осуществляли в течение 24 ч. Образцы, полученные из различных растительных источников, обогащают молочнокислыми бактериями путем 2–3 кратного пересева в стерильное, обезжиренное молоко. Температуру термостатирования при обогащении образца выбирают в зависимости от вида молочнокислых бактерий, который необходимо выделить.

В работе использовались общепринятые методы исследования органолептических и физико-химических показателей [1].

Растительные компоненты являются очень восприимчивы к изменениям температуры и влажности окружающей среды. Так, растения после срезания необходимо хранить при температуре $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ не более 10 дней, при более низких и высоких температурах, а также длительном хранении происходит изменение их биохимических и микробиологических свойств и как следствие при первичном сквашивании наблюдается длительное образование сгустка (более 24 ч) и его пороки (газообразование, изменение цвета и т.д.).

Объектами исследований на первоначальном этапе является четыре растительных компонента с хранением от момента среза не более 5 сут при заданной температуре. Термостатирование происходило при температуре $(40\pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 24 ч.

Медленное нарастание титруемой кислотности в процессе первичного сквашивания происходит из-за длительной адаптации микроорганизмов к новому субстрату, а также из-за наличия ароматических, бактерицидных свойств растений, применяемых при выделении МКБ.

Уже при первой пересадке наблюдается быстрая адаптация к субстрату и как следствие уменьшение продолжительности кислотонакопления.

Для проведения органолептической оценки полученных образцов был составлен дегустационный лист, включающий критерии дегустационного анализа.

В дегустационном анализе приняли участие 13 человек возрастом 20-25 лет. В таблице приведены сводные результаты, полученные от дегустаторов, по которым видно, что образец под номером один набрал наивысший балл по всем четырем показателям.

Дальнейшие исследования продолжались с образцом под №1, полученного при помощи зелени кинзы.

Очистка культуры проводилась при помощи многократного пересева выросших колоний на МРС-4 в обезжиренное молоко. После каждой пересадки проводились исследования по проверке культуры на устойчивость к NaCl, фенолу, желчи,

антибиотикам, а также определение каталонной активности, терморезистентности, образование диацетила и ацетоина и CO₂.

Таблица

Результаты органолептической оценки

	1 образец	2 образец	3 образец	4 образец
Характер сгустка	плотный однородный сгусток, без видимых газообразований, с небольшим отделением сыворотки	рыхлый сгусток, с видимым газообразованием, с ярко-выраженным отделением сыворотки	плотный сгусток, без видимых газообразований, с большим отделением сыворотки	рыхлый хлопьевидный сгусток, без видимого газообразования, с большим отделением сыворотки
Вкус	чистый кисломолочный, без посторонних привкусов, сладковатый	кисломолочный, островатый, с легким привкусом растительного компонента	кисломолочный, с легкой горчинкой,	кисломолочный, кисловатый, с легкой горечью
Цвет	молочно-белый, равномерный	бело-зеленоватый	бело-зеленоватый	молочно-белый
Запах	чистый кисломолочный	кисломолочно-тухловатый	кисломолочный, кисловатый	кисломолочно-тухловатый

На рисунке представлена микроскопическая картина выделенной культуры после 6 очисток.

Клетки, выделенного штамма, имеют сферическую или овальную форму, располагаются в виде коротких и длинных цепочек.

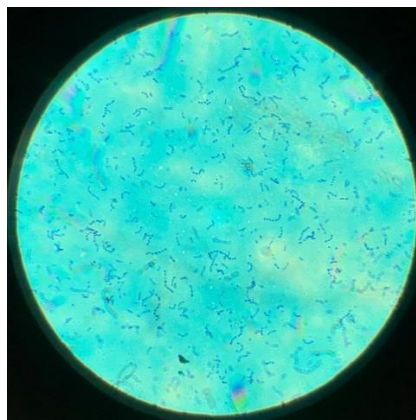


Рисунок. Микроскопическая картина (x1000)

При определении сквашивания чистой культурой в течение трех часов наблюдается медленный прирост кислотности до 54°Т и рН 5,15, а затем происходит резкое увеличение кислотности до 97°Т и 4,2 значений рН.

В конце термостатирования, когда сгусток имеет однородную структуру с небольшим отделением сыворотки, титруемая кислотность имеет значения равные 104±1°Т, а рН 4,08±0,1.

При определении отделения сыворотки в результате центрифугирования в течение 20 минут происходит отделение сыворотки, а затем оно практически

прекращается и в конце центрифугирования становится равным 18%, что является хорошим показателем для закваски при производстве кисломолочных продуктов.

Для определения оптимальной температуры роста микроорганизмов было проведено сквашивание выделенной культурой обезжиренного молока при разных температурах за 8 часов [5].

Выделенная культура при сквашивании на 40°C за 8 ч достигает титруемой кислотности равной 107°Т, когда при температурах 30, 35, 45°C за тоже время, кислотность составляет 78, 86 и 89°Т соответственно. Отсюда можем сделать вывод, что оптимальная температура сквашивания 40±2°C, что соответствует термофильным микроорганизмам [1].

Выделенный штамм обладает довольно высокой терморезистентностью. Он выдерживает температуру 60°C в течение 60 мин, при этом титруемая кислотность составляла 92°Т. При проведении исследований с температурой 65°C в течение 30 мин наблюдается полное сохранение сгустка, вследствие чего выделенный штамм может составлять часть остаточной микрофлоры при производстве кисломолочных продуктов с пролонгированными свойствами.

Одним из важнейших свойств пробиотических молочнокислых бактерий является их способность развиваться в условиях ЖКТ хозяина: устойчивость к низким значениям рН, содержанию в среде фенола, желчи и высокой концентрации NaCl.

Выделенный штамм проявляет свою активность в среде, содержащей до 6,5% NaCl. При содержании в среде желчи в 40% и фенола 0,6% наблюдается частичное образование сгустка. Отсюда можем сделать вывод о том, что исследуемый штамм способен развиваться в условиях ЖКТ человека.

В присутствии только молочной кислоты сгустки молока характеризуются невыраженным вкусом. Аромат сгустку придают, побочные продукты молочнокислого брожения, продукты протеолитического распада белка и липолиза. Избыток тех или иных продуктов метаболизма микроорганизмов может привести к возникновению пороков вкуса и запаха [2].

При определении образования углекислого газа сгусток поднялся на 0,3 см, следовательно можно говорить о том, что выделенный штамм не образует углекислоту. Фильтрат закваски в реакции с гидроксидом калия давал слабо-розовое окрашивание, поэтому, на данный момент, нельзя строго судить образует ли данный штамм диацетил и ацетон. Исследуемый штамм не проявляет каталазную активность.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Выделенная культура, образует мелкие, темные, зернистые колонии на питательной среде.
2. Клетки при микроскопировании располагаются в виде коротких и длинных цепочек.
3. Штамм МКБ, развивается при температуре 40±2°C в течение 6-7 часов.
4. При проведении исследований на устойчивость молочнокислых бактерий определено, что выделенный штамм проявляет свою активность в среде, содержащей:
 - ✓ до 4% NaCl;
 - ✓ до 30% желчи;
 - ✓ при 0,6% фенола – наблюдается частичное образование сгустка.
5. Штамм не проявляет рост в среде, содержащей пенициллин, стрептомицин, левомицетин, гентамицин, не образует углекислоту, не проявляет каталазную активность.

6. При определении образования культурой диацетила и ацетона наблюдается слабое окрашивание, что может свидетельствовать о слабом ароматообразовании.

При написании магистерской диссертации были составлены проекты технических условий и технологической инструкции по выделению МКБ из растительного сырья.

Литературы

1. ГОСТ 34372-2017 Закваски бактериальные для производства молочной продукции. Общие технические условия. М.: Стандартинформ. 2018.
2. Андерсен К. Молоко как ингредиент в производстве продуктов функционального назначения / Андерсен К. // Молочная промышленность. 2013. № 6. С. 68 – 69.
3. Ганина В.И. В помощь микробиологу / Ганина В.И. // Молочная промышленность. 2016. № 10. С. 40 – 41.
4. Градова Н.Б. Микробиологический контроль биотехнологических производств/ Градова Н.Б., Бабусенко Е.С., Панфилов В.И., Шакир И.В. ДеЛи плюс Москва, 2016. 142 с
5. Емцев В.Т. Общая микробиология / Емцев В.Т., Мишустин Е.Н., Селицкая О.В. Учебник. Сер. 68 Профессиональное образование. М.: Юрайт. 2017. 253 с.

Гнездилова Елена Александровна

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

студент группы № W42502,

направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность,

e-mail: plush224@mail.ru

Кустикова Марина Александровна

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

к.т.н., доцент,

e-mail: makustikova@itmo.ru

УДК 626; 627

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Е.А. Гнездилова

Научный руководитель – М.А. Кустикова

Работа выполнена в рамках темы НИР №617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Аннотация

Гидроэнергетика относится к хорошо изученным технологиям, которые можно охарактеризовать, как экологически чистые, возобновляемые, использующие энергию потока воды. Малая энергетика в свою очередь отличается гораздо меньшим воздействием на окружающую среду, более широкой географией применения, меньшими капитальными затратами и возможностью автоматического дистанционного управления.

Ключевые слова

Малая гидроэнергетика, малая гидроэлектростанция, электроснабжение, энергия, стоимость электроэнергии, установленная мощность.

В настоящее время отмечается особый интерес к возобновляемой энергетике, что безусловно связано с поиском более дешевых и экологичных типов источников энергии.

Ряд факторов, обуславливающих движение в этом направлении:

1. Стремление сократить использование традиционных невозобновляемых источников энергии.
2. Необходимость уменьшить рост выбросов парниковых газов в атмосферу, для снижения воздействия на глобальное потепление (ратификация Парижского Соглашения).
3. Зависимость от ценовой политики на энергоносители.
4. Проблемы с обеспечением отдаленных районов централизованным тепло- и электроснабжением.

Развитые страны уже давно освоили практически весь свой гидропотенциал. Для Российской Федерации (РФ) это по-прежнему остается актуальной задачей.

На данный момент в России освоено около 20% экономического гидроэнергетического потенциала, а гидропотенциал малых рек используется менее,

чем на 1%. Такие возможности для развития отрасли могут быть одной из главных причин дальнейшего ее развития.

Гидроэлектростанция (ГЭС) – комплекс сооружений и оборудования, преобразующих энергию потока воды в электрическую энергию.

Гидротехнические сооружения могут включать в себя: плотину, деривационный канал, уравнительную башню и т.д. Они обеспечивают необходимый напор воды и его подачу к гидроагрегату, гидротурбина которого преобразует энергию потока воды в механическую энергию вращения. Далее гидрогенератор преобразует механическую энергию в электрическую.

Малые гидроэлектростанции (МГЭС) могут эксплуатироваться без создания плотины и (или) водохранилища, как, например, в деривационных ГЭС, где вода отводится из реки по тоннелю или каналу к турбинам станций.

Источниками энергии для малой гидроэнергетики могут являться не только небольшие реки, ручьи, естественные перепады высот на озерных водосбросах и на оросительных каналах ирригационных систем, но также и технологические водотоки (промышленные и канализационные сбросы), перепады высот питьевых и других трубопроводов, предназначенных для перекачки различных видов жидких продуктов.

Единого мирового определения малой гидроэнергетики не существует. Некоторые страны определяют, как малые, гидроэлектростанции с мощностью до 1 МВт или 5 МВт, другие до 30 МВт или 50 МВт. Также, широко распространено определение малой гидроэнергетики станциями до 10 МВт. В России принято считать малой ГЭС с установленной мощностью от 0,1 МВт до 30 МВт [1].

Малая гидроэнергетика активно развивалась в России, начиная с 20-х годов прошлого века, когда был принят план по государственной электрификации России. Пик строительства МГЭС пришелся на 50-е и 60-е годы XX века. В стране тогда насчитывалось порядка 6500 МГЭС и был налажен серийный выпуск гидротурбин для МГЭС. Это способствовало быстрому восстановлению народного хозяйства после Великой Отечественной войны и развитию отраслей горнодобывающей промышленности и тяжелого машиностроения.

Однако, дальнейший курс на развитие крупных энергетических объектов и централизация электроснабжения привели к остановке выпуска оборудования для МГЭС. Большинство МГЭС были остановлены и закрыты.

С тех пор тенденции к увеличению строительства МГЭС не просматривалось. Станции, конечно же, строились и реконструировались, но в небольших количествах.

На данный момент в РФ насчитывается примерно 100-200 действующих МГЭС. Многие из них уже выработали свой эксплуатационный срок, были реставрированы и модернизированы.

МГЭС могут разрабатываться на основе строительства новых объектов или реконструкции существующих плотин. Реконструкция старых объектов гидроэнергетики позволит сэкономить большую часть инвестиций.

В настоящее время для поддержки развития и использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности МГЭС, используется следующий механизм. С помощью конкурсных отборов отбираются проекты (по минимальной удельной стоимости) в отношении которых заключаются договора на покупку мощности (ДПМ ВИЭ) и электроэнергии по специальным тарифам (сроком на 15 лет), что гарантирует окупаемость проекта.

Для любого типа поддержки главными условиями являются:

1. Получение квалификации генерирующего объекта.
2. Объект должен быть внесен в схему и программу перспективного развития электроэнергетики региона.
3. Должны быть выполнены требования по локализации оборудования.

На сегодняшний день сектор малой гидроэнергетики в России развивается гораздо меньшими темпами, нежели сектора солнечной и ветровой генерации, хотя технология использования МГЭС известна достаточно давно.

По итогам конкурсных отборов инвестиционных проектов, которые прошли с 2013 по 2019 годы, было отобрано всего 11 заявок на строительство МГЭС суммарной мощностью 168 МВт. Для сравнения в солнечной энергетике за эти годы было отобрано более 2000 МВт мощности, а в ветрогенерации – более 3000 МВт.

Такую неравномерность можно объяснить тем, что, во-первых, капитальные затраты для строительства МГЭС превышают капитальные затраты солнечных электростанций (СЭС) и ветровых электростанций (ВЭС). Во-вторых, процесс перехода от решения до строительства гидроэлектростанции долгий и трудоемкий, нежели для остальных видов ВИЭ, поскольку на изучение всех условий (гидрологических, геологических, экологических, микроклиматических, инфраструктурных), а также разработку проекта для МГЭС уходит примерно от 1 до 3 лет (в сравнении с ВЭС и СЭС такой процесс длится обычно до года). Проект МГЭС должен быть хорошо проработан до подачи заявки на конкурс еще и потому, что после отбора заявки и принятия обязательств по строительству МГЭС поменять ее местоположение будет уже невозможно, в отличие от проектов ВЭС и СЭС. В-третьих, мощное лобби производителей соответствующего оборудования для ВЭС и СЭС сыграло свою роль в развитии этих секторов. Для обеспечения локализации производства (один из пунктов ДПМ ВИЭ) там создавались собственные технологические цепочки. В сфере же гидроэнергетики производители гидроэнергетического оборудования, гидростроители и гидроэнергетические компании были самостоятельны и разобщены.

Ниже приведен SWOT-анализ МГЭС – один из популярных, универсальных инструментов стратегического планирования (таб. 1).

Таблица 1

SWOT-анализ МГЭС

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
1. Экологически чистая и возобновляемая энергия воды, незначительное воздействие на окружающую среду. 2. Отсутствие топливной составляющей, независимость себестоимости от колебаний цен на энергоносители. 3. Обеспечение регулирования речного стока, накопления запасов пресной воды, решение водохозяйственных задач. 4. Хорошо освоенная технология. 5. Широкое географическое применение. 6. Низкие эксплуатационные затраты. 7. Длительный срок службы гидроэнергетических объектов.	1. Зависимость от природных условий, сезонность работы. 2. Длительный инвестиционный цикл. 3. Сравнительно высокие капитальные вложения. 4. Слабое развитие отечественных промышленных технологий.
1. Большой потенциал неосвоенных водных ресурсов. 2. Развитие производства оборудования для МГЭС в России. 3. Формирование благоприятной регуляторной среды для развития использования МГЭС.	1. Изменение регуляторных действий государства по механизмам поддержки МГЭ 2. Неблагоприятные условия финансирования 3. Опережающий рост цен на материалы и оборудование

Из преимуществ МГЭС можно выделить: минимальное воздействие на окружающую среду и отсутствие использования органического топлива. МГЭС эффективны в малом и среднем бизнесе, в сфере услуг и туризма, сельского хозяйства и промышленности.

К недостаткам МГЭС можно отнести: неустойчивость выработки электроэнергии, вызванную гидрологическим режимом малых рек.

Общими проблемами МГЭС в России следует считать: недостаточную изученность гидрологического режима и стока малых водотоков; отсутствие серийного производства оборудования и сервисной службы по его обслуживанию; относительно высокую во многих случаях удельную стоимость установленной мощности [2].

Гидроэлектростанция, являясь техническим объектом, оказывает влияние на окружающую среду. Негативное воздействие ГЭС связано с использованием плотины и созданием водохранилища, что является следствием:

1. Нарушения режима реки и условий водопользования.
2. Нарушения условий обитания водных организмов, уменьшения популяции рыб. В случае уменьшения воздействия на рыб необходимо устанавливать рыбопропускные и рыбозащитные сооружения.
3. Заиление русла реки и заболачивание затопляемых территорий.

Также существует возможность аварий на ГЭС с последствиями наводнений. Плотина, на которую приходится основная нагрузка водных масс, является основным уязвимо-опасным участком ГЭС. Чтобы снизить риск аварии, рекомендуется проводить регулярные ремонтно-профилактические работы.

Может выйти из строя и другое оборудование, например, гидроагрегаты, трансформаторы и т.д. Так как МГЭС строятся сейчас в основном с полностью автоматическим управлением, то в период эксплуатации станции риски для обслуживающего персонала отсутствуют.

Определять состав и опасность рисков возможно на этапах проектирования, контроля строительства и аудита ранее построенных объектов гидроэнергетики.

Любое воздействие на окружающую среду должно быть компенсировано в виде экологических платежей или компенсационных мероприятий (культивацией почв в других районах, повышением рыбной продуктивности водохранилищ и т.д.).

Одним из основных энергоэкономических показателей МГЭС является нормированная стоимость электроэнергии (также LCOE от англ. LevelizedCostOfEnergy) – это стоимость электроэнергии за кВт·ч в течение всего срока эксплуатации электростанции, которая приравнивает приведенную стоимость выручки от генерирования и продажи электроэнергии к приведенной стоимости затрат на сооружение и эксплуатацию станции [3].

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

где I_t – капитальные затраты, руб.;

M_t – эксплуатационные расходы, руб.;

E_t – объем выработки электроэнергии в год, кВт·ч;

r – ставка дисконтирования, %;

n – срок эксплуатации электростанции, лет.

В данной работе нормированная стоимость электроэнергии будет рассчитана в руб./кВт·ч и для сравнения все суммы будут пересчитаны в ценах на конец 2019 года с поправкой на инфляцию.

Для расчета нормированной стоимости электроэнергии удалось найти всего

несколько инвестиционных проектов с открытыми данными. Все проекты принадлежат ПАО «РусГидро» (таб. 2, 3).

Таблица 2

Параметры для расчета нормированной стоимости электроэнергии

Тип ГЭС	Большая	Малая
Срок эксплуатации, лет	60	40
Эксплуатационные расходы, % (от капитальных затрат)	2	2,5
Ставка дисконтирования, %	11,5*	

*11,5% – ставка дисконтирования, применяемая ПАО «РусГидро».

Таблица 3

Исходные данные (в ценах на конец 2019 г.)

№	Название ГЭС	Установленная мощность, МВт	Инвестиционные затраты, млн. руб.	Среднегодовая выработка электроэнергии, ГВт·ч
1	Барсучковская МГЭС	5,25	1583,2	24,7
2	Усть-Джегутинская МГЭС	5,6	1690,6	25,6
3	Красногорская-1 МГЭС	24,9	6883, 3	85,125
4	Верхнебалкарская МГЭС	10	3558,1	61,4
5	Зарагижская ГЭС	30,6	4193,9	114
6	Усть-Среднеканская ГЭС	570	52830,2	2500
7	Гоцатлинская ГЭС	100	24429,3	350

Можно также рассчитать удельную стоимость строительства электростанции, разделив сумму инвестиционных расходов на установленную мощность станции (таб. 4.)

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) – Отношение произведенной электростанцией электрической энергии за установленный интервал времени к установленной мощности электростанции [4]. КИУМ характеризует эффективность работы электростанции, измеряется в процентах и рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{КИУМ} = \frac{E_t \cdot 100}{N \cdot \tau_{\text{год}}}, \quad (2)$$

где E_t – объем выработки электроэнергии в год, кВт·ч;

N – установленная мощность, МВт;

$\tau_{\text{год}}$ – время работы за год (365 дней · 24 часа).

Таблица 4

Полученные результаты расчета (в ценах на конец 2019 г.)

№	Название ГЭС	Мощность, МВт	Удельная стоимость строительства, руб./кВт	Нормированная стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	КИУМ, %
1	Барсучковская МГЭС	5,25	301564	9,070	54
2	Усть-Джегутинская МГЭС	5,6	301888	9,344	52
3	Красногорская-1 МГЭС	24,9	276437	11,442	39
4	Верхнебалкарская МГЭС	10	355810	8,200	70
5	Зарагижская ГЭС	30,6	137056	5,206	42
6	Усть-Среднеканская ГЭС	570	92684	2,856	50
7	Гоцатлинская ГЭС	100	244293	9,434	40

Среднее значение КИУМ для гидроэлектростанций – 40%. Это наилучший показатель среди других видов нетрадиционной энергетики (19% у ВЭС и 14% у СЭС) [5].

По расчетам «Совета рынка» в 2018 году самые высокие показатели нормированной стоимости электроэнергии наблюдались у СЭС (24-26,5 руб./кВт·ч), далее у МГЭС (13-15 руб. /кВт·ч), а самый низкий показатель был у ВЭС (8,8-13 руб./кВт·ч) [6].

Сравнивая показатели нормированной стоимости электроэнергии МГЭС с тарифами централизованного электроснабжения, видно, что уровень тарифов на электроэнергию, вырабатываемую МГЭС, выше текущего уровня цены розничного рынка (среднее значение по России – 4,01 руб./кВт·ч). Самая высокая стоимость электроэнергии для потребителей в Чукотском автономном округе – 8,42 руб./кВт·ч и в Магаданской области – 7,62 руб./кВт·ч [7]. Тариф на покупку электроэнергии от МГЭС снизится до уровня рыночной цены и ниже после того, как станция окупится, обычно это происходит через 7-10 лет после ее запуска. А на период окупаемости электростанции для закупки ее электроэнергии устанавливается специальный повышенный тариф или плата за мощность. Так как срок эксплуатации гидроэлектростанций в среднем 50 лет и более, в долгосрочной перспективе их функционирование окажет положительный эффект на формирование цен на электроэнергию в регионе. Размер такого эффекта будет зависеть от объема мощности энергообъектов [8]. Со временем показатель нормированной стоимости электроэнергии также может уменьшиться, с появлением конкурентоспособного рынка производства оборудования и комплектующих для МГЭС, в связи с чем снизятся капитальные затраты и, соответственно, нормированная стоимость электроэнергии МГЭС.

Сетевой паритет (равная стоимость электроэнергии ВИЭ и покупки энергии из сети) по прогнозам экспертов может быть достигнут для ВЭС в 2023-2029 гг., для МГЭС в 2025-2032 гг. и для СЭС – в 2037-2042 гг. как по причине удешевления технологий ВИЭ на мировом рынке, так и из-за продолжающегося роста стоимости электроснабжения в рамках Единой энергосистемы России [6].

Изолированные и удаленные энергорайоны являются наиболее перспективными территориями для применения технологий ВИЭ, поскольку на данный момент развития возобновляемая энергетика не конкурентоспособна с традиционной энергетикой,

входящей в состав Единой энергетической системы (ЕЭС) России. Но в тех районах, где для электроснабжения применяются дизельные электростанции, куда не представляется целесообразным проводить линии электропередач для подключения к ЕЭС, строительство МГЭС должно способствовать повышению энергетической независимости района, улучшению жизни населения, а также повышению привлекательности района для создания производств и ведения бизнеса.

Литература

1. ГОСТ Р 51238-98. Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов. 1999. 3 с.
2. Абакаров Р.А., Щуплова И.С., Рыбин Д.В., Жданова А.П. Реализация проектов в области ВИЭ как перспективное направление энергетической политики. Малые ГЭС // Наука, техника и образование. 2018. №7 (48). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-proektov-v-oblasti-vie-kak-perspektivnoe-napravlenie-energeticheskoy-politiki-malye-ges> (дата обращения: 25.06.2020).
3. Черняховская Ю.В. Эволюция методологических подходов к оценке стоимости электроэнергии. Анализ зарубежного опыта // Вестник ИГЭУ. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-metodologicheskikh-podhodov-k-otsenke-stoimosti-elektroenergii-analiz-zarubezhnogo-opyta> (дата обращения: 25.06.2020).
4. ГОСТ 19431-84. Энергетика и электрификация. Термины и определения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-19431-84> (дата обращения: 25.06.2020).
5. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. Основные характеристики российской электроэнергетики. [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения 25.06.2020).
6. Газета "Коммерсантъ" №88 от 24.05.2018, стр. 9. Возобновляемая энергетика в РФ откладывает выход на окупаемость. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3637348> (дата обращения 25.06.2020).
7. РИА Рейтинг. Рейтинг регионов РФ по доступности электроэнергии для населения. [Электронный ресурс]. URL: <https://riarating.ru/infografika/20190903/630133491.html> (дата обращения 25.06.2020).
8. ООО «Выгон Консалтинг». Поддержка ВИЭ на розничных рынках: сигнал к действию. [Электронный ресурс]. URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/411/vygon_consulting_res_retail.pdf (дата обращения 25.06.2020).

Гожальский Даниил Игоревич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

студент группы №V42372с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: gozhal.daniil@gmail.com

Вениаминов Андрей Викторович

Год рождения: 1960

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

д.ф.-м.н., с.н.с.,

e-mail: avveniaminov@itmo.ru

УДК 535.37 + 535.211

**ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И НАГРЕВ НАНОКРИСТАЛЛОВ
CdSe В ЛАЗЕРНОМ СКАНИРУЮЩЕМ МИКРОСКОПЕ**

Д.И. Гожальский

Научный руководитель – д.ф.-м.н., с.н.с. А.В. Вениаминов

Работа выполнена в рамках темы НИР №12444 «Люминесцирующие наноконпозиты с квантовыми точками для терапии и диагностики».

Аннотация

Определены температурные чувствительности различных образцов наночастиц CdSe (0.07-0.12 нм/К) по люминесценции при разных температурах (от -196 до 100 °С). Наблюдается значительная агрегация плёнок нанопластин при нанесении техникой Ленгмюра-Блоджетт. Обнаружено плавление нанокристаллов и нарушение закономерности нагрева при интенсивном воздействии лазерным излучением. Измерен локальный лазерный разогрев нанопластин при различных значениях мощности и площади сканирования (максимальный нагрев – до 160 °С при 4.7 мВт на ЛСМ).

Ключевые слова

Люминесценция, термохромизм, термометрия, термический сенсор, нанокристаллы, нанопластины, CdSe, лазерный нагрев, лазерный сканирующий микроскоп.

Температура является фундаментальным и повсеместным параметром, влияющим как на естественные, так и на искусственные системы. Контроль и измерение температуры существенно важны в технологическом развитии и бесчисленных научных исследованиях в различных областях. В связи с тем, что технологии активно эволюционируют и прогрессивно стремятся к миниатюризации, был разработан ряд крайне точных и неинвазивных техник измерения температуры посредством наночастиц (а также часть традиционных методов была адаптирована) [1]. Среди множества методик определения температуры выделяется люминесцентная нанотермометрия, успешно применяемая в различных областях, – и лазерная сканирующая микроскопия (ЛСМ) может способствовать реализации соответствующих измерений. Данная техника осуществима благодаря явлению термохромизма–оптические свойства (в т.ч. люминесцентные) термически зависимы и могут быть ассоциированы с подводимой энергией. Существует большое разнообразие наночастиц, которые проявляют себя в качестве нанотермометров, поэтому очень важно правильно

подбирать их для конкретных задач, исходя из преимуществ и недостатков каждого отдельного вида. В этой работе использовались полупроводниковые нанокристаллы, демонстрирующие исключительные люминесцентные свойства с параметрами, которые реагируют на изменения температуры.

Помимо термического анализа люминесцентных частиц, также возможно непосредственное лазерное воздействие на их температуру. К сожалению, зачастую это влияние не учитывается в экспериментах, что, однако, может приводить к температурным неопределённостям и даже физическим трансформациям образцов в связи с нагревом. Всё это происходит из-за крайне высокой плотности мощности, сфокусированной в малом объёме без достаточного отвода тепла, что влияет на люминесцентные свойства частиц. Следовательно, возникает актуальная проблема, особенно когда необходимо поддерживать исходное состояние системы на неизменном уровне. Помимо сохранения валидности термических экспериментов, подход варьирования мощности лазера может способствовать реализации непосредственного измерения температуры. Это особенно перспективно, поскольку данная техника не требует внешнего нагревателя для индуцирования спектральных изменений в отношении люминесцентной термометрии; или же, наоборот, устройства для измерения температуры в отношении лазерного разогрева — всё это может быть с лёгкостью выполнено средствами одного лишь ЛСМ, но с предварительной температурной калибровкой.

С тех пор как биомедицина и нанотехнологии сформировали множество задач, связанных с термическими потребностями, возникло множество методов измерения температуры. В рамках этой работы их условно можно разделить на оптические и неоптические. Вторая группа включает в себя нанолитографическую, биомолекулярную, сканирующую термическую, жидкокристаллическую термометрию и т.д. Оптические методы представлены термометрией комбинационного рассеяния, термоотражением, оптической интерферометрией, инфракрасной термографией, ближнепольной сканирующей и, наконец, люминесцентной термометрией. Последняя подразделяется по крайней мере на шесть подвидов, в зависимости от параметра люминесценции, подверженного влиянию температуры (термография спектрального положения, интенсивности, формы спектра, полуширины, поляризации и времени затухания) [2]. Разница между весами спектральных характеристик разных систем подразумевает неравенство в термической чувствительности. Другими словами, система, проявляющая более значительные изменения в люминесценции в меньшем температурном диапазоне, показывает более высокие значения температурной чувствительности.

Относительно лазерного воздействия, локальный разогрев полупроводниковых наночастиц в фокальном объёме по спектральному сдвигу возрастает линейно с увеличением мощности лазера. Что касается интенсивности люминесценции, то она тоже прямо пропорциональна росту мощности. Уширение спектра наночастиц с ростом температуры, связанное с более высокой подвижностью носителей заряда, может быть также дополнено вкладом увеличения мощности лазера. Время лазерного воздействия тоже имеет немаловажное значение — более длительная засветка приводит к большему разогреву и переносу тепла из центра облучения. Зачастую наночастицы применяются в интересах гипертермии, а локальный лазерный и контролируемый нагрев может способствовать разрушению, например, раковых клеток [3].

В данной работе используются синтезированные в лаборатории ЦИОТ (руководитель д-р А.Ю. Дубовик) полупроводниковые нанокристаллы— квантовые точки (КТ) CdSe/ZnS и нанопластины (НП) CdSe различных синтезов с разными длинами волн люминесценции при комнатной температуре. Большая часть образцов НП изготавливалась путём нанесения капли из раствора частиц на подложку, однако

некоторые образцы нанопластин были нанесены с помощью установки Ленгмюра-Блоджетт с целью образования слоёв с одинаковой толщиной и были изучены посредством СЭМ (сканирующего электронного микроскопа) на предмет однородности и степени агрегации. Измерения спектров проводились на LSM 710 (Zeiss), динамика затухания исследовалась на MicroTime 100 (Picoquant), а температура контролировалась с помощью термоприставки THMS600 (Linkam). Последняя использовалась для формирования температурной калибровочной кривой, посредством которой можно было измерить лазерный разогрев.

Повышение температуры нанокристаллов CdSe приводит к спектральному батохромному сдвигу согласно эмпирическому соотношению Варшни для ширины запрещённой зоны (причина заключается в её отрицательном термическом коэффициенте) [4]. Измеренные спектры люминесценции нанопластин демонстрируют более узкую ширину, чем квантовые точки, благодаря чему их изменение может быть зарегистрировано с меньшей ошибкой и, следовательно, определение температуры происходит точнее. Таким образом, точность измерения температуры составляет $\pm 2-3\text{ K}$ на ЛСМ для НП против $\pm 5\text{ K}$ для КТ (см. рис. 1), но может быть улучшена посредством измерений люминесценции, например, на рамановском микроскопе – до 0.6 K (за счёт более высокого спектрального разрешения). Разгорание люминесценции, вызванное облучением лазером (которое уменьшает количество дефектов), после циклов нагрева/охлаждения исчезает (т.е. дефекты снова проявляются), что говорит об отсутствии преимуществ улучшения люминесценции в термических экспериментах.

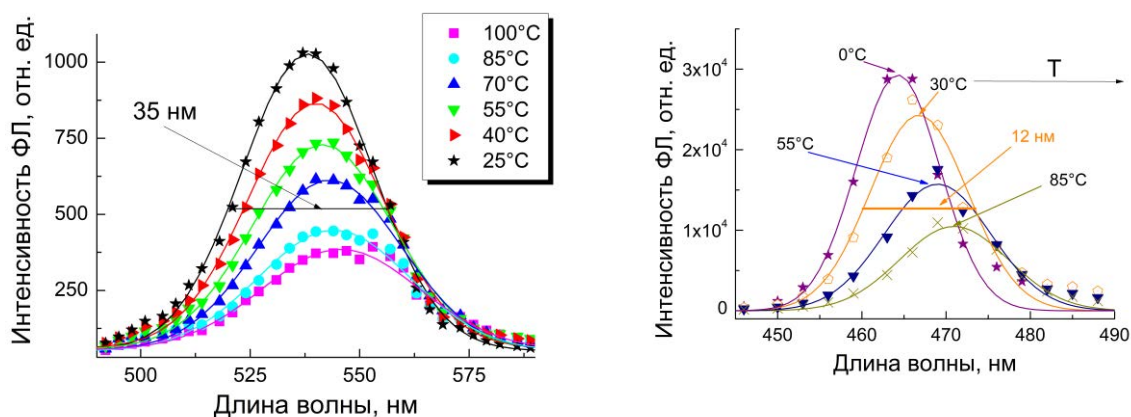


Рис. 1. Спектры люминесценции квантовых точек CdSe/ZnS (слева) и нанопластин CdSe (справа) при разных температурах

Смещение спектров люминесценции нанопластин полностью обратимо (температурная чувствительность: $0.07-0.12\text{ nm/K}$, в зависимости от синтеза) и, вопреки модели Варшни, в определённых пределах может считаться линейным (рис. 2). Учитывая меньшую ширину спектра, НП проявляют более высокую применимость в качестве температурного сенсора, чем КТ, благодаря более ощутимому сдвигу спектра.

Кроме того, было исследовано затухание люминесценции. Из рис. 3 видно, что она затухает быстрее с ростом температуры, а обе компоненты времени жизни практически не зависят от температуры в связи со статическим тушением [5]. Поэтому данная характеристика нанопластин CdSe неприменима для отслеживания температуры.

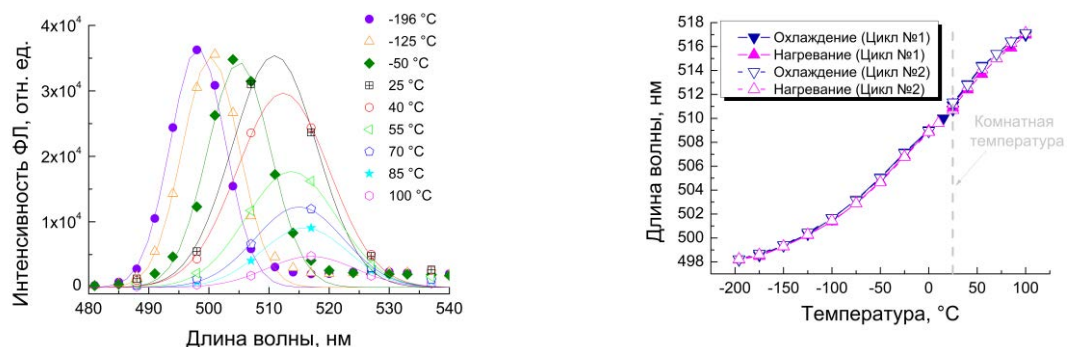


Рис. 2. Спектры люминесценции (слева) и спектральное положение максимума люминесценции (справа) нанопластин CdSe (511 нм при комнатной температуре)

Для того, чтобы изучать лазерный разогрев, необходимо было делать образцы как можно более тонкими и одинаковыми, поскольку степень нагрева зависит от толщины слоя. К сожалению, добиться однородного нанесения нанопластин в один слой посредством техники Ленгмюра-Блоджетт не удалось – суммарная толщина составляла ~ 3 мкм. Кроме того, НП значительно агломерировали, оставляя пустые места на подложке, что видно на рис. 4. Одна из возможных причин этого недостатка заключается в сворачивании нанопластин в трубки из-за присутствия остаточного органического растворителя.

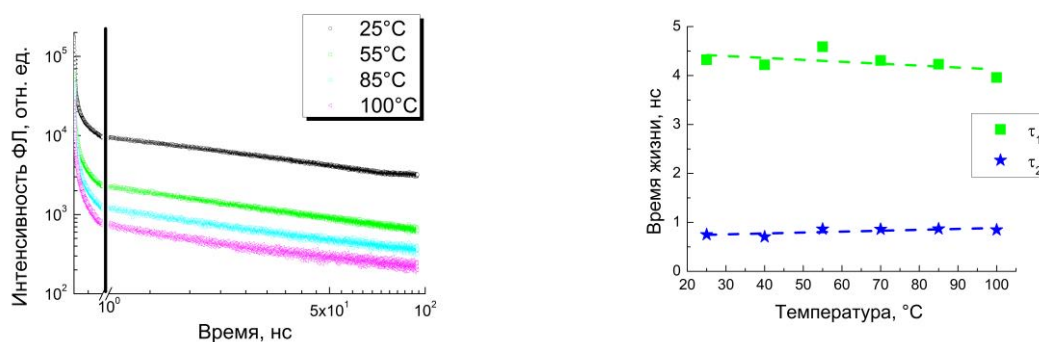


Рис. 3. Кривые затухания люминесценции НП при различных температурах (слева), быстрая и медленная компоненты времени жизни люминесценции (справа)

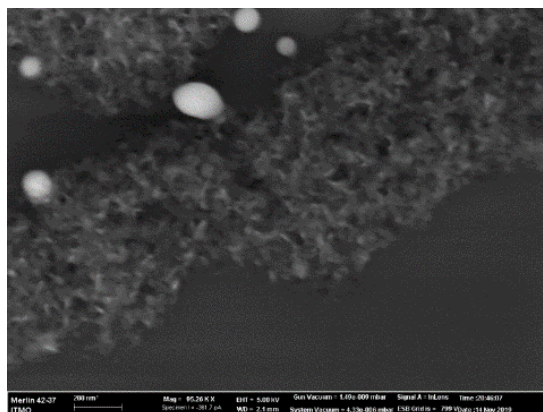


Рис. 4. СЭМ-снимок нанопластин CdSe, нанесённых с помощью техники Ленгмюра-Блоджетт (масштабный отрезок: 200 нм)

Люминесцентные измерения нанопластин под действием лазерного излучения и дальнейший анализ позволяют получить зависимость температуры образца от мощности лазера (или плотности мощности). Лазерный пучок способен значительно разогреть нанопластины в фокальном пятне, что выявляется по сдвигу спектра (см. рис. 5а). Например, при максимальной мощности в 4.7 мВт и площади сканирования 280 мкм² (плотность мощности – 6 Вт/см²) НП нагреваются до 160 °С (см. рис. 5б). Ожидалось, что смещение спектра люминесценции от лазерного нагрева нанопластин с меньшей толщиной и площадью сканирования будет больше из-за более значительной плотности мощности, однако этого не произошло (рис. 5в). Разогрев проявился в гораздо меньшей степени (рис. 5г), что может объясняться разрушением НП под действием интенсивного излучения.

Деструкция нанокристаллов от сфокусированного лазерного пучка в основном проявляется в их плавлении. Оно приводит к появлению больших агломератов, трансформации спектра, а также модификации образца за пределами области сканирования. К примеру, возрастающая лазерная мощность приводит к оттоку НП из центра сканирования в случайном направлении, особенно если образец находится в полужидком состоянии (рис. 6). Более того, было выявлено, что спектр люминесценции подвергнутых сильному излучению нанопластин испытывает сильные искажения, необратимый батохромный сдвиг и сильное уширение. Также области за пределами сканирования начинают плавиться из-за переноса тепла, поэтому некорректно ожидать тех же зависимостей от них, что и раньше.

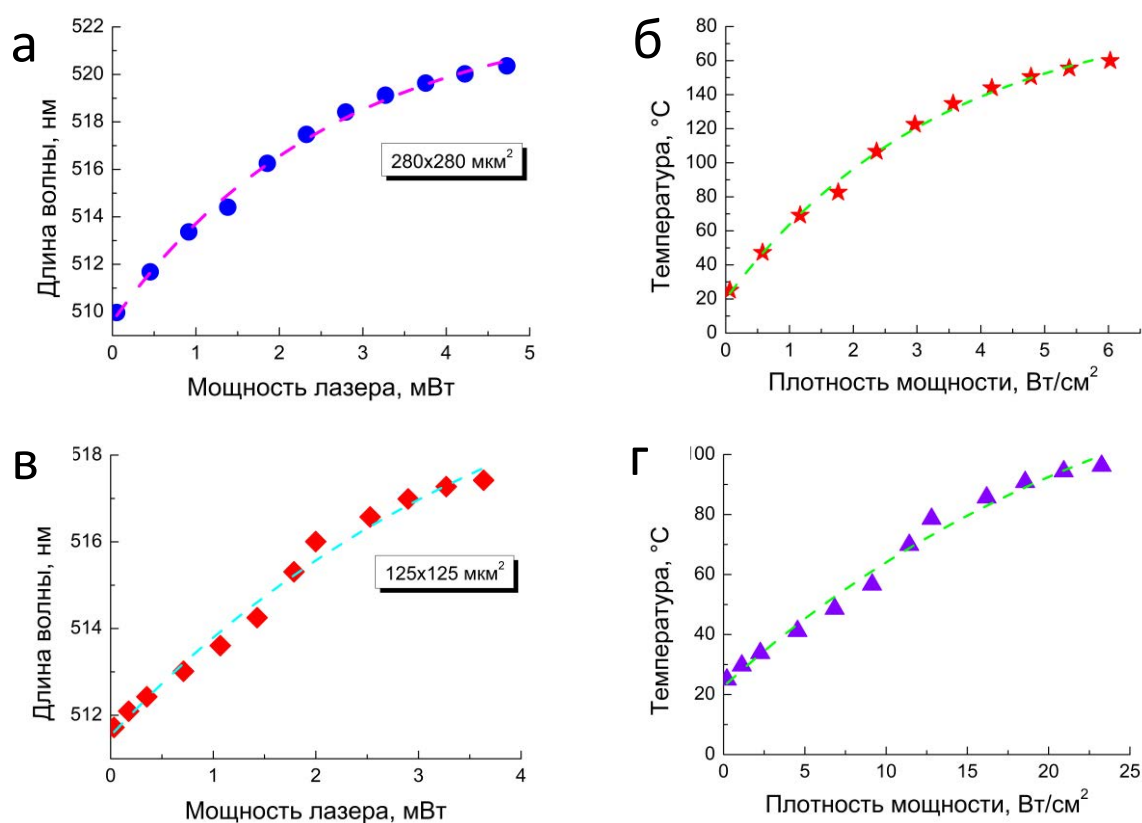


Рис. 5. Зависимость длины волны максимума люминесценции НП с различными толщинами и площадями от мощности лазера (а, в), зависимость температуры лазерного разогрева от плотности мощности (б, г)

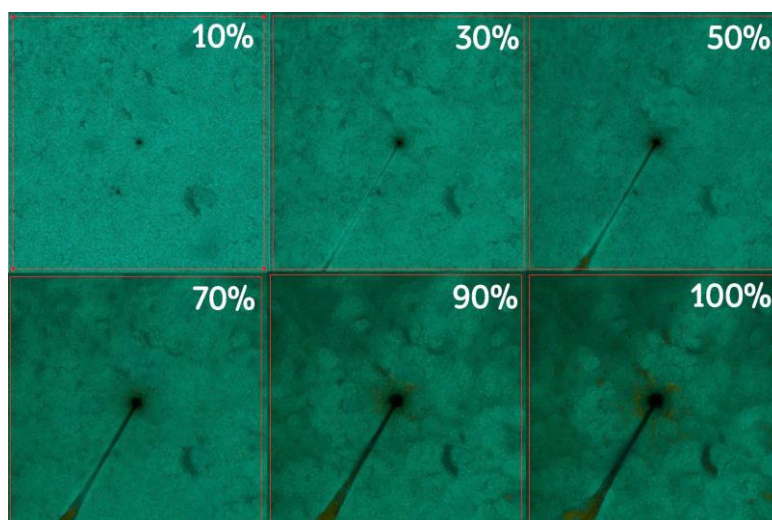


Рис. 6. Постепенное уширение оттока наночастиц из центра засветки при увеличении мощности

Кроме того, смещение спектра и, соответственно, температура могут варьироваться при постоянной мощности лазера – путём уменьшения площади сканирования (см. рис. 7а), что приводит к повышению плотности мощности. Однако иногда ситуация с нагревом может быть далека от идеальной по некоторым причинам. Как видно из рис. 7б, площади участков отличаются друг от друга в 25 раз, но нет такой же значительной разницы в степени их нагрева. При этом меньший участок не мог быть разогрет сильнее в связи с крайне высокой плотностью мощности, которая вызвала структурную деградацию нанопластин и подавление люминесценции. Малая толщина плёнки могла способствовать этому за счёт предотвращения быстрого рассеивания тепла, вызванного лазерным излучением. Таким образом, реальный нагрев составил всего 68 °С, хотя ожидаемый был порядка 99 °С.

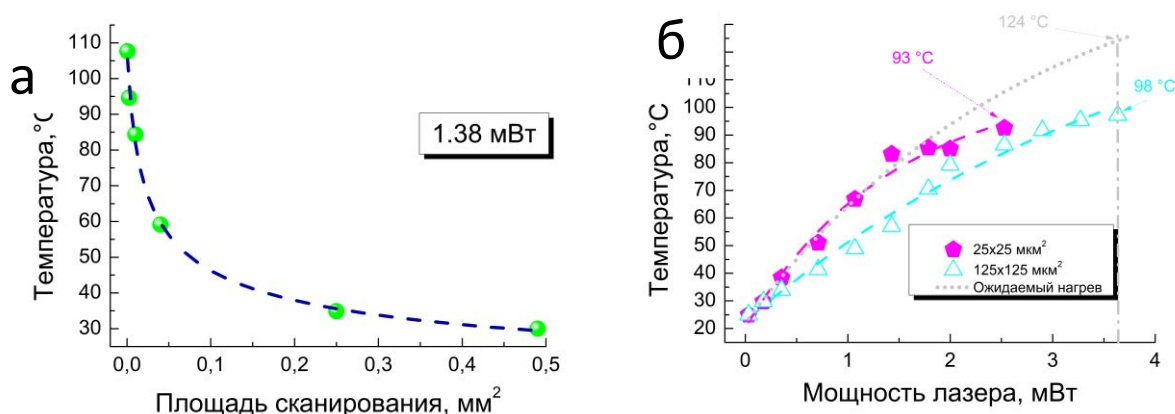


Рис. 7. Рост температуры с уменьшением сканируемой площади (а), зависимость температуры НП от мощности лазера для участков разной площади (б)

Итак, роль температуры зачастую становится значительной, хотя может исключаться из вычислений. Однако зачастую необходимо её отслеживать, особенно когда это касается, например, биологических систем, поскольку малые термические изменения свидетельствуют о заболевании или могут вызвать уничтожение клетки. Неинвазивность и простота метода люминесцентной нанотермометрии посредством

полупроводниковых наночастиц может решать многие проблемы в различных применениях.

Ниже приводятся основные моменты относительно результатов данной работы:

- квантовые точки и нанопластины могут быть успешно применены для измерения температуры благодаря обратимому батохромному спектральному сдвигу люминесценции (линейному в пределах от 0 до 100 °C);

- при этом температура может быть определена с большей точностью для нанопластин вследствие более узкого спектра люминесценции; она также зависима от спектрального разрешения прибора и может быть значительно увеличена с помощью аппроксимации Гаусса;

- лазерное излучение вызывает нагрев, который может быть проконтролирован и использован для температурного отслеживания; степень нагрева зависит от нескольких параметров, связанных с ростом плотности мощности (мощность лазера, площадь сканирования, условия теплоотвода – например, толщина слоя);

Исходя из совокупности всех этих факторов, можно заключить, что лазерный нагрев с помощью полупроводниковых наночастиц может дополнять люминесцентную нанотермометрию, будучи эффективным методом измерения температуры без дополнительного оборудования в лазерной сканирующей микроскопии. Кроме того, нанопластины показывают лучшие результаты, чем квантовые точки, благодаря особенностям параметров люминесценции. В дальнейшем необходимо улучшать точность измерения температуры и повторяемость результатов среди образцов разных синтезов.

Литература

1. Brites C.D.S., Balabhadra S., Carlos L.D. Lanthanide-Based Thermometers: At the Cutting-Edge of Luminescence Thermometry // *Adv. Opt. Mater.* 2019. V. 7. № 5. P. 1–30.
2. Jaque D., Vetrone F. Luminescence nanothermometry // *Nanoscale*. 2012. V. 4. № 15. P. 4301–4326.
3. Liu Y. et al. Photothermal therapy and photoacoustic imaging via nanotheranostics in fighting cancer // *Chem. Soc. Rev. Royal Society of Chem.* 2019. V. 48. № 7. P. 2053–2108.
4. Bose S. et al. Temperature-dependent optoelectronic properties of quasi-2D colloidal cadmium selenide nanoplatelets // *Nanoscale*. 2017. V. 9. № 19. P. 6595–6605.
5. Kuposov A.Y. et al. High-Temperature Photoluminescence in Colloidal “quasi” 2D Materials // *Phys J., Chem. C*. 2018. V. 122. № 9. P. 5119–5123.

Гусарова Татьяна Игоревна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42312,

направление подготовки: 27.04.05 – Стратегическое управление инновациями,

e-mail: tatatata26@yandex.ru

Коваленко Борис Борисович

Год рождения: 1958

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

д.э.н., профессор,

e-mail: kovalenkob@mail.ru

УДК 65.012

**КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ
СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА**

Т.И. Гусарова

Научный руководитель - д.э.н., профессор Б.Б. Коваленко

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

Аннотация

В работе представлены выводы, полученные в результате исследования теоретико-методических основ проектного менеджмента, по итогам которого были выявлены преимущества выбора наиболее подходящей для конкретного проекта методологии. Изучение особенностей создания инновационных проектов, а также анализ и сравнение проектных методологий позволило выделить критерии выбора методологии управления проектом создания инновационного продукта. На их основе были разработаны модели и алгоритм для выбора методологии проектного управления, которые были апробированы на проекте по созданию программного обеспечения для тестирования и обслуживания вэб-сайта для образовательной организации.

Ключевые слова

Проект, команда, менеджмент, управление проектами, методологии проектного менеджмента, DevOps, Agile, традиционные методологии, выбор проектной методологии, сайт образовательной организации, инновационный продукт, инновации

Мир меняется все быстрее и требует постоянного развития, появления новых идей, порождающих инновации. На это повлияло множество явлений, к которым можно отнести развитие технологий, глобализацию, цифровизацию.

Сегодня деятельность организации часто оценивается с позиции проектов. Это связано с тем, что все организации реализуют инициативы, направленные на создание, внедрение определенного результата.

Создание инноваций является сложным процессом, зависящим от множества различных факторов. Для этого используют инновационные проекты, которые, по сути, являются последовательностью действий, которая направлена на создание и вывод инновации на рынок при ограниченных ресурсах в четко определенные сроки.

Однако не все проекты можно назвать успешнореализованным. Часто встречаются проекты, которые были выполнены не в срок, не уложились в выделенный бюджет, не выполнены вообще. Одной из причин такой проблемы, как неэффективность создания инновационного проекта, можно назвать выбор неверной, неподходящей методологии управления проектом.

Методология управления проектом- это сочетаниеизподходов, практик, способов, методов, а такжепроцессов, определяющихнаилучшийпуть планирования, разработки и контроляпроектавходе его непрерывной реализациии успешногозавершения [1].

Изучение теоретико-методических основ проектного менеджмента показало, что управление проектами развивалось на протяжении всей истории человечества. Большая часть знаний по данной тематике была накоплена лишь за последнее столетие. Достижения в науке и технике способствовали созданию множества новых методов проектного менеджмента, которые применяются до сих пор.

Исследование показало, что применение методологии проектного управления дает возможность четко установить цели, задачи, результаты, создать план реализации проекта, определить и оценить риски и по возможности не допустить их.

Таким образом, правильно выбранная методология управления проектами дает следующие преимущества:

- определение потребностей стейкхолдеров;
- установление общего «языка» для максимально эффективного общения команды;
- определение оптимальной структуры затрат;
- единообразие выполнения задач проекта;
- обнаружение и решение большинства конфликтов заранее;
- получение ожидаемых результатов эффективнее;
- определение и устранение проблемных зон проекта быстро и четко;

Соответственно, правильный выбор методологии дает определенную гарантию того, что работа будет выполнена вовремя, в рамках бюджета и в соответствии со спецификациями.

Исследование особенностей создания инновационных проектов являлось очень важной задачей, так как создание инноваций является сложным процессом, зависящим от множества различных факторов. А значит управление проектами по созданию инновационных продуктов имеет свои отличительные черты, которые важны для успешной реализации таких проектов. Таким образом, было выявлено, что инновационный проект является уникальным, полезным, управляемым, рискованным, требующим уникальных профессиональных знаний и понимание стандартов. Особенно важно отметить характерные черты, являющиеся общими для всех инноваций – это рискованность и неопределенность, которые также оказывают сильное влияние при выборе методологии управления проектом.

Исследование проектов и их характерных черт, особенно связанных с созданием инновационных продуктов, а также анализ и сравнение существующих проектных методологий позволило выделить критерии выбора методологии управления проектом создания инновационного продукта, среди которых особенно стоит отметить определенность результата, влияние стейкхoders, сферу применения.

Также анализ проектных методологий показал, что все методологии проектного менеджмента можно поделить на традиционные, гибридные и гибкие. При этом гибридные методологии являются некой переходной формой или же комбинацией традиционных и гибких практик. Для исследования были традиционные методологии – Waterfall, PMI PMBOK, CPM и PRINCE2, и гибкие – Scrum, XP, Lean, Kanban и DevOps.

Далее, опираясь на полученные данные, была построена модель выбора методологии проектного управления на основе ключевых критериев проекта. Для использования этой модели был разработан алгоритм выбора методологии проектного управления, ключевыми этапами которого стали экспертная оценка проекта по ключевым критериям; расчет интегрального показателя методом аддитивной свертки критериев; определение типа методологии.

Разработанная модель и алгоритм были использованы для проекта по созданию инновационного продукта. В качестве проекта была выбрана разработка системного программного обеспечения для тестирования и обслуживания вэб-сайта образовательной организации. Данный проект был выбран в связи с тем, что в условиях пандемии информация на сайте вуза должна оперативно меняться в соответствии с ситуацией в регионе и изменениями законодательства, что в связи с ситуацией с COVID-19 происходит очень быстро. И в этих условиях сайт оказался одним из главных источников оперативной информации. Исследование вопроса соответствия сайта образовательной организации требованиям нормативно-правовых актов Российской Федерации позволило определить проблему, связанную с ведением и проверкой сайта на соответствие требованиям нормативно-правовых актов Российской Федерации. Для ее решения был предложен проект по созданию внутренней программы для ведения и проверки сайта.

Согласно разработанному алгоритму, была проведена оценка проекта по ключевым критериям с помощью экспертной группы. Результаты представлены в таб. 1.

Таблица 1

Экспертная оценка проекта

№	Критерий	Характеристика критерия		Показатель
1	Определенность результата	Четко определен (1)	Не определен (5)	4
2	Адаптивность к изменениям	Негибкий (1)	Гибкий (5)	4
3	Риски	Низкие (1)	Высокие (5)	2
4	Размер проекта	Крупный (1)	Небольшой (5)	4
5	Работа с заказчиками	Минимальна (1)	На протяжении всего проекта (5)	5
6	Влияние стейкхолдеров на проект	Отсутствие прямого влияния (1)	Сильное влияние (5)	5
7	Вовлечение пользователей в процесс разработки	Минимально вовлечен (1)	Сильно включенный (5)	5
8	Определенность сроков сдачи проекта	Конкретно определены (1)	Мало определены (5)	2

Далее, произведя расчет интегрального показателя методом аддитивной свертки критериев по формуле (1), было получено значение 3,86. Результаты расчетов представлены в таб. 2.

$$K = r_1 \times K_1 + r_2 \times K_2 + r_3 \times K_3 + r_4 \times K_4 + r_5 \times K_5 + r_6 \times K_6 + r_7 \times K_7 + r_8 \times K_8, \quad (1)$$

где $K_1, \dots, K_8$ – это значения критериев, полученных экспертным способом;

$r_1, \dots, r_8$ – это весовые коэффициенты выбранных критериев;

K – итоговое значение интегрального показателя.

Таблица 2

Результаты расчета интегрального показателя

№	Критерий	Характеристика критерия		Показатель	Вес	Итог
1	Определенность результата	Четко определен (1)	Не определен (5)	4	0,22	0,89
2	Адаптивность к изменениям	Негибкий (1)	Гибкий (5)	4	0,19	0,78
3	Риски	Низкие (1)	Высокие (5)	2	0,17	0,33
4	Размер проекта	Крупный (1)	Небольшой (5)	4	0,14	0,56
5	Работа с заказчиками	Минимальна (1)	На протяжении всего проекта (5)	5	0,11	0,56
6	Влияние стейкхолдеров на проект	Отсутствие прямого влияния (1)	Сильное влияние (5)	5	0,08	0,42
7	Вовлечение пользователей в процесс разработки	Минимально вовлечен (1)	Сильно включенный (5)	5	0,06	0,28
8	Определенность сроков сдачи проекта	Конкретно определены (1)	Мало определены (5)	2	0,03	0,06
Итого:						3,86

На основании полученного интегрального показателя можно соотнести проект с определенным типом методологии согласно данным критериям:

- при значениях до 2,00 для проекта рекомендуется использовать методологию традиционного типа;
- при значениях 2,00-4,00 для проекта - гибридный тип;
- при значениях более 4,00 - гибкий тип проектного управления.

Таким образом, была построена модель для выбора методологии, представленная на рис. 1, и определен тип методологии, подходящий для данного проекта – гибридный с уклоном в гибкий.

Окончательный выбор методологии происходит на основании особенностей конкретной методологии и личных предпочтений команды проекта.

Учитывая особенности проекта, для его реализации оптимальной признана методология DevOps.

Методология DevOps представляет собой подход к разработке программного обеспечения, с помощью которого программное обеспечение высшего качества может быть разработано быстро и с большей надежностью. Он состоит из различных этапов, таких как непрерывная разработка, непрерывная интеграция, непрерывное тестирование, непрерывное развертывание и непрерывный мониторинг [2].

Ее выбор был сделан исходя из того, что DevOps относится к группе гибких методологий, ее основная сфера применения – это разработка программного обеспечения, а также то, что в проектную команду входят специалисты отдела эксплуатации инфокоммуникационных систем в качестве разработчиков и отдела менеджмента качества в качестве основных пользователей и консультантов.

В соответствии с выбранной методологией были описаны основные этапы реализации проекта и разработана схема с описанием основных процессов проекта. Данная схема представлена на рис. 2.

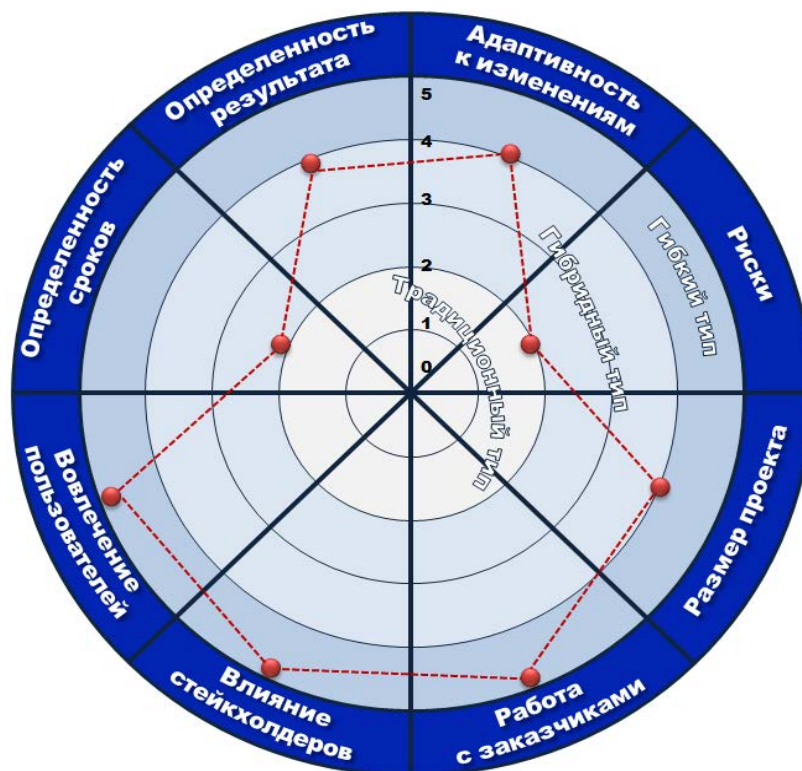


Рис. 1. Диаграмма выбора методологии проектного управления

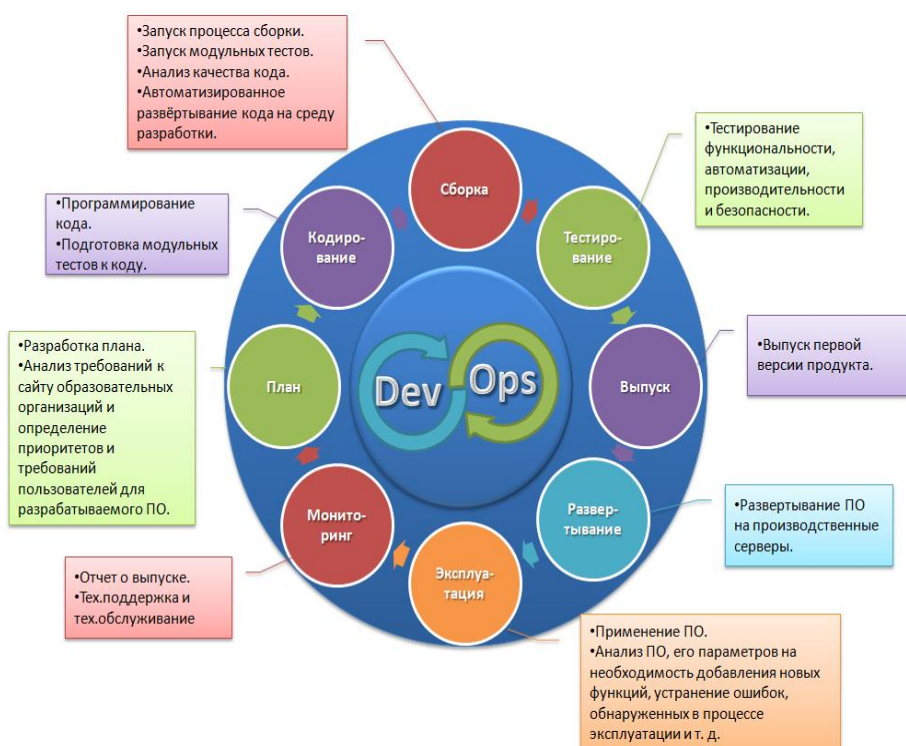


Рис. 2. Диаграмма выбора методологии проектного управления

Следование данной схеме позволит реализовать проект в полной мере, а значит оценка проекта и выбор методологии его реализации были произведены верно.

В результате проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Выявлены преимущества применения оптимальной методологии для повышения эффективности функционирования проектного менеджмента. Это позволило сделать вывод о том, что правильный выбор методологии дает определенную гарантию того, что работа будет выполнена вовремя, в рамках бюджета и в соответствии со спецификациями.

2. Выделены критерии выбора методологии управления проектом создания инновационного продукта, что позволило провести обоснованный выбор проектной методологии для реализации проекта по созданию инновационного продукта.

3. Разработана модель выбора методологии проектного управления на основе ключевых критериев.

4. Предложен алгоритм выбора методологии проектного управления. Это позволило определить оптимальный состав методов и инструментов эффективного проектного управления.

5. Подготовлен проект по созданию программного обеспечения для тестирования и обслуживания вэб-сайта на основе модели и алгоритма выбора методологии проектного управления.

Таким образом, были апробированы разработанные модель и алгоритм выбора методологии проектного управления на основе ключевых критериев проекта, что говорит о важности исследования, его практической значимости. В дальнейших исследованиях можно подробнее рассмотреть влияние стейкхолдеров на подобные проекты, так как такие современные явления, как развитие технологий, глобализация, цифровизация, расширяют спектр взаимодействия заинтересованных лиц на проект, на его результат. Данный фактор является очень важным при выборе методологии проектного управления, а значит требует дальнейшего изучения.

Литература

1. Ungureanu Ad., Ungureanu An. Methodologies used in Project Management//Annals of SpiruHaret University, Economic Series. 2014. Vol. 5. № 2. P. 47–53.
2. DevOps: Breaking the Development–Operations barrier // Atlassian. [Электронныйресурс]. Режим доступа: <https://www.atlassian.com/ru/devops> (дата обращения: 17.03.2020).

Давыденко Мишель Игоревна

Год рождения: 1996 год

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

студент группы №W4051,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника

и системы жизнеобеспечения,

e-mail: mishelloooh@yandex.ru

Баранов Александр Юрьевич

Год рождения: 1956 год

Университет ИТМО,

факультет низкотемпературной энергетики,

д.т.н., профессор,

e-mail: abaranov@corp.ifmo.ru

УДК 621.6.057

**АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОГРУЖНОГО
ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С КРИОГЕННЫМ
ГИДРОПРИВОДОМ ПРИ ОТГРУЗКЕ СЖИЖЕННОГО
ПРИРОДНОГО ГАЗА ИЗ КРУПНОТОННАЖНЫХ ХРАНИЛИЩ**

М.И. Давыденко

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Ю. Баранов

Работа выполнена в рамках темы НИР №617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Аннотация

Исследование выполнено для оценки возможности согласования работы рабочего колеса центробежного жидкостного насоса и гидравлической турбины, приводимой в движение сжиженным природным газом. Выполнен расчетный анализ работы гидротурбины и колеса криогенного центробежного насоса при разных уровнях сжиженного газа в накопительной емкости. Представлены результаты математического моделирования работы турбоагрегата при разных величинах расхода СПГ через ведущее колесо. С помощью средств пакета ANSYS построена модель лопасти рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины.

Ключевые слова

Сжиженный природный газ; крупнотоннажные хранилища; погружной насос отгрузки; гидравлическая турбина; режим работы; постоянная подача; переменная подача.

Погружные насосы сжиженного природного газа (далее – ПНСПГ) являются наиболее критичным узлом технологического блока накопления-выдачи СПГ. В крупнотоннажном производстве СПГ преимущественно используют погружные центробежные насосы с электроприводом. Насосный агрегат эксплуатируется в слое криогенной жидкости высотой до 50 м и при температуре 111 К, поэтому в случае поломки любого узла требуется полная замена насосного агрегата. При работе такого насоса примерно 30% энергии, затраченной электроприводом, рассеивается в криогенной жидкости, что приводит к возникновению дополнительных потерь СПГ [1].

Для повышения надежности погружного насосного агрегата рационально заменить электрический привод.

Для погружных насосов СПГ наиболее эффективным решением представляется использование объемного гидропривода. В качестве источника энергии можно использовать производственный СПГ, который выходит из блока ожижения с давлением не менее 5 МПа. Перед подачей в накопительную емкость поток СПГ проходит через гидротурбину, которая преобразует потенциальную энергию потока в электрическую энергию и снижает давление жидкости до уровня близкого к атмосферному. Поток СПГ, поступающий в насосный агрегат, имеет высокое давление и температуру около 111 К, т.е. находится недогретом состоянии, его свойства сходны со свойствами любой традиционной жидкости. Если направить этот поток на гидротурбину, соосно размещённую с центробежным насосом, энергия жидкостного потока преобразуется в энергию вращения рабочего колеса турбины, которая будет затрачена на вращение рабочего колеса насоса.

Несомненным преимуществом гидропривода насоса является то что, приводящая и нагнетающая жидкости одно и то же вещество. Это снижает требования к качеству уплотнения нагнетательной части насоса. Подшипники насоса могут использовать СПГ в качестве смазки. Механическая работа, совершаемая жидкостью высокого давления над колесом турбины, передается на колесо насоса без потерь, а присущие электродвигателю тепловыделения отсутствуют. Снижение поступления теплоты уменьшается потери СПГ от испарения.

На основании исследований [2], в качестве рабочего колеса погружного центробежного насоса СПГ использована радиально-осевая гидротурбина с наружным диаметром рабочего колеса 165 мм. Расход СПГ высокого давления через турбину может быть определен с помощью понятия мощности гидротурбины, затрачиваемой на выдачу единицы массы СПГ за единицу времени [1]:

$$N_{тр\gamma\delta}^p = g \cdot H_{раб} \cdot \eta_{тур} \quad (1)$$

где $H_{раб}$ – рабочий напор насоса, м; $\eta_{тур}$ – КПД турбины.

Под рабочим напором насоса понимается энергия, затрачиваемая на перемещение 1 кг жидкости за пределы накопительной емкости. Для каждого момента времени насос СПГ должен поддерживать рабочий напор, который позволяет переместить жидкость на уровень верхнего сечения емкости:

$$H_{раб} = H_n - h_{СПГ} \quad (2)$$

где $h_{СПГ}$ – уровень СПГ в емкости, м.

Уровень СПГ в накопительной емкости изменяется в пределах от 10% до 90% максимального уровня заполнения. Для емкостей накопления СПГ проекта «Балтийский СПГ» максимальный уровень налива составляет 45; минимальный – 5.

Из-за высокого давления СПГ, поступающего в турбоагрегат, удельная энергия потока значительно превышает расчетные затраты энергии на выдачу СПГ из емкости. Необходимо определить закон изменения соотношения потоков по мере опорожнения емкости.

Для отработки режимов управления подачей СПГ необходимо оценить механическую мощность, потребляемую насосом:

$$N = 1,10 \cdot E_{\text{нас}} \cdot Q_{\text{СПГ}}. \quad (3)$$

Для выдачи СПГ из накопительной емкости обычно используется 3-4 насоса. Учитывая расходные требования к насосным агрегатам проекта «Балтийский СПГ» расход СПГ через агрегат из трех насосов составит 160 кг/с, а через агрегат из четырех насосов: 120 кг/с. Максимальная мощность, потребляемая в вариантах исполнения турбоагрегата, составит 84,68 кВт и 63,85 кВт соответственно.

Величина расхода СПГ высокого давления зависит от производительности насоса [1]:

$$Q_{\text{тур}} = Q_{\text{нас}}/m \quad (4)$$

где $Q_{\text{нас}}$ – расход СПГ через насос; m – отношение расхода СПГ в насосе к расходу СПГ в турбине.

На основании формул (1) – (4) был проведен расчет режима работы ПНСПГ с приводом от гидротурбины при переменном расходе СПГ высокого давления через рабочее колесо турбины. Расход СПГ высокого давления через турбину изменяется от 0,91 кг/с, до максимального 8,01 кг/с в зависимости от текущего уровня СПГ в накопительной емкости. Использование переменного режима расхода через рабочее колесо турбины обеспечивает номинальный уровень работы насоса, требуемые характеристики выдачи СПГ из накопительной емкости.

Однако для обеспечения режима переменного расхода СПГ высокого давления через рабочее колесо турбины необходимо установить специальное измерительное оборудование, а именно: датчик расхода – для контроля величины расхода в линии выдачи; датчик верхнего уровня – для контроля уровня СПГ в накопительной емкости; электромагнитный вентиль – регулирование степени открытия сечения подающего трубопровода к турбине. Учитывая значительно низкую температуру эксплуатации, установка дополнительных технических устройств может привести к повышению общей аварийности работы емкости. Необходимость эксплуатации электромагнитного вентиля также может привести к возникновению ряда дополнительных эксплуатационных проблем.

В связи с эксплуатационной рентабельностью работы турбины при переменном расходе через рабочее колесо, был проведен расчет режима работы ПНСПГ с приводом от гидротурбины при постоянном уровне расхода СПГ через рабочее колесо турбины.

Зависимость расходов через насосное колесо в номинальном и расчетном режиме устанавливает эмпирическая формула [3]:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{0,164 \cdot \lambda \cdot \psi \cdot D_2^2 b_2 n_1 \cdot \eta_T}{0,164 \cdot \lambda \cdot \psi \cdot D_2^2 b_2 n_2 \cdot \eta_T} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5)$$

где D_2 – внешний диаметр колеса; b_2 – ширина колеса; n – частота вращения.

Основное влияние на величину расчетного напора насоса в рассматриваемом режиме работы насосного агрегата будет оказывать расчетное значение частоты вращения:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{K D_2^2 n_1^2}{K D_2^2 n_2^2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (6)$$

где K – коэффициент, зависящий от конечного числа лопаток.

Мощность, развиваемая турбиной, при постоянном расходе через рабочее колесо незначительно изменяется в зависимости от уровня СПГ в накопительной емкости. При

этом значения расчетной мощности турбины превышают номинальные величины мощности, потребляемой насосом. Фактическая мощность, потребляемая насосом, в расчетном режиме (с учетом КПД) определяется по формуле:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\frac{H_1 g Q_1}{\eta_T}}{\frac{H_2 g Q_2}{\eta_T}} = \frac{H_1 Q_1}{H_2 Q_2} = \frac{n_1^2 \cdot n_1}{n_2^2 \cdot n_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (7)$$

Согласно формулам (5) – (7), в расчетном режиме изменение основных параметров работы насоса происходит следующим образом:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt[3]{\frac{N_2}{N_1}}.$$

$$n_2 = n_1 \sqrt[3]{\frac{N_2}{N_1}}.$$

Таким образом, при постоянном расходе СПГ высокого давления через рабочее колесо турбины, расход в линии выдачи (после рабочего колеса центробежного насоса) становится переменным и изменяется кубически в зависимости от изменения мощности, потребляемой насосом. Учитывая пересчет мощностей с учетом КПД, расход в линии выдачи в определенный момент становится меньше номинального значения. В связи с чем, при величине постоянного расхода СПГ через рабочее колесо гидротурбины необходимо определить с учетом характера и итоговой величины накопления СПГ на выдаче.

Учитывая, что СПГ представляет собой насыщенную жидкость, то под воздействием большого количества энергии может произойти вскипание жидкости на входе (кавитация). В целях обеспечения бескавитационной работы насоса, скорость потока во всасывающем сечении не должна превышать 5 м/с.

Путем итерационного перебора средствами MS Excel было определено оптимальное значение расхода через рабочее колесо гидротурбины для различных исполнений насосного агрегата. Для насосного агрегата, включающего в себя 3 рабочих насоса, была задана величина расхода СПГ высокого давления 4,4 кг/с.

При данном расходе СПГ высокого давления через рабочее колесо турбины обеспечивается необходимый уровень накопления СПГ на выдаче. Превышение итогового значения от номинального составляет 0,2%, что может быть компенсировано испарениями СПГ в процессе регазификации при выдаче. Сравнение режимов накопления представлено на рис. 1.

Средний уровень подачи насоса составляет 159,94 кг/с, что практически соответствует номинальным значениям. В заданном режиме работы расчетная скорость во всасывающем сечении насоса будет превышать максимально допустимое значение лишь на максимальных уровнях СПГ в емкости (более 43,2 метров). При этом, превышение скорости будет незначительным (от 2 до 10%), чем можно пренебречь. Кроме того, следует отменить снижение расчетного значения частоты вращения рабочего колеса насоса при высоких уровнях СПГ в резервуаре. Согласно полученным данным, принятый режим при подаче на турбину 4,4 кг/с является наиболее оптимальным и может быть использованы при работе турбины в сообщении с насосом в насосном агрегате, состоящем из трех насосов.

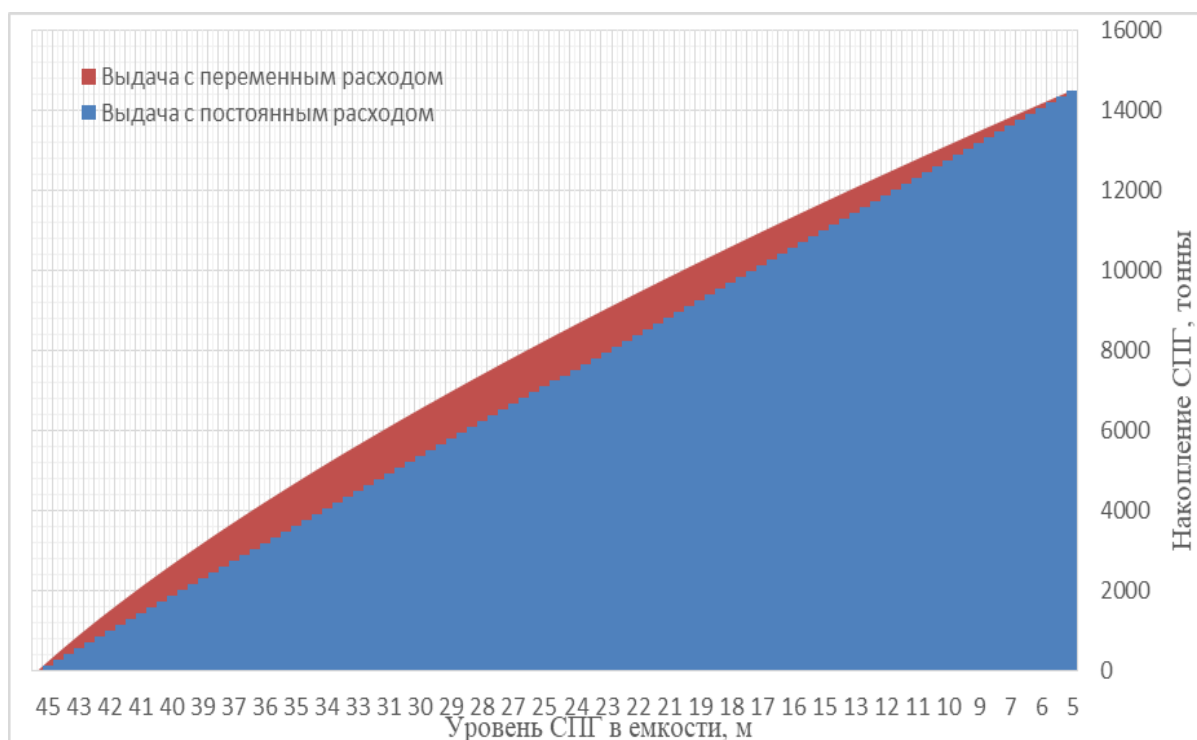


Рис. 1. Сравнение процессов накопления СПГ на выдаче в номинальном и расчетном режимах работы насоса для агрегата из трех насосов

Для насосного агрегата, состоящего из 4 рабочих насосов, величина расхода через рабочее колесо турбины было установлено на уровне 1,4 кг/с. При заданной величине расхода СПГ высокого давления обеспечивается необходимый уровень накопления. превышение итогового значения составляет 0,1%, что может быть компенсировано испарениями СПГ при выдаче. Сравнение режимов накопления представлено на рис. 2.

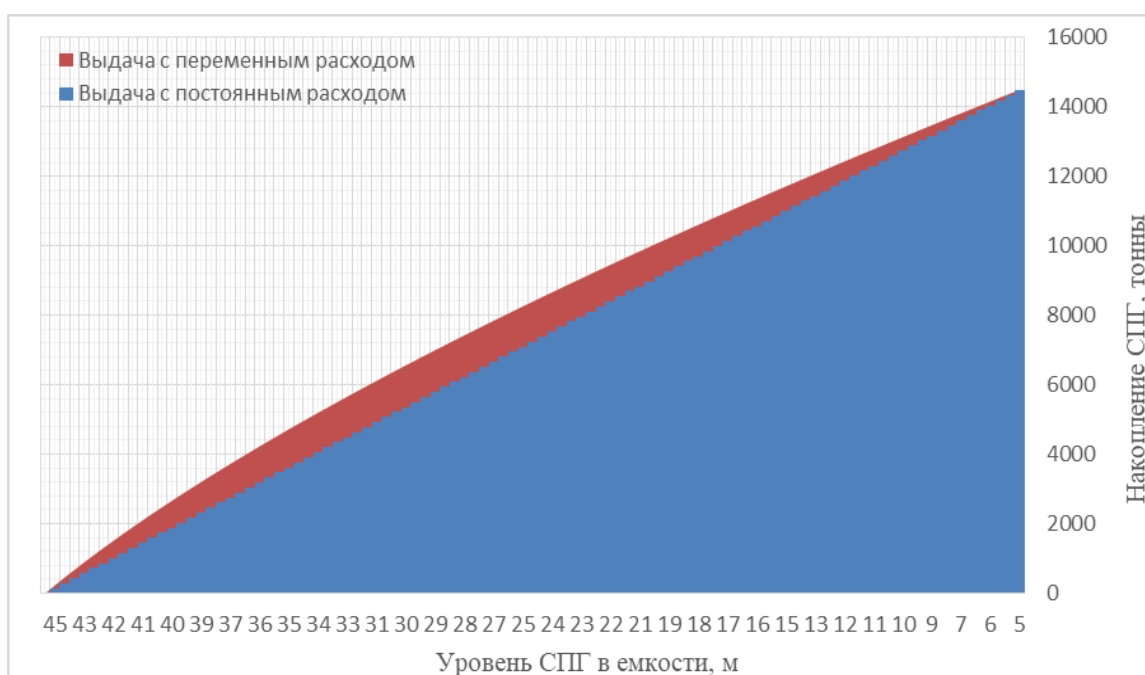


Рис. 2. Сравнение процессов накопления СПГ на выдаче в номинальном и расчетном режимах работы насоса для агрегата из четырех насосов

Кроме того, стоит отметить, что средний уровень подачи насоса составляет 119,87 кг/с, что практически соответствует номинальным значениям. Расчетная скорость во всасывающем сечении насоса будет превышать максимально допустимое значение лишь на максимальных уровнях СПГ в емкости (более 43 метров). При этом, превышение скорости будет незначительным (от 2 до 12%), чем можно пренебречь. Следует отменить снижение расчетного значения частоты вращения рабочего колеса насоса. Уровни частоты вращения рабочего колеса центробежного насоса приближены к идеальным значениям. Таким образом, принятый режим при подаче на турбину 1,4 кг/с является наиболее оптимальным и может быть использованы при работе турбины в сообщении с насосом в насосном агрегате, состоящем из 4 насосов.

Моделирование работы гидротурбины на сжиженном природном газе Для подтверждения возможности использования в качестве привода ПНСПГ принятой к установке гидротурбины была смоделирована работа турбины средствами пакета ANSYS. При решении поставленной задачи использовалась циклосимметричная постановка. Моделировалась исключительно проточная часть, соответствующая одной лопасти [4].

На рис. 3 и 4 приведено распределение коэффициента давления по лопасти турбины в заданных условиях работы для различных комплектаций агрегата. Коэффициент давления определяется по формуле (8) [5]:

$$[p] = \frac{p - p_o}{\rho g H} \quad (8)$$

где p – давление подачи жидкости на лопасти турбины; p_o – атмосферное давление; H – приведенный напор; ρ – плотность рабочей жидкости.

Как видно из полученных данных на лопастях гидротурбины отсутствует области повышенного давления для всех вариантов комплектации насосного агрегата. Кроме того, большая часть площади лопасти находится в зоне средних по величине давлений. Таким образом, принятая к установке радиально-осевая турбина обеспечит нормальные условия работы ПНСПГ в условиях отгрузки СПГ из крупнотоннажных хранилищ.

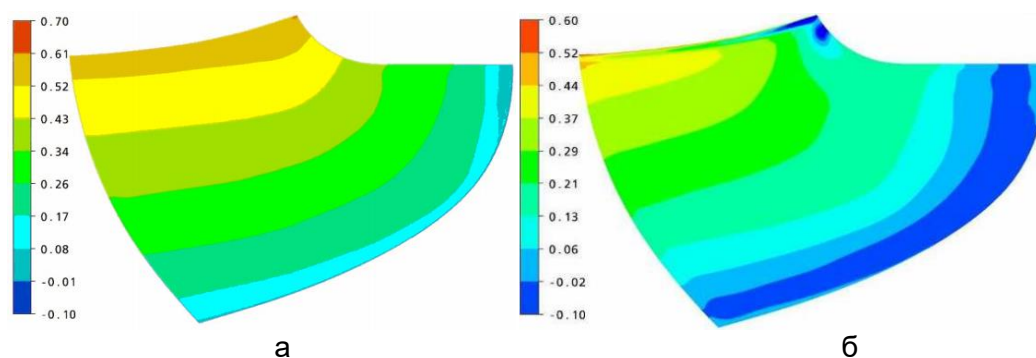


Рис. 3. Коэффициент давления на стороны лопасти гидротурбины для агрегата из трех насосов: вогнутая сторона (а); выпуклая сторона (б)

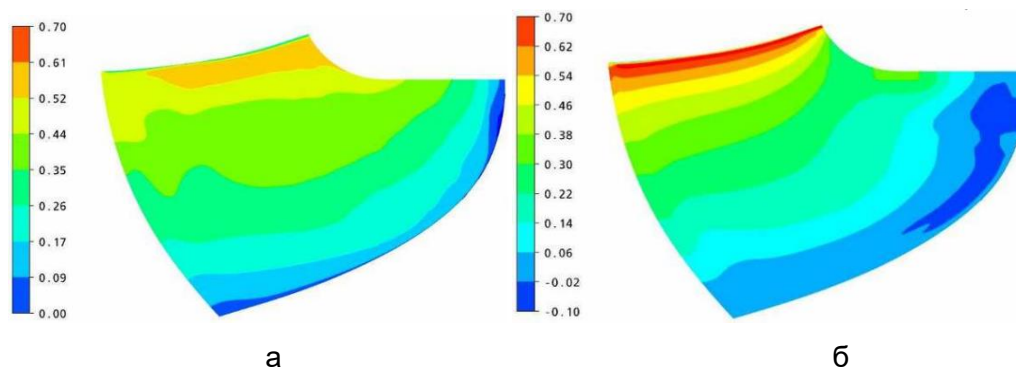


Рис. 4. Коэффициент давления на стороны лопасти гидротурбины для агрегата из четырех насосов: вогнутая сторона (а); выпуклая сторона (б)

В данной работе был проведен расчетный анализ работы гидравлической турбины при использовании ее в качестве привода центробежного ПНСПГ. В результате анализа режимов работы, было сделано заключение о эксплуатационной нерентабельности работы турбины ПНСПГ при переменном расходе через рабочее колесо гидротурбины. На основании сделанного заключения был проведен расчет режимов работы для насосных агрегатов из трех и четырех насосов в условиях постоянного расхода через рабочее колесо турбины. Получены оптимальные значения расхода через рабочее колесо турбины для двух комплектаций агрегата: для насосного агрегата из трех насосов – 4,4 кг/с; для насосного агрегата из четырех насосов – 1,4 кг/с. С помощью средств пакета ANSYS построена модель гидротурбины в условиях работы на СПГ под давлением 7МПа. Сделано заключение о возможности установки турбины на дно резервуара в качестве привода центробежного ПНСПГ.

Литература

1. Ковалев Н.Н. Гидротурбины: конструкции и вопросы проектирования // СПб: Машиностроение. 2017. 584 с.
2. Давыденко М.И., Баранов А.Ю. Применение гидротурбины в качестве привода погружного центробежного насоса для отгрузки сжиженного природного газа из крупнотоннажных хранилищ // Материалы IX Международной научно-технической конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке". 2019. Т. I. С. 193-198.
3. Coyle D., Patel V. Processes and pump services in the LMG industry // Renew. Energy. 2016. С.179-185.
4. Zhu B., Wang X., Tan L. Optimization design of a reversible pump–turbine runner with high efficiency and stability // Renew. Energy. 2015. P. 366–376.
5. Золотаревич В.П., Югов Н.В. Расчет гидродинамических характеристик рабочего колеса радиально-осевой турбины РО-230 // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2009. № 4. С.60-67

Дубовиченко Михаил Вадимович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

магистрант группы № А42421,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: mihaieldubovichenko@mail.ru

Колпащиков Дмитрий Михайлович

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

к.х.н. профессор-исследователь,

e-mail: kolpashchikov@scamt-itmo.ru

УДК 577.21

**РАЗРАБОТКА ДНК-НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ СПЕЦИФИЧНЫХ
РНК ДЛЯ ТЕРАПИИ РАКА**

М.В. Дубовиченко

Научный руководитель – к.х.н., профессор-исследователь

Д.М. Колпащиков

Работа выполнена в рамках темы НИР №219900 «Разработка экспериментального образца тест-системы на основе зондов ДНКзимов для *invitro* диагностики специфических последовательностей нуклеиновых кислот».

Аннотация

Работа посвящена разработке терапевтических агентов на основе ДНКзимов, ингибирующих мРНК генов домашнего хозяйства. Был проведен обзор литературы по существующим методам лечения рака, в т.ч. и генной терапии. В экспериментальной части мы оптимизировали ДНКзимы для достижения максимально эффективного нокдауна мРНК-мишеней (44% за 5 часов). На основе ДНКзимов мы разработали ДНК-машины и бивалентные системы. Их тестирование показало улучшение расщепления РНК-мишени в 1,4 и в 2 раза по сравнению с ДНКзимами.

Ключевые слова

ДНКзимы, каталитическое расщепление, нокдаун гена, мРНК, ген домашнего хозяйства, ДНК-машины, бивалентные системы.

Известные способы лечения рака, такие как химиотерапия и радиотерапия, уничтожают как раковые, так и здоровые клетки. Более современные методы лечения, такие как таргетная терапия и иммунотерапия, специфически воздействуют на киназы или регуляторы иммунной системы, тем самым уничтожая рак. Но, несмотря на их большую селективность по сравнению с химиотерапией и радиотерапией, таргетная терапия и иммунотерапия имеют недостатки. Для таргетной терапии это гипертензия и foot-hand синдром, а для иммунотерапии – иммунный ответ и высокая цена производства препаратов. Генная терапия в лечении рака направлена на воздействие с онкомаркерами, ингибирование которых ведет к гибели только раковых клеток. В настоящее время около 65% лекарств на основе генной терапии разрабатывается для

лечения рака [1]. К настоящему моменту известны такие методы генной терапии, как аденовирусные векторы и сайленсеры генов: siRNA, антисмысловые олигонуклеотиды (ASO) и ДНКзимы.

Однако, генная терапия рака также не лишена недостатков. Вирусные векторы вызывают иммунный ответ. А сайленсеры генов имеют низкую ассоциацию с РНК на участках, сложенных во вторичную структуру. Основной задачей стояло решение проблемы ассоциации сайленсеров генов с РНК. ДНКзимы – короткие, каталитически активные расщепляющие агенты на основе ДНК. В отличие от siRNA и ASO, ДНКзимы каталитически расщепляют РНК без помощи ферментов. В нашей работе мы использовали ДНКзимы Dz 10-23, расщепляющие фосфодиэфирную связь между гуанином и урацилом в комплементарном участке РНК. Для улучшения ассоциации ДНКзимов с РНК во вторичной структуре мы использовали Dz 10-23 в составе многофункциональных ДНК-устройств, т.н. ДНК-машин. В работе Сох. Etal 2016 [2] описывается опыт, как зонды на базе ДНКзимов в составе ДНК-машины с дополнительными «субстрат-связывающими руками» «расплетают» РНК-аналит и расщепляют сигнальную цепь Q-F. Дизайн ДНК-машины увеличил ассоциацию ДНКзима с РНК-аналитом, продемонстрировав значительный прирост флуоресценции по сравнению с ДНКзимом вне ДНК-машины. Такой подход можно использовать для модифицирования терапевтических ДНКзимов для улучшения расщепления.

Наша работа состояла из трех частей. В первых двух частях мы исследовали структурные особенности ДНКзимов Dz 10-23 и основанных на них ДНК-машин, которые способствовали достижению максимально возможной эффективности каталитического расщепления. Для этого мы провели оптимизацию температур плавления субстрат связывающих рук Dz 10-23 и ДНК-машин за счет регулировки их числа нуклеотидов. Оптимизацию расщепляющих агентов мы проводили с мишенью-фрагментом мРНК гена домашнего хозяйства DAD1 (Defenderapoptotic cell death) длиной 46 нуклеотидов (RNA-46) (рис. 1). Ингибирование этого гена приводит к гибели раковых клеток [3].

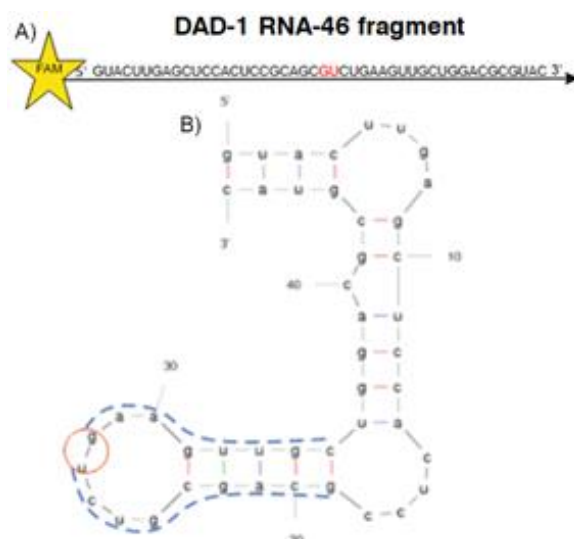


Рис. 1. Фрагмент гена домашнего хозяйства DAD1 длиной 46 нуклеотидов (RNA-46).

(А) Первичная структура фрагмента. FAM – флуорофор, присоединенный к 5' концу, позволяющий визуализировать продукт расщепления РНК-фрагмента в полиакриламидном геле; (В) Вторичная структура RNA-46. Пунктирные линии обозначают место ассоциации расщепляющих агентов (ДНК-зимов, ДНК-машин) к РНК. Обведенные участки G-U – место расщепления. RNA-46 имеет один сайт расщепления

Мы разработали две версии Dz 10-23: WDz и BiDz. WDz – цельный Dz 10-23, состоящий из одной олигонуклеотидной цепи. BiDz – бинарный Dz 10-23, состоящий из двух цепей Dza и Dzb, формирующие «каталитическое ядро» только в присутствии аналита. В качестве аналита мы использовали фрагмент онкомаркеранейробластомы-MyсDNA-31. На основе WDz и BiDz мы также разработали ДНК-машины WDM и BiDM. Эти ДНК-машины состоят из трех доменов: ДНКзим (T2), Дополнительные «руки» (T1) и стабилизирующая цепь (T3). Мы провели инкубацию фрагмента RNA-46 (1 мкМ) с выборками расщепляющих агентов с различными длинами рук X и Y для ДНКзимов (рис. 2А, 2В) и Z, X, Y и W для ДНК-машин (100 и 10 нМ) (рис. 2С, 2D). Наши эксперименты проводились *invitro* в физиологическом буфере (KCl = 150 мМ, NaCl = 15 мМ, MgCl₂ = 2 мМ, HEPES = 50 мМ, pH = 7,5, + 37 °С) в течение 5, 10 и 24 часов. После инкубации результаты визуализировались с помощью электрофореза в 15%-ном акриламидном геле.

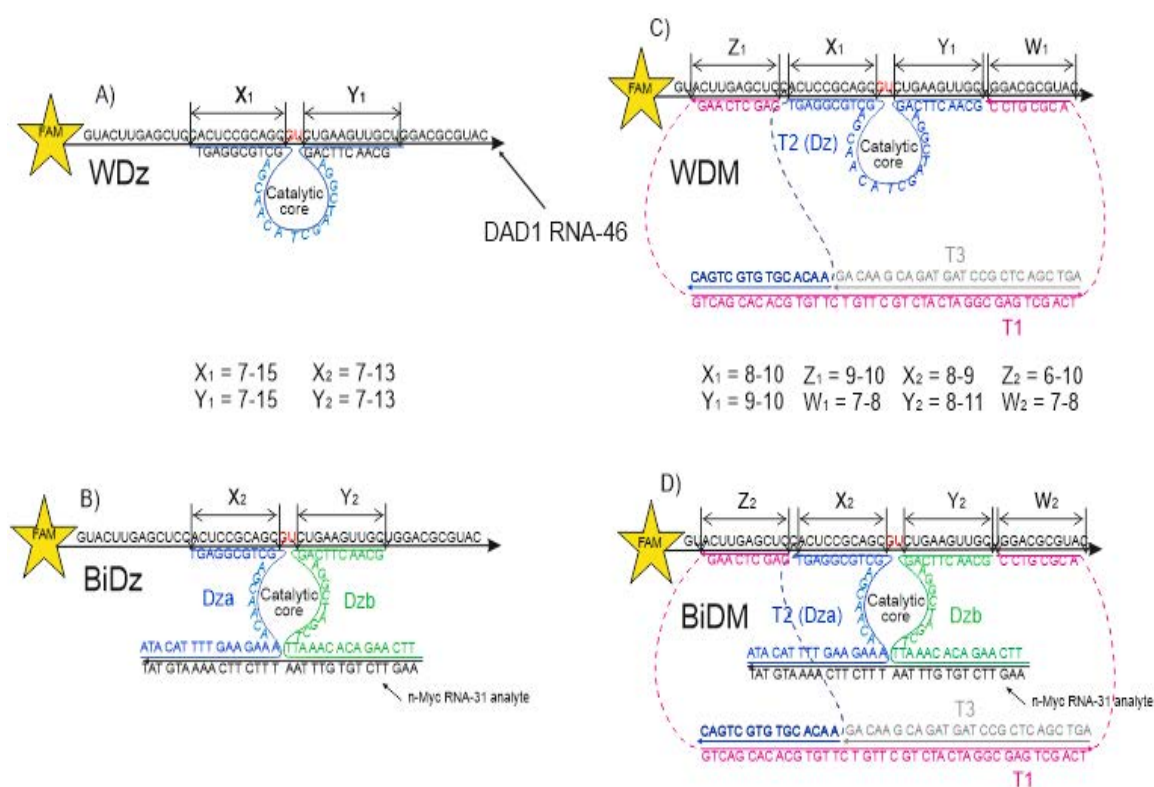


Рис. 2. ДНКзимы WDz (A) и BiDz (B) и ДНК-машины WDM и BiDM. Буквы Z, X, Y и W обозначают длину рук, связывающихся с РНК-субстратом (обозначено как DAD1 RNA-46)

В результате наибольшую эффективность расщепления показали образцы WDz с длинами субстрат-связывающих «рук» 10/9, 10/10, 11/10 (y/x) (рис. 3А). Через 5 часов для WDz 10/9, 10/10 и 11/10 среднее значение расщепленного субстрата составило 40%, 46% и 47%. В случае с BiDz, образцы со связывающими руками длиной 10/9, 10/10 и 11/10 также продемонстрировали наибольшую эффективность расщепления. За 5 часов они расщепили 25%, 20% и 23% РНК-субстрата (рис. 3В). Следует отметить, что BiDz имеет более низкую каталитическую активность, чем WDz: например, BiDz 11/10 расщепил 25% субстрата, что в 1.8 раза меньше, чем расщепил WDz 11/10 (47%). Это происходит из-за времени, необходимого для формирования каталитического ядра BiDz и меньшей структурной устойчивости его многокомпонентной конструкции.

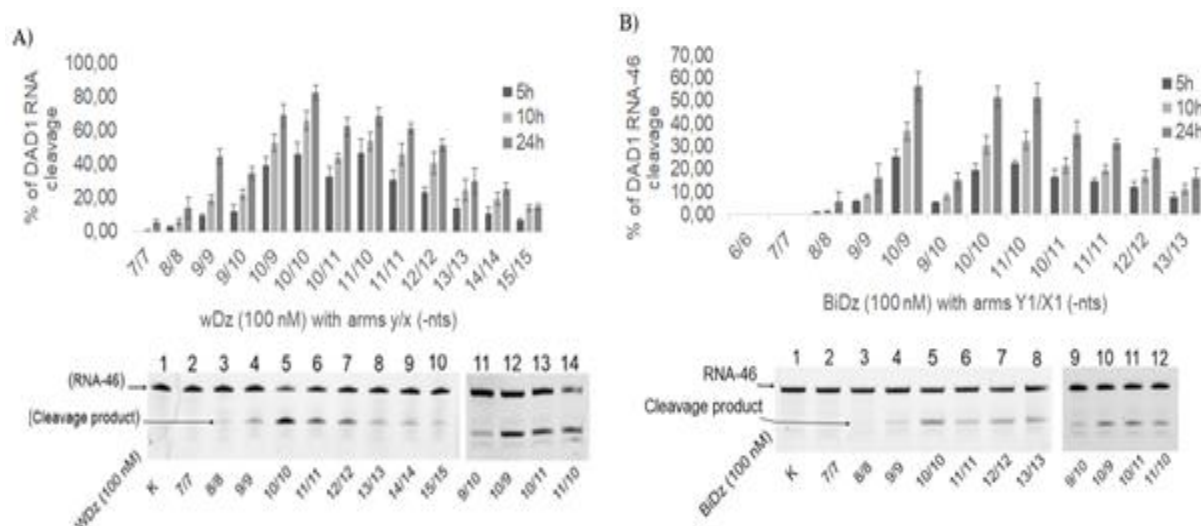


Рис. 3. Результаты расщепления фрагмента RNA-46 с использованием ДНКзимов WDz (A) и BiDz (B): графики с сопутствующими изображениями полиакриламидных гелей (15%) после электрофореза

В случае с ДНК-машинами WDM и BiDM мы сравнивали их каталитическую активность вместе с ДНКзимами, показавшими лучший результат расщепления в предыдущем эксперименте (WDz 10/10, BiDz 10/10). У WDM лучший результат показали образцы с длинами рук 10/7/9/8 и 9/8/10/7, показавшие 110% и 146% процентов расщепления WDz 10/10 (рис. 4A). У BiDM лучшие результаты показали образцы 9/8/10/7, 9/8/9/7, 10/8/9/8 и 10/8/10/8, продемонстрировавшие 105%, 141%, 126% и 126% расщепления BiDz 10/10 (рис. 4B).

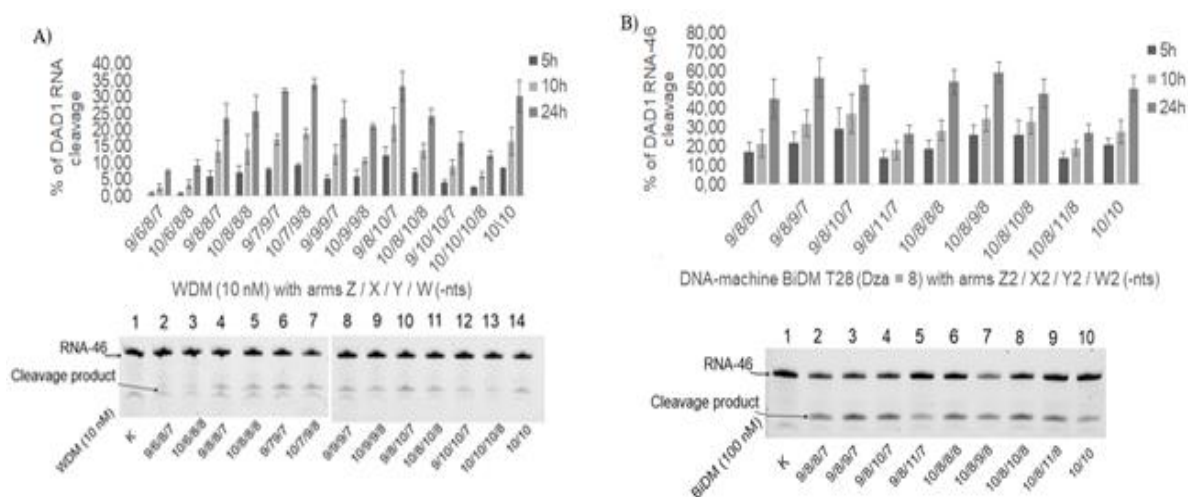


Рис. 4. Результаты расщепления фрагмента RNA-46 с использованием ДНК-машин WDM (A) и BiDM (B): графики с сопутствующими изображениями полиакриламидных гелей (15%) после электрофореза

Далее мы провели расчет температур плавления (T_m) рук Z, X, Y и W у протестированных расщепляющих агентов в соответствии с таблицей. У лучших ДНКзимов WDz и BiDz с руками 10/9, 10/10, 11/10 (X, Y) температуры плавления «рук» соответствовали диапазону температуры инкубации: 37 ± 6 °C.

Зависимость температур плавления (T_m) и количества нуклеотидов в субстрат-связывающих «руках» Z, X, Y, W у ДНКзимов и ДНК-машин

Arm 1 (X), nt	T_m , °C	Arm 2 (Y), nt	T_m , °C	Arm 3 (Z), nt	T_m , °C
6	12,3	6	-9,7	9	25
7	24,4	7	2,3	10	31,1
8	32,3	8	11	Arm 4 (W), nt	T_m , °C
9	37,1	9	20,8	7	24,3
10	42,3	10	31	8	31,6
11	46,7	11	35,6		
12	51,9	12	40,5		
13	55,6	13	45,7		

У лучших ДНК-машин WDM 10/7/9/8 и 9/8/10/7 температуры плавления по таблице соответствуют 31.4/24.4/20.8/31.6°C и 25/32.3/31/24.3°C. Из этих результатов можно вывести правило, что WDM расщепляют субстрат лучше всего, если руки Z и W «сильные» (имеют высокое сродство), а X и Y – «слабые» (малое сродство), или наоборот: X, Y- сильные, а Z и W – слабые. Для лучших BiDM 9/8/10/7, 9/8/9/7, 10/8/9/8 и 10/8/10/8 температуры плавления по таблице соответствуют 25/32.3/31/24.3°C, 25/32.3/20.8/24.3°C, 31/32.3/20.8/31.6°C и 31/32.3/31/31.6°C. Эти результаты не следуют вышеприведенному правилу. Для того, чтобы это установить, нам нужно провести эксперименты с BiDM с другими «руками» X, Y.

В третьей части исследования мы разработали и протестировали бивалентные системы: устройства, сочетающие в себе два ДНКзима, кооперативно расщепляющих одну РНК-мишень. В настоящее время в литературе не упоминается использование двух ДНКзимов сразу в одной системе. Хотя, известно, что использование олигонуклеотидов, сочетающих в себе ДНКзим и ASO приводит к приросту расщепления по сравнению с ДНКзимами и ASO, работающими по отдельности [4]. Мы предполагаем, что использование двух ДНКзимов в одной системе улучшит расщепление. Бивалентные системы разработаны для расщепления гена домашнего хозяйства EIF3C (Eukaryotic initiation factor 3 subunit C) в двух сайтах (рис. 5). Нокдаун этого гена приводит к остановке пролиферации раковых клеток [5].

Используя правило оптимизации ДНКзимов из первой части работы, мы разработали 4 варианта бивалентных систем (рис. 6). Dz2+Dz1 – два свободных дезоксирибозима, кооперативно расщепляющих RNA-60 (рис. 6A). HEG-Dz – Dz2 и Dz1 связанные на 5' и 3' концах гексоэтиленгликольным линкером (HEG-linker) (рис. 6B), EDM-38 – бинарная система, в которых два ДНКзимных домена T2 и T1 скреплены на 5' и 3' концах с помощью «хвостов» (рис. 6C). У HDM-75 домены T2 и T1 связаны «хвостами» на 3' и 3' концах (рис. 6D).

С этими системами мы провели эксперименты в условиях single-turnover и multiple-turnover (рис. 7). При условиях single-turnover расщепляющие агенты в концентрации (2 мкМ) превышающей РНК-субстрат RNA-60 (1 мкМ) расщепляли его за минимальное время (5 и 15 мин) (рис. 7A). Эффективность бивалентных систем сравнивалась с эффективностью отдельных, составляющих их ДНКзимов (Dz1 и Dz2). Наилучший результат был продемонстрирован образцами EDM 38 и HEG-Dz, которые показали 182% и 196% Dz1 расщепления. В условиях multiple-turnover, где расщепляющие агенты в низкой концентрации (10 нМ) расщепляли РНК-субстрат RNA-60 (1 мкМ) продолжительное время (1, 3, 7 и 24 часа), HDM-75 и Dz1+Dz2

показали 165% и 191% расщепления Dz1 соответственно (рис. 7B). А HEG-Dz, который был лучшим в условиях single-turnover, оказался менее эффективным, чем Dz1, продемонстрировав лишь 50% его активности за 24 часа. Это связано с замедлением высвобождения продукта расщепления из «рук», связанных линкером в 5' и 3' конце. Тем не менее, полученные результаты свидетельствуют о том, что два ДНКзима, связывая РНК-мишень кооперативно, дают прирост расщеплению РНК-мишени по сравнению с одиночным ДНКзимом.

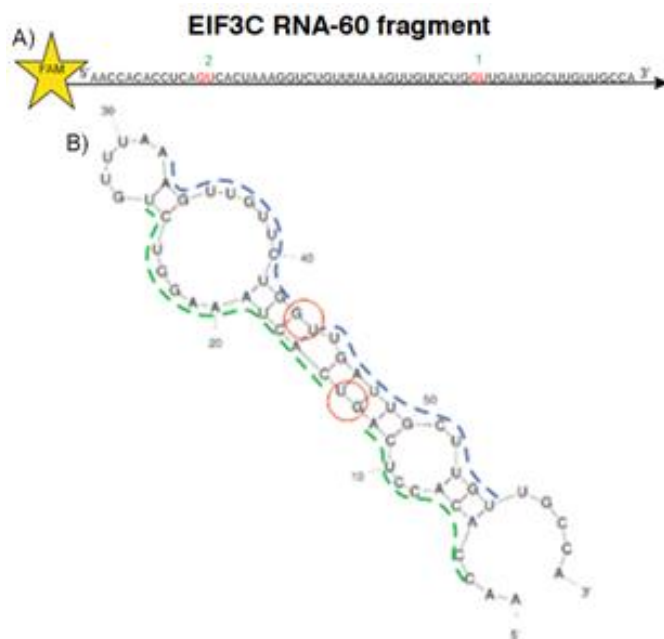


Рис. 5. Фрагмент гена домашнего хозяйства EIF3C длиной 60 нуклеотидов (RNA-60). (А) Первичная структура фрагмента; (В) Вторичная структура. Пунктирные линии обозначают место ассоциации расщепляющих агентов (ДНКзимов, бивалентные системы) к РНК. Обведенные участки G-U – сайты расщепления. RNA-60 имеет два таких сайта

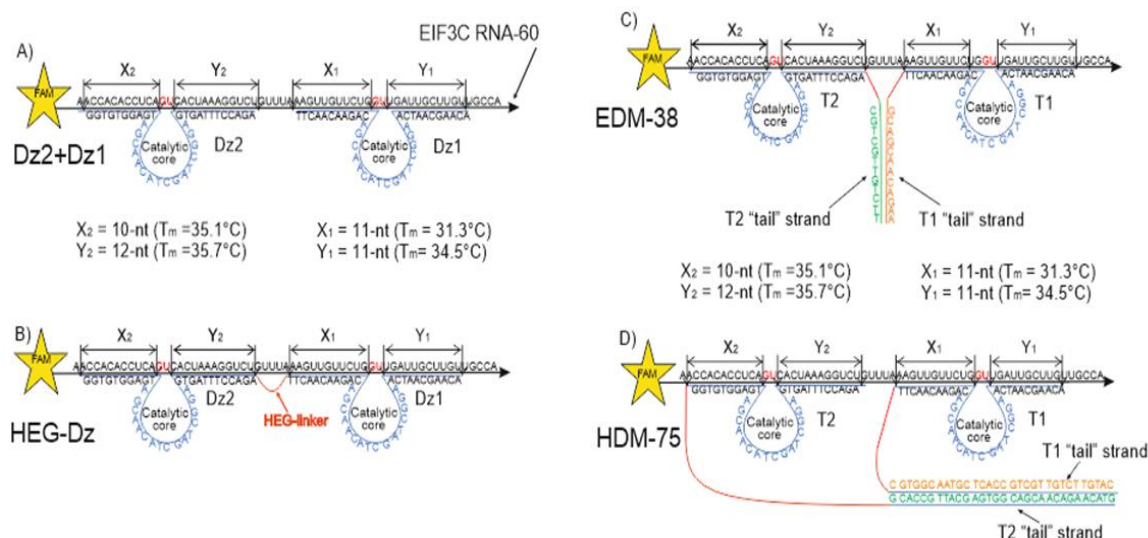


Рис. 6. Бивалентные системы. Расщепляющие агенты разработаны для расщепления мишени EIF3CRNA-60

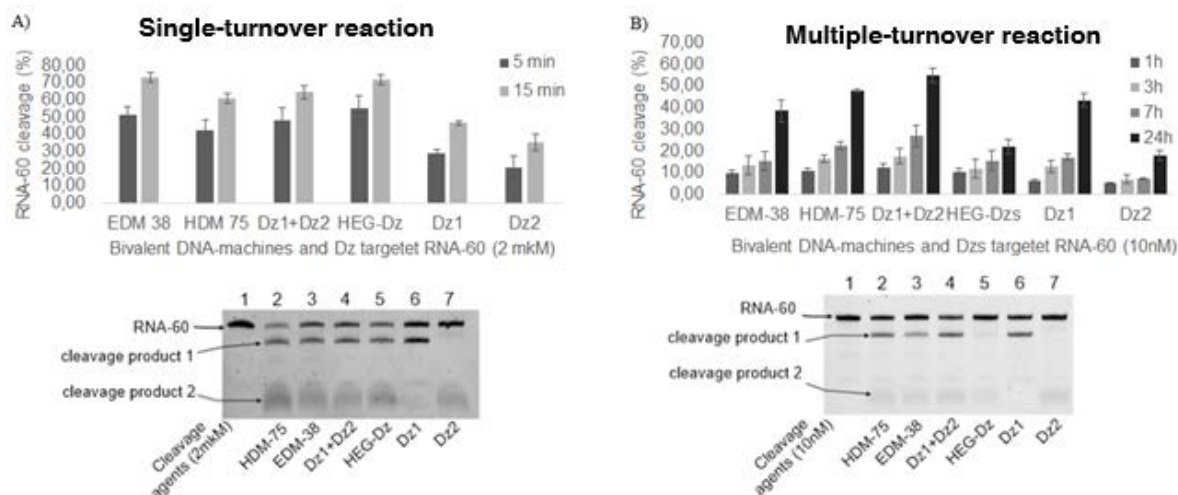


Рис. 7. Результаты расщепления фрагмента RNA-60 с использованием бивалентных систем в условиях single-turnover (A) и multiple-turnover (B): графики с сопутствующими изображениями полиакриламидных гелей (15%) после электрофореза

Выводы. Эксперимент с оптимизацией ДНКзимов и ДНК-машин на их основе внес понимание проведения дизайна этих расщепляющих агентов для достижения максимально возможного расщепления РНК-мишени. В данный момент у нас есть две стратегии, способные повысить расщепление: использование ДНК-машин с дополнительными «руками» и бивалентные системы, использующие два ДНКзима для расщепления одной РНК-мишени. Для ДНК-машин BiDM нужно провести дополнительные испытания для выявления правил, по которым расщепление достигает максимальных значений. Бивалентные системы HEG-Dz планируется оптимизировать. При этом как ДНК-машины, так и бивалентные системы планируется ближайшем будущем испытать *in vivo*.

Литература

1. Shahryari A. et al. Development and clinical translation of approved gene therapy products for genetic disorders // *Frontiers in Genetics*. 2019. V. 10. P. 1–25.
2. Cox A. J. et al. DNA nanotechnology for nucleic acid analysis: multifunctional molecular DNA machine for RNA detection // *Chemical Communications*. 2016. № 99. P. 14318–14321.
3. Bhasin N. DAD1 as potential therapeutic target and biomarker in prostate cancer // *ProQuest Dissertations Publishing*. 2015. № 3746046. P. 1-13.
4. Sood V. et al. DNA-enzyme-mediated cleavage of human immunodeficiency virus type 1 Gag RNA is significantly augmented by antisense-DNA molecules targeted to hybridize close to the cleavage site // *Oligonucleotides*. 2007. № 1 (17). P. 113–121.
5. Song N. et al. Effect of siRNA-mediated knockdown of eIF3c gene on survival of colon cancer cells // *Journal of Zhejiang University: Science B*. 2013. № 6 (14). P. 451–459.

Землянная Анастасия Станиславна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42661,

направление подготовки: 27.04.05. – Инноватика,

e-mail: szemlyannaya@gmail.com

Соловьева Дина Витальевна

Год рождения: 1964

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: dinasolovieva@yandex.ru

УДК 339.138

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ
ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
НА ОСНОВЕ EDUCATIONAL-MАРКЕТИНГА**

А.С. Землянная

Научный руководитель – к.э.н., доцент Д.В. Соловьева

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

Аннотация

Совокупность использования событийного и educational-маркетинга позволяет построить с потребителем долгосрочные отношения, базирующиеся на удовлетворении фундаментальных потребностей человека в познании и причастности, снижающие неопределенность и дефицит информации, неразрывно связанный с продвижением инновационных проектов. В данной статье предложен метод формирования стратегии продвижения инновационных проектов с помощью специальных мероприятий на основе концепции эмоционального маркетинга.

Ключевые слова

Событийный маркетинг, event-маркетинг, educational-маркетинг, продвижение инновационных проектов, специальные события, современные концепции маркетинга

Создание устойчивой эмоциональной связи с потребителем является одним из важнейших направлений работы современных компаний в рамках процесса продвижения. При этом важно отметить, что продвижение новых и инновационных проектов сопряжено с рядом сложностей, среди которых дефицит информации и недопонимание со стороны целевой аудитории, что мешает построению устойчивой эмоциональной связи между компанией и потребителем. Educational-маркетинг может служить эффективным инструментом снижения неопределенности и дефицита информации, а использование его совместно с событийным маркетингом позволяет не только обучить потребителя в процессе продвижения, но и создать у него эмпирический опыт благодаря личной встречи с инновационным продуктом.

Актуальность данной работы подтверждают такие причины, как недостаточная теоретическая проработка вопросов использования событийного маркетинга в совокупности с educational-маркетингом. Отсутствие единого теоретического подхода к

формированию стратегии продвижения инновационных проектов с помощью инструментов событийного маркетинга на основе концепции educational-маркетинга, а также отсутствие единого подхода к специальным мероприятиям как к инструменту продвижения, а не самостоятельному продукту. Таким образом, можно подтвердить актуальность данной темы со стороны компаний, но необходимо также взглянуть на актуальность специальных мероприятий на основе концепции educational-маркетинг для людей, которые и будут их целевыми аудиториями.

Актуальность для потребителей данного инструмента обосновывается в том числе и наличием у человека среди базовых потребностей – сопричастности и познании. Обращаясь к одному из наиболее известных авторов в сфере изучения потребностей – Абрахаму Маслоу, можно отметить, что в подробной классификации потребностей автор выделяет 7 уровней, где потребность в принадлежности и любви находится на 3 уровне приоритетов, а познавательные потребности (такие как знать, уметь, исследовать) находятся на 5 уровне приоритетов. Одним из основных элементов научной новизны данной работы является именно авторский взгляд на событийный и educational-маркетинг через призму удовлетворения фундаментальных потребностей человека.

Автором были рассмотрены определения educational-маркетинга и событийного маркетинга, представленные в таб. 1, и выделены их основные смысловые элементы. Изученные материалы, а также вышеупомянутый подход через призму фундаментальных потребностей человека позволил сформировать авторские определения educational-маркетинга и событийного маркетинга, обладающие научной новизной.

Educational-маркетинг – это метод обучения потребителя использованию продукта компании и формирования с ним долгосрочных отношений, построенных на лояльности и удовлетворении его потребности в познании, с помощью предоставления ему релевантного обучающего контента, в том числе решающего его проблемы с помощью продукта компании, а также прямая или нативная передача знаний о компании, ее ценностях, миссии и т.д.

Специальное мероприятие – это инструмент продвижения, направленный на создание ситуации эмпирического знакомства потребителя с компанией и формирования между ними устойчивой эмоциональной связи на основе полученных от взаимодействия впечатлений, а также удовлетворения его базовой потребности в причастности за счет формирования комьюнити с едиными интересами.

В результате было сформировано авторское определение специального мероприятия на основе концепции educational-маркетинга, ранее не встречающееся в научной литературе. Специальное событие на основе educational-маркетинга – это инструмент продвижения компании и удовлетворения базовых потребностей человека в причастности и познании, направленный на создание ситуации эмпирического знакомства потребителя с компанией, с использованием прямой или нативной передачи знаний о компании, а также передачи релевантного обучающего контента и пользовательского опыта целевым аудиториям с целью обучения потребителей, снижения неопределенности и непонимания, а также формирования с ними долгосрочных отношений, построенных на лояльности (таб. 1).

В процессе изучения основных типологий инновационных проектов автором было замечено, что данный вопрос не изучен в контексте информационного дефицита, сопутствующего созданию и продвижению инновации, что позволило составить авторскую классификацию инновационных проектов по потребностям в обучении, представленная в таб. 2. Были выделены три типа проектов: требующие в большей мере обучения и формирования потребности, чем обучения использованию продукта; требующие в большей мере обучения использованию продукта; требующие в большей мере обучения использованию продукта именно компании (рисунок).

Таблица 1

Различные подходы к определению основных понятий ВКР

Автор	Определение	Основной элемент
Educational-маркетинг		
Милянкова В.А.	Способ, привлекающий внимание целевой аудитории и прикрывающий главную цель — рост потребления конкретного товара [1]	Способ увеличения потребления товара
Демищенко Е.	Стратегия повышения продаж и формирования лояльных отношений с клиентами, при которой вы не навязываете свои товары и услуги в рекламной форме, а бесплатно помогаете им решать проблемы с помощью полезных мастер-классов, вебинаров, тренингов, конференций и прочих мероприятий [2].	Стратегия увеличения продаж
		Формирование лояльных отношений Создание долговременных взаимовыгодных отношений
Джек Траут	Образовательный или обучающий маркетинг основан на передаче знаний и опыта от компании потребителю [3].	Передача потребителю опыта и знаний Предоставление клиенту образовательного контента
Специальное мероприятие/событие		
Назимко А.Е.	Такое мероприятие, которое изменяет отношения целевых аудиторий и бренда, обладает в их глазах субъективной значимостью [4].	Изменение отношения целевой аудитории и бренда
Тулчинский Г.Л.	Мероприятия, проводимые компанией в целях формирования позитивного имиджа организации и привлечения внимания общественности к самой компании, ее деятельности и продуктам [5]	Формирование позитивного имиджа Привлечение внимания

Также, опираясь на труды Котлера Ф., Хальцбауэра, Энн Мартенсен и других, автором были выявлены особенности использования специальных мероприятий в качестве маркетингового инструмента, среди которых были выделены эмоциональное восприятие, субъективность, уникальность момента и прочие. Также было рассмотрено влияние событийного маркетинга на капитал бренда, которое исследовали авторы Лия Зарантонелло и Бернд Х. Шмитт, что еще раз доказало эффективность данного инструмента в контексте продвижения. В результате проведения кабинетного исследования, а также экспертных интервью с представителями сферы event-индустрии, глубинных интервью с посетителями мероприятий и эмпирических наблюдений за мероприятиями был разработан авторский метод, который включает в себя определённый алгоритм действий, представленный на рисунке, а также основные модели анализа и формирования стратегических и тактических решений по продвижению, предложенных в рамках алгоритма. Последовательность действий алгоритма состоит из шести больших этапов, каждый из которых включает в себя определенные модели и алгоритмы, позволяющие сформировать стратегические и тактические решения в области продвижения инновационного продукта. Рассмотрим каждый из этапов подробнее.

Таблица 2

Авторская классификация инновационных проектов по потребностям в обучении

Вид классификации	Тип инновационного проекта	Рекомендации по educational-маркетингу
Требующие в большей мере обучения и формирования потребности, чем обучения использованию продукта		
Уровень значимости	Базисный	Обучение должно быть направлено не столько на обучение использованию отдельного продукта или бренда, сколько на формирование потребности в категории и культуру потребления
Удовлетворяемые потребности	Удовлетворяет новые потребности	
Степень новизны	Новый для отрасли в мире	
Требующие в большей мере обучения использованию продукта		
Уровень значимости	Улучшающий	Требует активного обучения, т.к. является не основным, а дополнительным стимулом к покупке
Удовлетворяемые потребности	Удовлетворяет существующие потребности	Обучение удовлетворению существующей потребности новым способом с помощью инновационного продукта, почему лучше воспользоваться именно этим продуктом, а не продуктом конкурентов
Степень новизны	Новый для отрасли в стране	При инновации для рынка в стране следует строить обучение с ориентацией на зарубежный опыт, адаптируя его характеристики страны, на рынок которой инновация выходит
Требующие в большей мере обучения использованию продукта именно компании		

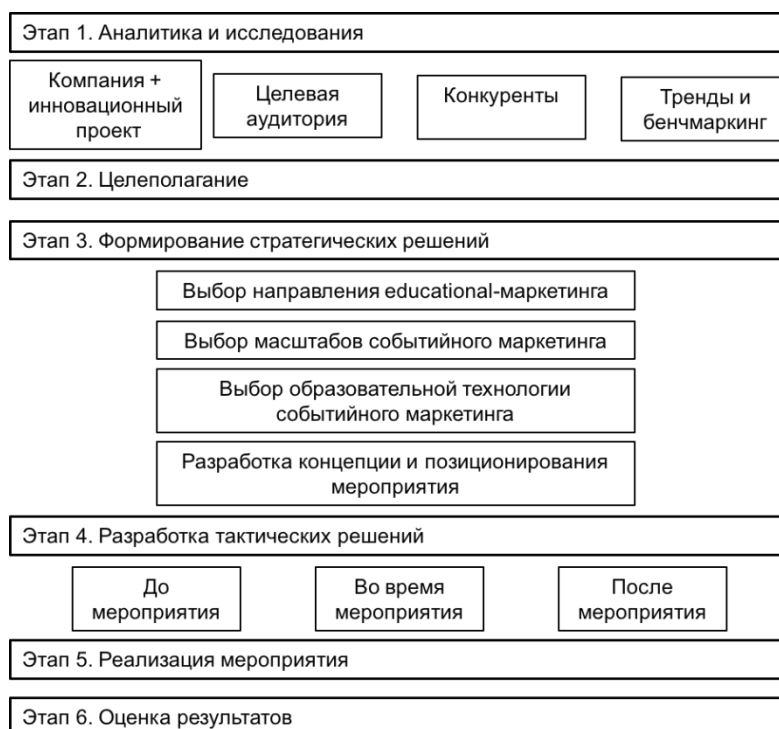


Рисунок. Авторский метод формирования стратегии продвижения инновационных проектов с помощью специальных событий на основе educational-маркетинга

Этап 1 – Аналитика и исследования. Данный этап направлен на создание и получение информационной базы, которая в дальнейшем послужит основой для следующих этапов. Информация может быть получена как с помощью аналитики уже существующих у компании данных, так и с помощью проведения дополнительных кабинетных и полевых исследований. На данном этапе необходимо рассмотреть предыдущую деятельность компании, выпускающей инновационный проект (при условии, что организация не создается вместе с инновационным проектом), а также ее ресурсные возможности, сильные и слабые стороны. Также при формировании продвижения необходимо рассмотреть сам инновационный проект/продукт и конкурентов, а также целевые аудитории, на которые будет направлено продвижение, тренды и наиболее интересные примеры мероприятий на event-рынке. Основными моделями на этом этапе могут выступать: Анализ корпоративного профиля по методу контрольных вопросов, SWOT-анализ, таблица анализа конкурентов, VRIO-анализ, глубинные интервью, опросы, Модель R+I, Теория потребительских ценностей Шета, Ньюмана и Гросса.

Этап 2 – Целеполагание. На данном этапе важно посмотреть на миссию компании и/или проекта, а также на глобальные (внешние цели) компании и/или проекта. А затем уже определить следующие локальные цели компании в общем и продвижения в частности: бизнес-цели, маркетинговые цели, коммуникационные цели и цели educational-маркетинга.

Этап 3 – Формирование стратегических решений. Данный этап сопряжен с выбором стратегических альтернатив. Краткая схема этапа представлена в таб. 3.

Таблица 3

Краткая схема этапа «Формирование стратегических решений»

Ключевые составляющие стратегических решений при формировании стратегии продвижения с помощью специальных мероприятий на основе концепции educational-маркетинга	Выбор направления educational-маркетинга			
	Обучение потребности	Обучение использованию продукта	Обучение использованию продукта компании	
Оценка и выбор стратегических альтернатив				
Выбор масштабов событийного маркетинга				
«Флагманское» крупное мероприятие	Серия небольших мероприятий	Одно среднее или мелкое мероприятие	Смешанная стратегия	Интеграция в мероприятия
Оценка и выбор стратегических альтернатив				
Выбор инструментов educational-маркетинга/образовательной технология событийного маркетинга				
Разработка концепции и позиционирования мероприятия				

Этап 4 – Разработка тактических решений. Краткая схема для формирования основных тактических решений по продвижению инновационного проекта с помощью мероприятий на основе концепции educational-маркетинга представлена следующими показателями: время и место проведения мероприятия, механика мероприятия, аудитория, элемент educational-маркетинга, коммуникационное сообщение, каналы коммуникаций, необходимые ресурсы, бюджет и ожидаемый результат.

Этап 5 – Реализация мероприятия. Этот этап включает в себя не только день/дни/время мероприятия, но этап непосредственной подготовки к нему, когда, например, за несколько дней до самого мероприятия начинают собирать площадку и т.д., а также этап подогрева интереса к мероприятию и привлечению посетителей.

Этап 6 – Оценка результатов. Важно отметить, что на данном этапе должна происходить двойная оценка: оценка проведенного мероприятия/мероприятий, а также в целом продвижения. Показателями результативности здесь могут выступать: количество посетителей мероприятия, продажи во время/до/после мероприятия, прирост подписчиков в соц.сетях, количество упоминаний в соц.сетях, количество упоминаний проекта в СМИ, клиентская база, возврат инвестиций, количество точек взаимодействия, с которыми клиент контактировал на мероприятии; тональность упоминаний и статей о мероприятии и проекте (показатель результата как мероприятия, так и всего продвижения в целом), количество розданных рекламных материалов и сувенирной продукции, рост количества посещений сайта компании после проведения мероприятия, количество розданных «пробников», время, проведенное на мероприятии, разница между зарегистрировавшимися и посетившими мероприятие, количество лидов, полученных благодаря событию и их конвертация в клиентов, изменение объема продаж после мероприятия, NPS и другие. Также очень важно оценить следующие качественные показатели: удовлетворенность посетителями организацией и содержанием мероприятия (это можно оценить с помощью обратной связи от посетителей мероприятия, отзывов и публикаций в социальных сетях), результативность обучения (здесь также можно посмотреть сколько было предоставлено демонстраций, сколько посетителей появилось на лекциях/мастер-классах, а также количество людей, которых в результате смогли научить, рассказав о новых продуктах), успешность формирования комьюнити мероприятия (этот пункт можно оценить, отследив продолжается ли общение в социальных сетях бренда, по тональности и содержанию постов в социальных сетях).

Таким образом, было разработан авторский метод формирования стратегии продвижения инновационных проектов с помощью специальных событий на основе educational-маркетинга, состоящий из 6 этапов, включающий в себя определённый алгоритм действий, а также основные модели анализа и формирования стратегических и тактических решений по продвижению, предложенных в рамках алгоритма. Данный метод был апробирован на трех разных инновационных проектах: Арт-резиденция «Шкаф», Детский киберспортивный лагерь FirstCyber и мазь VepanthenTattoo, что доказывает релевантность применения метода к продвижению инновационных проектов из разных сфер деятельности, а также его гибкость и адаптивность к разным стадиями жизненного цикла инновации, размерам и структуре бизнеса.

Литература

1. Корокошко Ю.В. Lean-маркетинг как способ визуализации ценностей, ожиданий и контакта с клиентом // Креативная экономика и социальные инновации. 2014. No4, стр. 19-313.
2. Демищенко Е. Обучающий маркетинг как драйвер продаж. М.: eTutorium. 2017. 24 с.
3. Траут Д., Райс Эл. Маркетинговые войны. Спб.: Питер. 2004.
4. Назимко А. Событийный маркетинг: Руководство для заказчиков и исполнителей. М: Вершина. 2007. 224 с.
5. Тульчинский Г.Л., Герасимов С.В., Лохина Т.Е. Менеджмент специальных событий в сфере культуры: учебное пособие. СПб.: Лань. 2010. С. 109-110.

Кагиян Ольга Арменовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42311,

направление подготовки: 27.04.05 – Стратегическое управление инновациями,

e-mail: olga.kagian@yandex.ru

Негреева Валентина Владимировна

Год рождения: 1961

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: v.negreeva@mail.ru

УДК 658

**РАЗВИТИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

О.А. Кагиян

Научный руководитель – к.э.н., доцент В.В. Негреева

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

Аннотация

В работе представлено внедрение и развитие инновационной технологии Интернета вещей в металлургической отрасли, с целью оптимизации бизнес-процессов и повышения безопасности сотрудников промышленных предприятий. Смоделирована стоимость внедрения и развития технологии Интернета вещей на примере металлургического холдинга. Представлены перспективы развития цифровизации в промышленности.

Ключевые слова

Инновационные технологии, Интернет вещей, промышленность, отрасль черной металлургии, бизнес-процессы.

Крупнейшие промышленные и производственные компании мира находятся на пороге масштабной цифровой трансформации, именуемой «Индустрия 4.0». Для предприятий металлургической отрасли цифровизация становится не просто дополнительным полезным преимуществом, а основой конкурентоспособности на российском и мировом рынках. Технологии Индустрии 4.0 призваны оптимизировать бизнес-процессы промышленных компаний. Наиболее перспективным и актуальным направлением в металлургии является внедрение и использование Интернета вещей [1, 4].

Формирование Интернета вещей происходит под влиянием нескольких организационно-управленческих и социально-экономических компонент (рис. 1), каждая из которых имеет свои проблемные точки. Поиск решения предоставляется инновационной технологии. В свою очередь, Интернет вещей ответно влияет на потенциал открывающихся возможностей в каждой отдельной компоненте.

Социально-экономическая направленность Интернета вещей приведет к тому, что ряд профессий, которые характеризуются монотонностью труда, исчезнут. На смену им придут работники нового типа, а также возрастет потребность в IT-специалистах, способных обслуживать информационные системы и технологии (дата-журналисты, архитекторы Интернета вещей).



Рис. 1. Компоненты, участвующие в образовании и развитии инновационной технологии Интернета вещей

Внедрение Интернета вещей в маркетинг способствует совершенствованию маркетинговых функций. Технология значительно облегчает и ускоряет работу маркетологов по поиску и исследованию целевых аудиторий, анализу потребительских намерений. В то же время, стоит задуматься над тем, что произойдет, если такого рода технологии начнут применяться государством или компаниями по отношению к отдельным социальным группам или индивидам, с целью контроля их поведения. В условиях экономики Интернета вещей процесс стандартизации человека, моделей его поведения будет усиливаться. Это приведет к почти полной потере приватности и конфиденциальности человеческой жизни. Постоянный множественный контакт со случайными лицами, приятелями будет создавать иллюзию активной социальной жизни, в то время как настоящие глубокие личные связи будут постепенно вытеснены из жизни людей. На этой основе маркетологами может быть разработана новая стратегия взаимодействия с целевыми сегментами, где компании начнут продавать людям «индивидуальность», которой потребители будут лишены после внедрения Интернета вещей [2].

Конечно, в формировании технологии Интернета вещей участвуют не только представленные компоненты, но именно маркетинг, логистика, экономика, социальная сфера и информационные системы являются основополагающими. Представленная модель может быть впоследствии развита и применена для выявления доли влияния каждой из компонент в отдельности, применяя математические методы и алгоритмы бизнес-информатики.

Размышляя о двустороннем влиянии технологии Интернета вещей с различными областями экономики и жизни человека, можно сделать вывод, что однозначного мнения о том, положительно или отрицательно в общем объеме технологизация воздействует на развитие и социальные изменения в обществе, пока нет. Но важно понимать, что развитие концепции Интернета вещей нельзя остановить или игнорировать. Правильным решением в данной ситуации будет двигаться в направлении цифровизации, разумно потреблять новые технологии, а также разрабатывать инструменты и механизмы для реализации открывающихся перспектив,

поскольку Интернет вещей несет в себе безграничные возможности по объединению людей, процессов, данных и вещей.

Интернет вещей – это широкая организационно-технологическая трансформация всего производства, которая позволяет объединить транспортные, производственные, человеческие и другие ресурсы в программно-управляемые комплексы. В металлургической отрасли технологии Интернета вещей призваны оптимизировать сложные бизнес-процессы и обеспечить безопасность производств и сотрудников.

Анализ отрасли черной металлургии, которая характеризуется как опасная, выявил, что крупные промышленные компании вносят большой вклад в обеспечение безопасности своих сотрудников. Каждая металлургическая компания реализует большой перечень мероприятий, включающий в себя разработку плана действий в чрезвычайных ситуациях, информирование о происшествиях, содержание рабочего комплекса и рабочих мест в надлежащем состоянии, а также осуществление всех производственных процессов в соответствии с правилами по охране труда. Кроме того, крупные холдинги сертифицированы на соответствие требованиям международного стандарта OHSAS 18001:2007 «Системы менеджмента профессионального здоровья и безопасности - Требования». Несмотря на обширный перечень мер и способов снижения несчастных случаев на предприятиях черной металлургии, пробелы в обеспечении безопасности сотрудников все же существуют.

В работе был предложен комплекс мероприятий крупных металлургических холдингов для обеспечения реализации принципов ОТ и ПБ с целью выявления способов снижения возникновения происшествий (таблица).

Таблица

Комплекс мероприятий крупных металлургических холдингов для обеспечения реализации принципов охраны труда и промышленной безопасности

Способы снижения происшествий	ЕВРАЗ	НЛМК	ММК	Север-сталь	Метал-лоинвест
Разработка и внедрение отдельных специализированных программ управления в сфере ОТ и ПБ	-	+	+	+	-
Психофизиологическое тестирование работников	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Выявление и проверка ключевых рисков для здоровья и безопасности сотрудников	+	+	+	+	+
Обеспеченность работников спецодеждой, спецобувью и другими СИЗ	+	+	+	+	+
Ежемесячное информирование персонала о травмах и происшествиях за предыдущий период	+	-	+	-	-
Наличие штрафных санкций за нарушение требований в области ОТ и ПБ	+	+	+	+	+

продолжение таблицы

Способы снижения происшествий	ЕВРАЗ	НЛМК	ММК	Север-сталь	Металлоинвест
Оснащение опасных производственных участков предупредительными знаками, сигналами, предостерегающими надписями	+/-	+/-	+	+/-	+/-
Разработка плана эвакуации и ликвидации последствий аварий	+	+	+	+	+
Проведение экспертизы ПБ технических устройств, зданий, сооружений	+	+	+	+	+/-
Открытость показателей в сфере ОТ и ПБ	+	+	+	+	+

Источник: составлено автором на основе данных официальных сайтов компаний, представлено в сокращенном виде.

Для улучшения методов снижения рисков предлагается сместить акценты в этой области, а именно, сделать упор на работу с персоналом и на усиление личной ответственности каждого сотрудника за свою жизнь и свое здоровье. Подкрепить эту идею планируется путем предложения металлургическим комбинатам внедрить и использовать модульную систему промышленной безопасности для производственных предприятий, построенную на базе инновационной технологии Интернета вещей. Интернет вещей позволит развить и усилить имеющиеся на металлургических холдингах мероприятия в сфере ОТ и ПБ, а также решить проблемы и вывести на новый уровень те мероприятия, которые выполняются неэффективно или не выполняются в компаниях вовсе. Большинство металлургических компаний не в полной мере уделяют внимание визуализации опасностей, то есть плохо оснащены предупредительными знаками в опасных зонах. Мало внимания уделяется и тестированию психофизиологического состояния работников, а ведь человеческий фактор является частой причиной нарушения безопасности. Так, союзное использование модуля «Позиционирование» и «Предотвращение столкновений» на базе технологии Интернета вещей позволит решить проблему недостаточного оборудования металлургических комбинатов опознавательными и сигнальными знаками. Эти модули представляют собой переносные теги (закреплены на каждом сотруднике) и датчики (установлены на транспорте необщего пользования), которые будут контролировать местонахождение и работу персонала, транспортной техники, а также различными световыми, шумовыми и вибрационными сигналами предупредят о потенциальной опасности.

Объектом исследования в ВКР выступило предприятие отрасли черной металлургии ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Основная производственная площадка Группы НЛМК в городе Липецк, занимающаяся производством чугуна, слябов, сталей оцинкованных, трансформаторных, холодно- и горячекатаных, динамных, с полимерными покрытиями [5]. Сложность реализуемых на комбинате бизнес-процессов и опасность производственных процессов обуславливают необходимость постоянного контроля и повышение эффективности. Проект внедрения и развития технологий на базе Интернета вещей призван решить эти задачи. Смоделированная система была реализована в качестве трех модулей – «Позиционирование», «Предотвращение столкновений» и «Телеметрия», с использованием облачной платформы SAP

Cloud http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:SAP_Cloud_Platform Platform, системы позиционирования RTLS-UWB, технологий 3D-визуализации и беспроводной передачи данных LoRaWan. На рис. 2 представлено изменение стоимости внедрения и развертывания системы в зависимости от ее конфигурации.

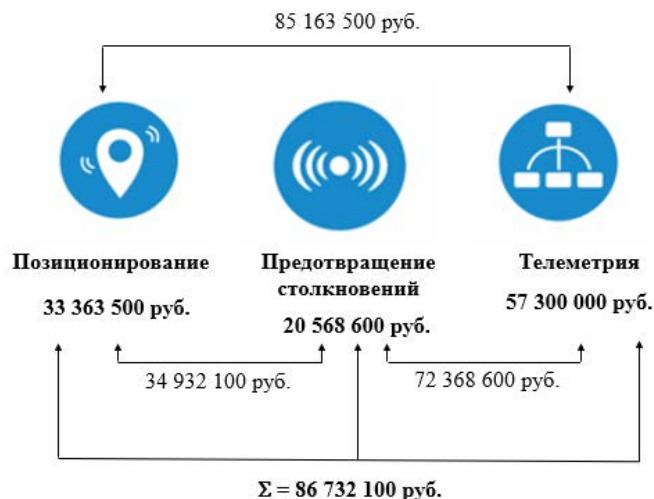


Рис. 2. Расчет стоимости внедрения и развертывания модульной системы промышленной безопасности для производственных предприятий, построенной на базе технологии Интернета вещей

Система промышленной безопасности, построенная на базе технологии Интернета вещей, в полном виде будет стоить НЛМК 86 732 100 рублей. Постепенное введение модулей на предприятии возможно, но не рекомендуется, поскольку именно в совокупности система позволяет собирать, обрабатывать и анализировать больше данных для оптимизации бизнес-процессов. В соответствии с этим повышается эффективность и безопасность производства, а также снижается срок окупаемости инвестиций в проект.

Каждый модуль системы влияет на определенный аспект или несколько, оптимизируя связанные с этим аспектом бизнес-процессы. Модуль «Позиционирование», отвечающий за мониторинг перемещений персонала, затрагивает бизнес-процессы, касающиеся безопасности и производительности.

Модуль «Предотвращение столкновений» отслеживает местоположение транспортной техники и предотвращает столкновения по направлениям транспорт-транспорт и транспорт-человек. Реализация данного модуля способствует контролю и повышению эффективности бизнес-процессов, потому как ведет к снижению травматизма персонала, сокращению затрат на ремонт и уменьшению времени простоя транспорта, вызванного ремонтом после столкновения.

И модуль «Телеметрия» – позволяет собирать и передавать данные с контролируемых и управляемых объектов. Представляет собой датчики, расположенные по периметру цехов и/или закрепленные на промышленном оборудовании (станках, агрегатах). Данный модуль способствует оптимизации ряда бизнес-процессов, связанных с производительностью, издержками, продукцией, информацией и многими другими аспектами. Именно аналитика накопленных больших данных и возможность дистанционного управления, которые реализует этот модуль, способны вывести оптимизацию бизнес-процессов на качественно новый уровень.

Несмотря на большие возможности, технологии Интернета вещей распространяются медленно. Этому есть ряд причин, основными из которых являются непонимание бизнесменами экономических выгод и большой объем финансовых вложений, требуемый на внедрение и развитие технологии Интернета вещей. Также нет полномасштабных проектов, которые убедили бы руководителей компаний в важности инвестиций в подобного рода проекты. Однако крупные промышленные компании уже хорошо освоили базовые цифровые технологии и постепенно готовы к переходу на глубокую автоматизацию и к реконструкции бизнес-процессов под передовые цифровые технологии. К примеру, металлургия занимает 2-е место по степени сложности внедренных технологий и 1-е место по степени сложности технологий, планируемых к внедрению. Кроме того, промышленные компании считают, что цифровизация станет основой конкурентоспособности и критически важным элементом на пути к успеху в ближайшие 5 лет на российском и мировом (экспорт в особенности важен для металлургической отрасли) рынках [3]. В России 60% промышленных предприятий так или иначе тестируют Интернет вещей, но почти все из них находятся пока только на начальном уровне реализации проекта. Однако следует помнить, что цифровизация движется полным ходом и изменения в IT-технологиях идут стремительно, что вскоре может повлиять и кардинально изменить сложившуюся картину цифровизации в промышленных компаниях.

Литература

1. Индустриальный Интернет вещей. Перспективы российского рынка. По заказу ПАО «Ростелеком». IDC. 2016. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.company.ru/projects/IIoT/study_IDC.pdf (дата обращения: 25.01.2020).
2. Маркеева А.В. Социальные последствия развития интернета вещей (IoT) // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. С. 236 – 239. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 05.03.2020).
3. Металл – Курьер // Инновационные технологии. Январь 2017. 54 с. [Электронный ресурс] URL: <https://metalexpert.com/> (дата обращения: 25.03.2020).
4. Овчинников С. Системы позиционирования и мониторинга // Технологии и средства связи. 2014. №2. с. 18-22. [Электронный ресурс] URL: <http://lib.tssonline.ru/articles2/safe-city/sistemy-pozitsionirovaniya-i-monitoringa>
5. Официальный сайт Группы НЛМК [Электронный ресурс] URL: <https://nlmk.com/ru/> (дата обращения 15.07.2020).

Кирсанов Николай Юрьевич

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U42472,

направление подготовки: 38.04.01 – Экономика,

e-mail: kirsanov.nikolay82@rambler.ru

Варламов Борис Александрович

Год рождения: 1978

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: boris.varlamov@mail.ru

УДК 658.5

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМИ И СРЕДНИМИ
ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ LEAN-КОНЦЕПЦИИ**

Н.Ю. Кирсанов

Научный руководитель – к.э.н., доцент Б.А. Варламов

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

Аннотация

В работе рассмотрены основные этапы разработки рекомендаций по внедрению Lean-концепции в деятельность компаний малого и среднего бизнеса с целью повышения эффективности их хозяйственной деятельности и стабильного развития на рынке. Отражены результаты практической реализации управленческих решений в деятельность малого предприятия, выработанных на основе выявленных особенностей внедрения Lean-концепции в процессе детального изучения теоретических основ и практического опыта внедрения Lean-концепции.

Ключевые слова

Lean-концепция, управленческие решения, малый и средний бизнес, бережливое производство, особенности внедрения, принципы бережливого производства.

Анализ материалов, посвященных практическому применению концепции бережливого производства в отечественных компаниях, показывает, что большая их часть посвящена изучению опыта внедрения на крупных предприятиях. Актуальность выполненной работы обуславливается тем, что само определение бережливого производства как подхода к менеджменту и управлению качеством, обеспечивающего долговременную конкурентоспособность без существенных капиталовложений, позволяет предположить, что внедрение Lean-концепции в деятельность компаний малого, и даже микро-бизнеса, может послужить мощным толчком для развития таких компаний. Количество процессов по созданию ценности для конечного потребителя сравнительно невелико, ресурсов для капитальных вложений гораздо меньше, а уровень конкуренции высок.

С целью проследить эволюцию используемой терминологии, определить сущность, основные принципы, понятия, их взаимосвязь в рамках Концепции, было проведено исследование историко-методологических аспектов становления и развития бережливого производства.

В настоящее время Lean-концепция – это концепция менеджмента, основанная на неуклонном стремлении к устранению всех видов потерь и предполагающая вовлечение в процесс оптимизации бизнеса каждого сотрудника, а также максимальную ориентацию на потребителя. В основе Lean-концепции пять принципов, успешно применяемых в организациях разных сфер деятельности и в отличных от Японии культурных условиях:

- 1) определить ценность конкретного продукта;
- 2) определить поток создания ценности для этого продукта;
- 3) обеспечить непрерывное течение потока создания ценности продукта;
- 4) позволить потребителю вытягивать продукт;
- 5) стремиться к совершенству [1].

В рамках концепции потери определяются, как любая деятельность, которая потребляет ресурсы, но не создает ценности. Выделяют восемь видов, источников потерь:

- 1) потери перепроизводства;
- 2) потери ожидания в очередях;
- 3) потери излишней транспортировки;
- 4) потери производственных процессов, не создающих добавленной стоимости;
- 5) потери излишних материально-производственных запасов;
- 6) потери лишних движений, когда сотрудник тратит время на лишние перемещения в рабочем пространстве, поиск необходимых инструментов и т.п.;
- 7) потери низкого уровня качества, когда большое количество ресурсов уходит на исправление брака, утилизацию неисправимого брака и излишние проверки качества;
- 8) потери от нереализованного творческого потенциала сотрудников.

Для борьбы с потерями в процессе создания ценности используются подходы, методы, инструменты и системы менеджмента и управления качеством, созданные на Toyota и дополненные многочисленными исследователями и практиками бережливого производства. В последнее время их чаще называют инструментами Lean-концепции [2].

К таким инструментам, в частности, относятся система организации рабочего места 5S, система точно вовремя (Just-In-Time), подача рационализаторских предложений сотрудниками Кайдзен (Kaizen), быстрая переналадка оборудования, составление потока создания ценности (ValueStreamMapping) и другие. Методы взаимосвязаны между собой. Многие являются необходимым условием применения других, а некоторые, как например, Kaizen или Just-In-Time, претендуют на статус самостоятельной производственной концепции. Инструментарий бережливого производства расширяется вместе с развитием концепции и ее применением в разных отраслях.

По мере развития Бережливого производства, происходит эволюция понятий. В настоящее время Бережливое производство (LeanProduction) – это концепция (Концепция бережливого производства, Lean-концепция, Бережливая концепция), термин «производство» не соответствует разнообразным сферам применения, но используется, так как зародилась концепция в производственном подразделении.

С целью изучить эффективность применения Lean-концепции в сфере малого и среднего бизнеса, и выявить экономические и организационные особенности ее

внедрения, было проведено исследование практического опыта применения Lean-концепции в деятельности отечественных малых предприятий. Размер первоначальной выборки компаний-респондентов составил 240 предприятий на рынке Санкт-Петербурга.

Проведенный первичный опрос показал, что среди компаний малого и среднего бизнеса, действующих на рынке Санкт-Петербурга занимаются внедрением Бережливого производства в свою деятельность не более 10 %. Поэтому детально был изучен опыт внедрения Lean-концепции в деятельность семнадцати малых предприятий сферы оказания услуг.

Полученные данными компаниями результаты от внедрения Бережливого производства в их деятельность можно условно разделить на три основные категории:

1. Отрицательный результат внедрения. Характеризуется тем, что компания только декларирует использование Lean-концепции, а негативный эффект обуславливается нецелесообразностью использования инструментов Бережливого производства.

2. Промежуточный результат. Внедрение сводится к использованию отдельных инструментов Lean-концепции, а заинтересованы в изменениях только руководители.

3. Положительный результат внедрения. Результаты изменений ощутимы для самих компаний и выделяют их на рынке Санкт-Петербурга.

Положительного результата добились только четыре компании, что составляет не более 2% от первоначальной выборки для проведения исследования. Опыт компаний, которые получили отрицательный или промежуточный результат, отражает лишь удачный или неудачный опыт применения отдельных инструментов бережливого производства. В таб. 1 представлены данные о количестве компаний-респондентов по достигнутому результату внедрения.

Таблица 1

Компании-респонденты по результатам внедрения

Результат внедрения	Количество компаний-респондентов	% из 17 изученных компаний-респондентов	Доля в начальной выборке из 240 компаний
Положительный	4	23,5%	1,7%
Промежуточный	10	58,8%	4,2%
Отрицательный	3	17,7%	1,3%

Полученные результаты исследования практического опыта внедрения Lean-концепции позволили выделить характерные особенности внедрения Lean-концепции в деятельность отечественных малых предприятий:

- короткие сроки внедрения изменений;
- быстрый эффект, результат от внедрения;
- неготовность делиться информацией, даже в форме согласия на публикацию о полученных результатах исследования.

На основании выявленных особенностей, препятствий и ошибок внедрения концепции бережливого производства в деятельность отечественных малых предприятий были разработаны следующие рекомендации по совершенствованию управления малыми и средними предприятиями на основе Lean-концепции:

Рекомендация 1. Изучить теоретические основы, принципы и инструменты концепции бережливого производства для понимания и контроля процесса внедрения изменений на основе Lean-концепции.

Рекомендация 2. Принять за основу внедрения реализацию пяти основополагающих принципов Бережливого производства.

Рекомендация 3. Избегать директивного внедрения инструментов бережливого производства без реализации принципов Lean-концепции. Аналоги инструментов будут формироваться сами по мере реализации принципов при активном участии в их формировании сотрудников.

Рекомендация 4. Работать с вовлеченностью персонала в процесс повышения эффективности деятельности компании. Оперативно предоставлять обратную связь по предложенным сотрудниками инициативам по возможным улучшениям деятельности. Вовремя расставаться с сотрудниками, сопротивляющимися понятным для всех улучшениям.

Рекомендация 5. Принять за контрольные точки для регулярной оценки процесса внедрения изменений на основе Lean-концепции наличие в деятельности предприятия характерных для бережливого производства особенностей:

- командная работа;
- интенсивный открытый обмен информацией;
- эффективное использование ресурсов и исключение потерь;
- непрерывное совершенствование [3].

Рекомендация 6. Не останавливаться на достигнутом. Процесс совершенствования непрерывен в условиях постоянно меняющегося окружающего мира. Реализация принципов Lean-концепции позволяет выявлять новые потребности, создавать новые ценности продуктов.

Апробация разработанных рекомендаций проведена в процессе управления малым предприятием отельного бизнеса, действующим на рынке Санкт-Петербурга.

На момент начала внедрения изменений компания предоставляла услугу размещения в двух отелях, расположенных в центре Санкт-Петербурга. Уровень отелей – 2 звезды. Компания относится к категории малых предприятий, так как насчитывает в своем штате 17 сотрудников. Агрегированные данные о финансовом результате деятельности компании за год представлены в таб. 2.

Таблица 2

Основные показатели деятельности компании до внедрения Lean- концепции

Отель «Саквояж» – 18 номеровОтель «Бон вояж» – 31 номер			
Выручка за год:		Постоянные затраты, руб.	15 852 600
Размещение в отелях, руб.	24 800 000	Переменные затраты, руб.	3 074 800
Дополнительные услуги для гостей, руб.	4 600 000	ФОТ, в том числе соц. взносы, руб.	6 408 300
Итого выручка, руб.	29 400 000	Итого затраты, руб.	25 335 700
Прибыль до налогообложения, руб.		4 064 300	
Чистая прибыль, руб.		3 779 799	

Причина возникновения потерь в процессе создания ценности в рассматриваемой компании, как типичного представителя отельного бизнеса, обусловлена сезонностью. Интенсивный режим работы в высокий сезон, простой персонала в низкий сезон, колебания уровня доходов в течение года. Что в свою очередь приводило к сложностям связанных с текучкой кадров, обучением новых сотрудников и обеспечением уровня качества размещения и обслуживания гостей отелей.

Управленческие решения, реализованные на основе применения Lean-концепции:

- организована эффективная работа с персоналом;
- в здании нового отеля объединены разные категории номеров, учитывающие сезонные особенности спроса на размещение;
- произведена оптимизация и максимальная автоматизация процессов продажи и организации проживания в отелях;
- заключены договора на прохождение практики студентами учебных заведений, готовящих специалистов области гостеприимства;
- реализован проект по сервисному обслуживанию предприятий сферы HoReCa;
- реализован проект по продаже товаров на маркетплейсах.

Удалось исключить простои в низкий сезон и интенсивную нагрузку персонала в высокий, равномерно распределить их нагрузку в течение года. Были реализованы два новых проекта, в отличных от отельной, сферах деятельности. Это проект по продаже товаров на маркетплейсах, таких как Ozon, Wildberries, Beru и других. И проект по предоставлению услуг текущего технического и инженерного обслуживания зданий и помещений предприятий сферы гостиничного и ресторанного бизнеса, созданный на основе понимания собственных бизнес-потребностей, одинаковых для похожих игроков на рынке.

Что позволило повысить уровень и стабильность оплаты труда, заинтересованность сотрудников в конечном результате деятельности всей компании. Исчезла зависимость доходности предприятия от сезонных колебаний спроса.

В таб. 3 представлены финансовые показатели от отельной деятельности компании в результате внедрения изменений на основе Lean-концепции.

Таблица 3

Показатели отельной деятельности компании после внедрения Lean-концепции

Отель «Гранд вояж» – 49 номеров (уровень «Без звезд». Объединяет разные категории номеров, с учетом сезонных особенностей спроса) Отель «Бон вояж» – 31 номер			
Выручка за год:		Постоянные затраты, руб.	21 631 800
Размещение в отелях, руб.	36 200 000	Переменные затраты, руб.	4 392 600
Дополнительные услуги для гостей, руб.	6 100 000	ФОТ, в том числе соц. взносы, руб.	10 514 400
Итого выручка, руб.	42 300 000	Итого затраты, руб.	36 538 800
Прибыль до налогообложения, руб.		5 761 200	
Чистая прибыль, руб.		5 357 916	

Реализация принципов бережливого производства в отельной деятельности и развитие новых проектов привело к увеличению в 2 раза размера чистой прибыли за год по сравнению с предыдущим периодом. В таб. 4 представлена информация о размере чистой прибыли компании по различным направлениям деятельности за год.

Таблица 4

Чистая прибыль по направлениям деятельности

Направление деятельности компании	Чистая прибыль за год, руб.
Предоставление услуги размещения в 2-х отелях в центре Санкт-Петербурга и продажа дополнительных услуг гостям	5 350 000

продолжение таблицы

Направление деятельности компании	Чистая прибыль за год, руб.
Проект по продажам товаров на маркетплейсах (Среднемесячный оборот 400 000 рублей)	1 300 000
Проект по сервисному обслуживанию предприятий HoReCa (Выполнение работ силами технической службы компании)	1 700 000
Итого	8 350 000

Основные выводы исследования

Результаты практического внедрения и апробация разработанных рекомендаций подтверждают предположение, что внедрение Lean-концепции в деятельность компаний малого бизнеса может послужить мощным толчком для их развития.

При внедрении важным является реализация принципов Lean-концепции, не инструментов, начиная с первого принципа – определить ценность конкретного продукта. Это еще более актуально для сферы услуг, так как определять необходимо не только ценность, но и правильно определять сам продукт.

Реализация принципов Lean-концепции позволяет выявлять новые потребности, создавать новые продукты и новые ценности этих продуктов.

Для компаний малого бизнеса это некое переосмысление существующего или используемого (позволительно сказать традиционного) подхода к организации бизнеса в выбранной сфере деятельности.

Литература

1. Вумек Дж., Джонс Д. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. 473 с.
2. Вэйдер М. Инструменты бережливого производства: Мини-руководство по внедрению методик бережливого производства / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 125 с.
3. Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Бережливость не роскошь, а средство выживания / предисловие к книге: Вумек Дж., Джонс Д. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Бизнес Букс. 2004. 473 с.

Коблов Алексей Юрьевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N42493,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: k.o.b.l.o.v@yandex.ru

Бибилов Сергей Викторович

Год рождения: 1964

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: sbib@bk.ru

УДК 004.056.55

**ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ
ПРОТОКОЛОВ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ**

А.Ю. Коблов

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.В. Бибилов

Работа выполнена в рамках темы НИР №218811 «Исследования сетей квантовой связи».

Аннотация

В работе был проведён выбор наиболее информативных критериев для оценки протоколов квантового распределения ключей, а также была описана методика для отбора таких критериев. Нахождение наиболее информативных критериев необходимо для ранжирования протоколов, так как разные протоколы имеют разную степень защищённости.

Ключевые слова

Протоколы квантового распределения ключей, квантовая криптография, ранжирование, BB84, B82, COW, критерии оценки, взаимная информация, следовая метрика.

Введение

Постепенно системы квантового распределения ключей (КРК) или, как их ещё называют – системы квантовой криптографии, становятся всё более популярными. В последние годы на рынке стали появляться коммерческие установки КРК. Чтобы применять новые технологии для обеспечения информационной безопасности необходимо выработать ряд механизмов для их интеграции в существующие системы защиты. Одним из таких механизмов является методика ранжирования квантовых протоколов.

Выбор протокола важен по той причине, что разные протоколы имеют разную степень обеспечения секретности сеанса связи. К тому же, как правило, установки КРК поддерживают лишь один протокол, поэтому механизм ранжирования протоколов может служить дополнительным критерием при выборе технической базы.

На текущий момент систематизация информации о квантовых технологиях остаётся на достаточно низком уровне. Существует много статей и учебников, посвящённых этой теме, однако они являются достаточно наукоёмкими и сложными для понимания без достаточной подготовки [3]. Поэтому данная работа является сбором и систематизацией информации о разных критериях оценки протоколов

квантового распределения ключей с целью их дальнейшего анализа, сравнения, выявления корреляций и выбора наиболее информативного.

Методика определения наиболее информативных критериев

Для того чтобы выявить наиболее информативные критерии для оценки протоколов КРК сперва необходимо разработать методику, по которой будет проводиться сравнение критериев.

Ниже представлена методика для определения критериев оценки протоколов КРК. Основные этапы которой состоят в следующем:

- выбор критериев;
- определение применимости к объекту исследования;
- выбор протоколов;
- расчёт критериев к выбранным протоколам;
- анализ и интерпретация полученных данных;
- формирование выводов.

Ниже даны комментарии по некоторым пунктам.

Выбор критериев. В качестве критериев были выбраны следующие три группы показателей:

1. Оценка алгоритмов:
 - вычислительная сложность;
 - цикломатическая сложность.
2. Оценка передачи данных:
 - максимальная дальность передачи;
 - критичная ошибка.
3. Специфичные оценки для квантовых протоколов:
 - взаимная информация;
 - следовая метрика.

Группа показателей «Оценки алгоритмов» была включена, потому что протоколы квантового распределения ключей хоть и называются протоколами, но по сути таковыми не являются. Протоколы КРК следует называть алгоритмами, потому как они не задают структуру пакетов и порядок сообщений как протоколы в общепринятом понимании типа TCP, SSH или HTTPS, они описывают общую идею, которая лежит в основе распределения ключей. Поэтому протоколы КРК следует рассматривать и анализировать ещё и как алгоритмы.

Самым распространённым критерием при рассмотрении алгоритмов является вычислительная сложность, следующим менее популярными идёт цикломатическая сложность.

Протоколы КРК служат для распределения ключей, то есть являются коммуникационными протоколами. Следовательно, можно также применять критерии для описания передачи данных. Основной целью при рассмотрении критериев этой группы является ответ на вопрос воздействует ли логика протоколов на дальность передачи и отношение сигнал/шум. Или на эти показатели оказывает влияние только техническая реализация.

Также были выбраны критерии группы «Специфичные оценки для квантовых протоколов» так как они являются основными показателями при описании протоколов, которые используются в литературе. Наиболее часто встречающимся является взаимная информация и следовая метрика.

Выбор протоколов. Чтобы оценить являются ли критерии информативными и применимыми следует выбрать некоторые протоколы, для которых они будут рассчитываться. В качестве таких протоколов были выбраны:

1. BB84.
2. B92.

3. COW.

Они были выбраны как наиболее часто встречающиеся в литературе и наиболее подробно описанные. Существуют протоколы, которые реализуют:

- поляризационное кодирование (BB84 и B92 и т.д.);
- фазово-временное кодирование (COW и т.д.);
- кодирование, основанное на неравенствах Белла (EPR–Protocol и т.д.).

Изначально планировалось выбрать хотя бы по одному протоколу из каждой группы, чтобы оценить универсальность критериев оценки. Однако по протоколам, использующих неравенства Белла, недостаточно информации, поэтому эта группа не была включена в обзор.

Анализ полученных результатов и выводы. По завершению расчётов критериев должны быть получены некоторые количественные характеристики. Чтобы иметь какое-то представление о том, является ли конкретный критерий пригодным с точки зрения описания и ранжирования протоколов необходимо оценить его информативность. К сожалению, на данный момент нет математического аппарата для данной задачи. Поэтому приходится проводить не количественное, а качественное сравнение критериев, что может приводить к некоторой субъективности результатов.

Применение методики. Цикломатическая сложность

Одно из применений цикломатической сложности состоит в том, чтобы ограничивать сложность программ во время их разработки. NIST (см. [1]) рекомендует, чтобы программисты вычисляли сложность разрабатываемых ими модулей и разделяли модули на более мелкие всякий раз, когда цикломатическая сложность этих модулей превысит десять. Эта практика была включена NIST в методику структурного тестирования с замечанием, что в некоторых случаях может быть целесообразно ослабить ограничение и разрешить модули со сложностью до 15. Математически цикломатическая сложность структурированной программы определяется с помощью ориентированного графа, узлами которого являются блоки программы, соединённые рёбрами, если управление может переходить с одного блока на другой. Тогда сложность (1) определяется как:

$$M = E - N + 2P \quad (1)$$

где M – цикломатическая сложность, E – количество рёбер в графе, N – количество узлов в графе, P – количество компонент связности.

Расчёт показал, что самым простым с точки зрения цикломатической сложности является протокол B92 ($M = 17$), вторым по сложности является протокол COW ($M = 18$) и на последнем месте расположился протокол BB84 ($M = 22$). С одной стороны, увеличение сложности приводит к увеличению потенциальных ошибок, с другой – увеличенная сложность может служить показателем более защищённой и стабильной системы. Таким образом, определение цикломатической сложности нельзя рассматривать как основную метрику, она обязательно должна рассматриваться в контексте более сложной системы оценки.

Вычислительная сложность

Для того, чтобы оценить общую сложность, нужно сложить сложности отдельных этапов. Так как в протоколах КРК на стадиях приготовления состояний и отправки и измерения вычисления не используются, то эти блоки не будут учитываться в общей сложности. В то же время, вычисления применяются на стадии постселекции, оценки и исправления ошибок.

Этап постселекции можно свести к линейному поиску в последовательности, поэтому сложность будет линейна – $O(n)$. В блоке оценки ошибки вычисляется

отношение ошибочно измеренных посылок к правильно принятым. Поскольку эта операция деления одной величины на другую, то она не зависит от размерности исходных данных, поэтому вычислительная сложность этого алгоритма будет равна $O(1)$.

В процессе исправления ошибок могут использоваться различные алгоритмы, например, каскадные коды или бинарное исправление ошибок. Выбор алгоритма исправления ошибок не зависит от протокола КРК.

Таким образом, общую вычислительную сложность можно выразить как $O(n) + O_{\text{испр.ошибок}}$. То есть временная сложность одинакова для всех рассмотренных протоколов и является линейной.

Дальность передачи и критическая ошибка

Максимальная дальность передачи, при которой гарантируется безопасность сеанса распределения ключей зависит от двух факторов. Первый – это неидеальность системы, например, присутствие многофотонных посылок, наличие темновых токов в фотодетекторах и их низкая эффективность, потери в канале. Также длина канала определяется самим протоколом КРК, который задаёт квантовые состояния, их приготовление, измерение, этап постселекции, коррекции ошибок и усиление секретности ключей.

Длина линии связи различная для разных протоколов, однако существует предел, который определяется ограничениями на безошибочную передачу информации в канале с шумом. Эта граница является фундаментальной и никакой протокол КРК не может преодолеть этот лимит. Она обуславливается невозможностью исправить ошибки в битовой последовательности, если длина линии, а, следовательно, и ошибки, с ней связанные, превышают критическое значение.

Перед этапом коррекции ошибок Алиса и Боб имеют битовую строку длины n , причём строка Боба содержит ошибки с вероятностью D . В процессе исправления ошибок участники находятся в ситуации, которую можно сравнить с классическим бинарным каналом связи с вероятностью ошибки D . Прямая теорема кодирования для канала с шумом гласит, что из последовательности длиной n и вероятностью ошибки D можно извлечь не более $n \cdot C(D)$ бит, где C – пропускная способность канала. При этом $I_{AB} \leq C(D)$, где I_{AB} – взаимная информация между Алисой и Бобом.

Таким образом, в последовательности остаётся k бит ($k < n \cdot C(D)$). Исправление ошибок подразумевает, что Алиса должна раскрыть $n - k$ бит проверочной информации. Эта информация передаётся по открытому каналу, следовательно, Ева имеет к ней доступ. Также у Евы есть информация I_{AE} , которую она получила в процессе передачи кубитов. В общем случае, у подслушивателя есть не менее $n(1 - C(D) + I_{AE})$ бит. Информация, которая имеется у Евы должна быть исключена из ключа. Это достигается путём хеширования последовательности.

После исправления ошибок длина ключа будет не более $r \leq n(C(D) - I_{AE})$ бит. Максимальная длина передачи достигается при обращении в нуль длины ключа ($r = 0$). Это означает, что все биты последовательности были израсходованы на исправление ошибок и не осталось информационных бит для формирования ключа. В противовес, наилучшая ситуация достигается при обращении в нуль информации, которая получила Ева ($I_{AE} = 0$). При этом Ева не получила никакой информации из квантового канала связи, единственным источником информации для неё был открытый канал, по которому Алиса и Боб исправляли ошибки.

Вероятность ошибки D состоит из совокупности ошибок, вносимых Евой и ошибок, вызванных системой передачи (2).

$$D = \frac{\frac{1}{2}p_{\text{dark}}}{\eta \cdot 10^{-\frac{\alpha L}{10}} + p_{\text{dark}}}, \quad (2)$$

где p_{dark} – вероятность темновых отсчётов, η – квантовая эффективность детекторов, α – коэффициент затухания в канале, L – длина канала.

Максимальная вероятность ошибки, при котором невозможна передача ключа называется критичной ошибкой или QBER (англ. QuantumBitErrorRate).

Как видно из приведённых формул, максимальная длина канала связи и критичная ошибка зависят не только от технических характеристик криптографической установки, но и от тактики злоумышленника, который путём атак получает некоторое количество информации о ключе. Таким образом можно сделать вывод, что эти два критерия можно свести к сравнению протоколов по величине взаимной информации. Данные критерии хоть и являются информативными, но их вывод вытекает из взаимной информации, которая их и определяет. Следовательно, зная уровень взаимной информации, можно легко рассчитать максимальную длину линии связи и QBER для конкретной установки КРК.

Взаимная информация

Взаимная информация – мера, описывающая количество информации, содержащееся в одной случайной величине относительно другой. В теории связи взаимная информация используется для оценки потерь при передаче в канале с шумом. Так как в квантовой криптографии подслушивание вносит ошибки в процесс передачи, то можно говорить о том, сколько информации получил злоумышленник, внося долю ошибок D [2]. Данный метод определения защищённости достаточно прост и описан для различных протоколов КРК.

Сравнение протоколов по количеству взаимной информации как мера устойчивости к конкретным атакам представляется адекватным критерием. Уровень взаимной информации можно использовать для оперативного контроля секретности сеанса передачи ключей. Это возможно за счёт вычисления статистики и определения количества информации, которую мог перехватить злоумышленник для минимизации доли этой информации в финальном ключе. А при слишком высоком уровне, превышающем критичное значение, сеанс прерывается.

Взаимная информация является одним из наиболее часто встречающихся критериев при описании атак на протоколы. Однако, на данный момент существует ряд сложностей.

Во-первых, нет систематизированной информации хотя бы по одному из рассмотренных протоколов. Разные авторы по-разному называют атаки. Все статьи разрознены, и поиск среди таких материалов оказывается достаточно затруднительным. Также множество источников просто повторяют уже опубликованную информацию, притом зачастую скопированные формулы являются либо некорректными, либо неполными. Поиск по иностранной литературе затрудняется расхождением в терминологии.

Во-вторых, протоколы BB84 и B92 сравнимы так как они имеют примерно одинаковую структуру, в то время как COW отличается по природе подготовки состояний и имеет отличные критерии, от которых зависит определение взаимной информации. Если же рассматривать BB84 и B92, то можно провести сравнение лишь по полупрозрачной атаке. Протокол B92 показывает лучшие показатели, по сравнению с BB84, так как при фиксированном уровне ошибок при первом протоколе подслушатель получит меньше информации, чем при втором.

Следовая метрика

В квантовой физике используется много метрик для определения расстояния между двумя состояниями, например, степень совпадения (англ. fidelity, в русском языке нет устоявшегося определения), степень совпадения по Ульману, метрика Гильберта-Шмидта, следовая метрика или следовое расстояние, метрика Буреса и т.д.

Применительно к протоколам КРК наиболее популярными являются fidelity и следовая метрика [3]. Далее более подробно поговорим про следовую метрику.

Следовая метрика является достаточным критерием для сравнения протоколов КРК так, как это единственный критерий, который может быть представлен в терминах классической криптографии. Это предоставляет возможность сравнивать между собой квантовые и классические криптографические алгоритмы.

В то время как взаимная информация может использоваться для регулирования степени секретности распределения ключей непосредственно во время самой передачи, следовое расстояние можно использовать в качестве глобального критерия секретности, не зависящего от ошибок, вносимых злоумышленником.

При всей перспективности следовой метрики, на данный момент в литературе можно встретить только описание аналитических преобразований и нет расчёта каких-либо конкретных протоколов. А самостоятельный расчёт следового расстояния является достаточно трудоёмкой задачей, требующей высокого уровня квалификации.

Выводы

В результате работы было выяснено, что критерии для оценки алгоритмов оказались наименее эффективными из всех рассмотренных. Вычислительная сложность равна для всех протоколов и зависит от сложности алгоритмов поиска и исправления ошибок. Цикломатическая сложность различается для разных протоколов, однако её применение не имеет смысла до тех пор, пока не будет доказана корреляция между цикломатической сложностью алгоритмов и секретностью ключей. Большая цикломатическая сложность повышает сложность аппаратно-программного комплекса и может свидетельствовать о наличии большего числа потенциальных ошибок. Также при усложнении программной и аппаратной частей может увеличиваться время реагирования разработчиков на новые уязвимости и создание патчей безопасности. Однако это необязательное следствие цикломатической сложности. Поэтому использование этого критерия является опциональным и может применяться по желанию.

Дальность передачи и критическая ошибка по большей части зависят от взаимной информации и аппаратной реализации системы. Например, дальность передачи может быть увеличена путём использования квантовых повторителей, разработка которых в последнее время ведётся достаточно активно. Поскольку на эти критерии влияют технические характеристики, то имеет смысл использовать эти критерии непосредственно при выборе установки КРК, а не протоколов. В таком случае, критерии являются достаточно наглядными и интуитивно понятными. Аппаратная реализация не закладывается в логику работы протоколов, поэтому при сравнении протоколов технические преимущества некоторых систем не имеют значения. Если при рассмотрении максимальной длины линии и критической ошибки абстрагироваться от технических различий, то на критерии влияет только максимальная информация между Алисой и Евой. То есть различия определяются только защищённостью алгоритмов. Поэтому целесообразней будет не использовать несколько критериев, которые линейно зависимы между собой.

Из всех рассмотренных критериев самыми информативными являются специфичные критерии для протоколов КРК. При этом следовая метрика является более информативной по отношению к взаимной информации, потому что она позволяет не ориентироваться на внешнее проявление злоумышленника в виде внесения дополнительных ошибок в канал связи. Также следовая метрика, единственная из всех рассмотренных критериев, позволяет вычислить сложность перебора ключа, которая является одним из наиболее важных показателей в классической криптографии. Однако, хоть следовая метрика и является наиболее предпочтительным критерием при описании квантовых протоколов, в литературе не

встречается расчёт этого параметра, также, как и расчёта сложности перебора ключа.

Следовая метрика является самым неинтуитивным параметром из всех, при этом – самым информативным. Он включает в себя информацию об атаках, через неё можно рассчитать максимальную длину канала и критический уровень ошибок. Следовое расстояние может заменить собой расчёт взаимной информации. При этом взаимная информация может рассматриваться пусть хоть и менее информативной и надёжной, но более наглядной и простой в расчётах альтернативой следовой метрики. Но на данный момент уровень исследований обоих критериев является неполным и для многих атак и протоколов, особенно не распространённых, ещё не получены зависимости. Поэтому пока сравнение по уровню взаимной информации величине следового расстояния не представляется возможным.

Подытоживая вышесказанное, следовая метрика является наиболее информативным критерием и наиболее предпочтительным при ранжировании протоколов КРК. Также следует отметить взаимную информацию как более наглядную альтернативу.

Литература

1. McCabe, Thomas J. A Complexity Measure. Thomas J. McCabe // IEEE Transactions on Software Engineering. V. SE-2. № 4. December 1976.
2. Мотолков С.Н. Различимость квантовых состояний и трудоёмкость по Шеннону в квантовой криптографии. С.Н. Молотков // Письма в ЖЭТФ. 2017. Т.152. Выпуск №1 (7). С. 62 – 78.
3. Мотолков С.Н. Одноразовый блокнот, сложность перебора ключей и практическая секретность квантовой криптографии. Молотков С.Н. // Письма в ЖЭТФ. 2016. Т. 150. Выпуск №5(11). С. 903 – 916.

Кондратьев Павел Александрович

Год рождения: 1993,
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №г42772,
направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,
E-mail: pakondratyev@gmail.com

Олехнович Роман Олегович

Год рождения: 1983
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: r.o.olekhnovich@mail.ru

УДК 53.087:54.084:664.8.038

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ
СЪЕДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЦЕСС ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ**

П.А. Кондратьев

Научный руководитель – к.т.н., доцент Р.О. Олехнович

Аннотация

В работе приведен процесс разработки автоматизированной измерительной системы, позволяющей в реальном времени анализировать газообмен фруктов, обработанных съедобными полимерными покрытиями. Система оснащена датчиками температуры, влажности, концентрации углекислого газа и паров этилового спирта, микроконтроллером и вентиляторами для контроля уровня влажности с целью имитации условий хранения, приближенных к реальным.

Ключевые слова

съедобные покрытия, хранение фруктов, измерительная система, движение воздушных потоков, анализ газообмена, автоматизация измерений.

Разработки и решения, касающиеся качества пищевых продуктов имеют высокую значимость для человеческого общества. Для увеличения срока хранения мяса, овощей и фруктов применяют особые условия хранения, температурные и влажностные режимы, модифицированную газовую атмосферу (МГА) – бескислородные упаковки и различные виды упаковочных материалов.

Основная задача полиэтиленовых упаковок, которые в настоящее время наиболее распространены – ограничить взаимодействие продукта с окружающей средой, снизить обмен различными веществами, например, газообмен и испарение влаги, а также обеспечить чистоту внутри упаковки. Это обеспечивает более длительную сохранность продукта за счет замедления процессов ферментации, а также изоляции от грязи и бактерий.

Главный недостаток пластиковых упаковок – их пагубное влияние на экологию вследствие отсутствия должным образом реализуемой утилизации, большое количество отходов. Одноразовые пакеты, практически не разлагаясь в природе, создают большую проблему для экологии. Во многих странах даже нет соответствующих норм по утилизации подобных отходов. Съедобные пленки и покрытия представляют собой тонкие слои съедобных материалов, применяемых на пищевых продуктах, которые играют важную роль в их хранении, транспортировке и реализации. Они защищают

продукт от механических повреждений, физических, химических факторов воздействия, а также микробиологической порчи. Их использование в пищевой промышленности, характеризуется рядом показателей как стоимость, механические свойства, оптические свойства, паро- и газопроницаемость, структурная устойчивость к воздействию микроорганизмов, а также органолептические показатели [1].

При этом пищевые биоразлагаемые пленки способны длительное время сохранять свои свойства на открытом воздухе, не разрушаясь, так как катализатором для их распада служит внутренняя среда пищеварительной системы человека. Подобные покрытия также обеспечивают специальные условия хранения, например, служат фильтром для пропускания одних веществ и отсеивания других, создавая особую атмосферу внутри упаковки, продлевающую срок хранения продукта.

Съедобные пленки и покрытия – единственный вид биоразлагаемой полимерной упаковки, которая не нуждается в индивидуальном сборе и особых условиях утилизации. Это их главное отличие от традиционных биоразлагаемых пластиков, которые первоначально были предложены как альтернатива синтетическим полимерным материалам. К сожалению, до настоящего времени эксперимент по производству и использованию биоразлагаемых упаковочных полимерных материалов не только не дал однозначного положительного результата, но и поставил много новых до сих пор не решенных вопросов [2]. Известно, что даже сорванный с дерева плод продолжает жизнедеятельность, обмениваясь с окружающей средой различными газами, в первую очередь, кислородом, углекислым газом, а также парами воды и прочими веществами. Различные микроорганизмы могут проникать внутрь и портить продукты, лишенные защитной упаковки.

Для улучшения качества хранения продуктов необходимо точно знать, какие вещества и в каких количествах поглощаются плодом, выводятся наружу, насколько сильно упаковка влияет на эти процессы, в том числе на проникновение бактерий, какова ее проницаемость и прочие параметры, то есть необходимы практические исследования.

Таким образом, создание системы, позволяющей исследовать различные параметры среды и фруктов, находящихся в съедобной биологически разлагаемой упаковке, является актуальной темой исследования.

Такая система позволяет исследовать влияние съедобных полимерных покрытий на процесс хранения фруктов в условиях, приближенных к реальным и в ходе эксперимента установить основные изменения, происходящие с продуктами при длительном хранении. Новизна работы заключается в том, что созданная система позволяет имитировать реальные условия хранения.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы, позволяющей производить практические исследования влияния съедобных полимерных покрытий на процесс хранения фруктов путем измерения процесса обмена фруктом веществами с окружающей средой.

Для достижения цели были поставлены следующие последовательные задачи:

- 1) выбрать и обосновать методику проведения эксперимента;
- 2) разработать систему исходя из предъявляемых к ней в соответствии с условиями проведения эксперимента требованиям;
- 3) произвести тестирование разработанной системы.

В качестве объекта исследования выступают упаковочные покрытия из съедобных полимерных материалов. Предмет исследования – влияние данных покрытий на процесс обмена веществ фруктом с окружающей средой.

Обзор литературы выявил основные преимущества съедобных покрытий:

- 1) улучшают внешний вид, придавая дополнительный блеск поверхности плода;

2) уменьшают потерю веса и сохраняет консистенцию фрукта, чтобы сохранить свежий вид;

3) уменьшает частоту дыхания и выработку этилена, тем самым задерживая старение;

4) выступают в качестве барьера для свободного газообмена;

5) инкапсулируют соединения, антиоксиданты, пигменты, ионы, которые останавливают реакции ферментации, витамины и другие питательные вещества;

6) сокращают использование синтетического упаковочного материала.

Многообразие различных типов съедобных покрытий и их свойств порождает необходимость проведения практических исследований, направленных на уточнение характера влияния на фрукты при хранении. Различные виды овощей и фруктов имеют разные свойства обмена с окружающей средой. Разные виды покрытий также могут значительно изменять эти свойства. Экспериментальная оценка диффузных свойств обработанных фруктов позволит в дальнейшем улучшить характеристики наносимых покрытий. Такая оценка возможна при измерении изменения параметров среды, в которую помещен продукт питания.

Одним из основных таких параметров является газовый состав воздуха. Также важно оценивать интенсивность ферментации (разложения) и высыхания плода, учитывая ряд таких параметров как температура, влажность, яркость и характер освещения и т.д.

Необходимо проведение эксперимента, позволяющего оценивать качественные характеристики съедобных пленок, непосредственно нанесенных на продукт питания и их влияние на этот продукт, путем измерения параметров среды. Был разработан план такого эксперимента, который подразумевает длительное хранение фрукта в закрытом (но не герметичном) пространстве и мониторинг состояния среды, в которой он находится. Это обуславливает требования к автоматизированной системе измерения:

1) необходима камера кубической формы приблизительно 40х40х40 см;

2) необходимо создание внутри камеры требуемого уровня влагосодержания;

3) исследуемый продукт питания помещен в камеру;

4) камера оснащена датчиками температуры и влажности;

5) в камере необходим вход для воздуха с управляемой скоростью на подачу воздуха в камеру, а также воздушный фильтр для очистки от взвеси пыли;

6) необходима возможность измерения содержания в воздухе C_2H_4 (и/или паров C_2H_5OH), CO_2 ;

7) все устройства, датчики и т.п. синхронизированы с микроконтроллером, получать/передавать данные с компьютера.

Мониторинг параметров среды, таких как газовый состав, температура и влажность воздуха позволяют косвенно оценить характеристики съедобных покрытий – благодаря этим показателям будет известно, насколько интенсивно происходят те или иные процессы, в первую очередь, процессы ферментации и высыхания. Условия хранения при этом имитируют реальные, что позволяет объективно оценить реальное влияние покрытий, целесообразность применения тех или иных составов и пр.

Было решено не использовать готовые решения наподобие климатических камер, так как климатические камеры являются, в первую очередь, точными устройствами для определения свойств материалов и объектов в экстремальных или нестандартных условиях внешней среды. Существует отдельный класс климатических камер для проведения испытаний биологических образцов, выращивания определенных культур и т.д., однако в цели работы входит исследование фруктов условиях хранения, приближенных к реальным, с возможностью вентиляции и без необходимости создания каких-либо экстремальных условий хранения. Готовые климатические камеры предлагают весьма широкий функционал, который, однако, оказывается излишним, и, с

учетом высокой стоимости данной продукции, принято решение не использовать подобные изделия.

Разработка системы для исследования влияния съедобных покрытий на процесс хранения фруктов разделена на пять основных этапов. К первому этапу относится разработка конструкции измерительной установки. На данном этапе необходимо выбрать материалы, способы обработки, скрепления деталей, компоновку корпуса, разработать систему впуска и дозирования воздушных масс. На втором этапе необходимо произвести подбор оборудования. На этом этапе необходимо выбрать комплектующие, подобрать измерительное оборудование, исходя из изложенных ранее требований, продумать их подключение и способы обработки сигналов. Третий этап – разработка схемы управления вентиляцией. Четвертый этап включает в себя компоновку электронной части системы в корпусе установки, подключение датчиков и т.д. На пятом этапе производится разработка программного обеспечения (ПО) управляющего микроконтроллера, его тестирование. На этом этапе необходимо протестировать схему в сборе, внести изменения в ПО, при необходимости. В результате разработанную систему необходимо протестировать в сборе, проверить на предмет устойчивой работы в течение длительного времени и оценить достоверность показаний.

В первой части работы была разработана конструкция измерительной установки, представляющая собой прозрачную камеру, имеющую несколько секций для впуска воздуха, увлажнения и смешивания потоков увлажненного и неувлажненного воздуха. Управление скоростью вращения вентиляторов во впускных отверстиях позволяет добиться смешивания двух потоков воздуха с различной влажностью в определенном отношении, необходимым для проведения эксперимента. На рис. 1 показан внешний вид камеры и результат численного моделирования движения воздуха в системе ANSYS.

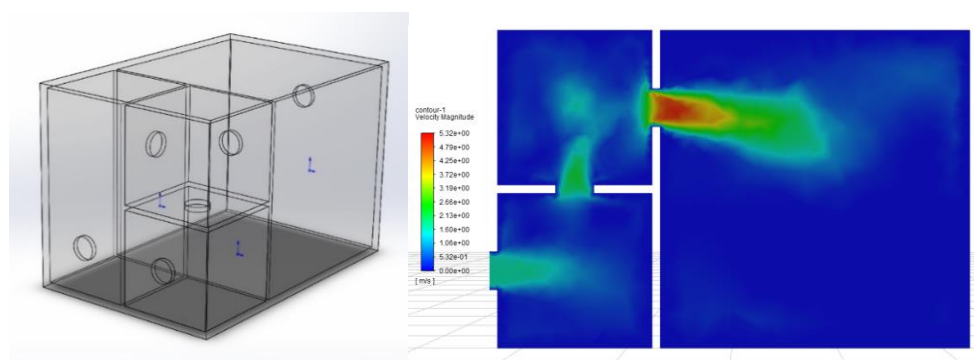


Рис. 1. Внешний вид камеры и результат численного моделирования потоков воздуха

В качестве измерительной системы выбрана аппаратная платформа Arduino, контроллер Atmega 2560 и совместимые модули датчиков температуры и влажности, концентраций углекислого газа и паров спирта. С целью управления оборотами вентиляторов и сбора данных с датчиков разработана схема, представленная на рис. 2.

Во второй части работы схема была протестирована на предмет работоспособности и наличия дрейфа показаний. В ходе проделанной работы на основе информации о свойствах и областях применения съедобных полимерных покрытий и упаковок обоснована необходимость разработки системы для проведения эксперимента по оценке влияния таких покрытий на процесс хранения фруктов. Сформулированы требования к экспериментальной установке и методике проведения эксперимента –

измеряемые параметры, такие как температура, влажность, концентрации CO_2 и паров $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, поддержание рекомендуемого для хранения уровня относительной влажности.

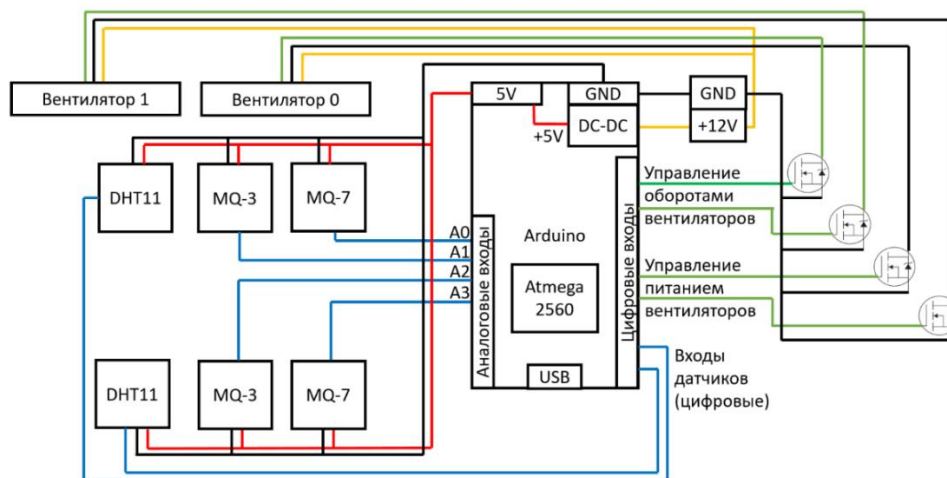


Рис. 2. Схема подключения устройств к контроллеру

Разработана конструкция секционной камеры, в которую помещается исследуемый образец, содержащая несколько дополнительных секций, обеспечивающих предварительное повышение влажности воздуха и смешивание его с потоком поступающего внешнего воздуха в определенном отношении, регулируемом при помощи контроллера. Численное моделирование показало целесообразность использования подобной схемы. Произведена разработка измерительной схемы и электрической схемы управления работой вентиляторов, а также соответствующее ПО микроконтроллера.

Система была протестирована в целях определения ее чувствительности как к измеряемым параметрам, так и к внешним факторам, которые могут стать препятствием для верной интерпретации результатов эксперимента, выявлены особенности работы измерительной электроники, такие как длительное время выхода на установившийся режим и чувствительность к нагреву внешними источниками. Даны соответствующие рекомендации по эксплуатации системы, включающие предварительное включение и защиту от воздействия прямого солнечного излучения.

Разработанная система позволяет произвести практические исследования съедобных покрытий, нанесенных на фрукты или овощи, за счет измерения изменяющихся параметров среды, вызванных поглощением и выделением фруктами влаги, углекислого газа и этилена или спирта. Определение характера изменения этих параметров позволит выяснить фактическое влияние таких покрытий и упаковок на фрукты в реальных условиях хранения и определить дальнейшие пути для их улучшения и изменения, что приведет к созданию более эффективных упаковочных материалов, позволяющих повысить качество продуктов питания и сохранять их пригодными к употреблению в пищу в течение длительного времени.

Литература

1. Винникова Л.Г., Кишеня А.В. Съедобные пленки и покрытия, их роль в качестве упаковки // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2016. С. 32–38.
2. Савицкая Т.А. Съедобные полимерные пленки и покрытия: история вопроса и современное состояние (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2016. № 2 С. 6–36.

Коробова Екатерина Анатольевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42302,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: ea.korobova@mail.ru

Василенок Виктор Леонидович

Год рождения: 1950

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

д.э.н., профессор,

e-mail: fem1421@yandex.ru

УДК 330.146

**МЕТОДЫ ФИНАНСОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Е.А. Коробова

Научный руководитель – д.э.н., профессор В.Л. Василенок

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

Аннотация

В работе проведено исследование методов финансового обеспечения, на основании которого была разработана схема формирования оптимальной структуры капитала проекта, проведена апробация данной схемы на примере проекта «Открытого научно-технического пространства Планетарий №1». Также предьявлена классификация программ поддержки федеральных институтов развития, критериями которой являются задачи, стоящие перед инициаторами проектов, и финансовые решения в рамках каждой из задач.

Ключевые слова

Методы финансового обеспечения, инновационная деятельность, инновационный проект, оптимальная структура капитала, институты развития.

Инновационной деятельности присущи факторы высокой неопределенности и значительного риска, а, значит, в число базовых принципов ее осуществления должен входить принцип множественности методов финансового обеспечения. Исходя из этого можно обозначить проблему выбора наиболее оптимальных методов финансирования, способных обеспечить инновационный процесс на различных стадиях жизненного цикла проекта. Также недостаточно проработанными остаются вопросы преодоления ограниченности финансирования инновационных проектов по созданию таких объектов инновационной инфраструктуры, как креативных кластеров на фоне развития креативных индустрий ускоренными темпами. Это позволяет сформулировать цель исследования – разработка схемы формирования оптимальной структуры капитала проекта по созданию объекта инфраструктуры инновационной деятельности, в частности креативного кластера, основанной на оптимальной комбинации внебюджетных и бюджетных методов финансового обеспечения

Метод финансового обеспечения проектирования в инновационной деятельности

можно определить как способ привлечения финансовых ресурсов в целях финансовой реализуемости инновационного проекта. В рамках исследования выделяются методы финансового обеспечения проекта по созданию инновационной инфраструктуры на разных стадиях жизненного цикла: нераспределенная прибыль, амортизационные отчисления, суммы, выплачиваемые страховыми организациями в виде возмещения ущерба, продажа или сдача в аренду неиспользуемого имущества, средства учредителей, средства бизнес-ангелов, средства венчурных фондов, субсидии, гранты, IPO, ICO/STO, краудинвестинг/ краудфандинг, банковский кредит, кредит с государственным субсидированием процентной ставки, лизинг, облигационный заем, инвестиционный налоговый кредит. Стоимость привлечения в капитал первых четырех методов может быть определена как упущенная выгода от отказа инициаторами проекта от вложения средств на депозит. Использование прибыли в качестве единственного источника финансирования рассматривается как нежелательный процесс, так как результаты инновационной деятельности непредсказуемы и вложение прибыли в долгосрочные проекты может привести к изъятию большого объема финансовых средств из оборота компании.

Прямое государственное финансирование инновационных проектов в России происходит через специальные фонды (институты развития), а также в рамках исполнения национальных проектов и государственных программ в виде грантов. Особенностью данного метода финансового обеспечения является то, что стоимость привлечения грантов в проекты равна нулю. Федеральные институты развития могут оказывать поддержку проектам на протяжении всех его этапов жизненного цикла (рис. 1).



Рис. 1. Основные институты развития бизнеса в разрезе стадий жизненного цикла высокотехнологичного проекта

На данном этапе инновационным компаниям не хватает общей информационной системы, которая бы объединяла все программы поддержки и работала бы в системе «единого окна». При решении проблемы финансового обеспечения инновационного проекта, особенно на этапе его проектирования, предприниматели испытывают трудности в выборе конкретных мер поддержки институтов развития, поэтому предлагается разработать классификацию программ федеральных институтов развития (рис. 2). Типы получателя поддержки были выбраны в соответствии с Московским инновационным кластером. Критериями данной классификации являются задачи, которые стоят перед инновационными проектами и решения в рамках каждой задачи, то есть инициаторам инновационных проектов предлагается определиться с задачей, которая стоит перед ними в рамках решения проблемы финансового обеспечения, затем происходит подбор решения выбранной задачи.

В ходе разработки схемы формирования оптимальной структуры капитала проекта по созданию инфраструктуры инновационной деятельности были выделены

несколько этапов, которые формируются за счет совокупности неких процедур (рис. 3).

Первый этап. Необходимо провести оценку потребностей в объеме инвестиций, то есть определить сумму капитальных затрат и операционных расходов, а также их распределение по стадиям жизненного цикла.

Второй этап. Производится расчет эффективности инновационного проекта. В случае, если $NPV > 0$, то проект можно считать эффективным. В обратном случае, финансовое обеспечение проекта считается нецелесообразным. При расчете экономической эффективности проекта стоит выбрать ставку дисконтирования с учетом поправки за риск.

Третий этап. На основе проведенного исследования условий методов финансового обеспечения выявляются все доступные методы для каждой стадии жизненного цикла проекта по созданию объекта инфраструктуры инновационной деятельности, которые затем группируются в перечень. При этом конкретный вид метода финансового обеспечения «грант» будет определяться по проведенной классификации программ федеральных институтов развития (рис. 2).

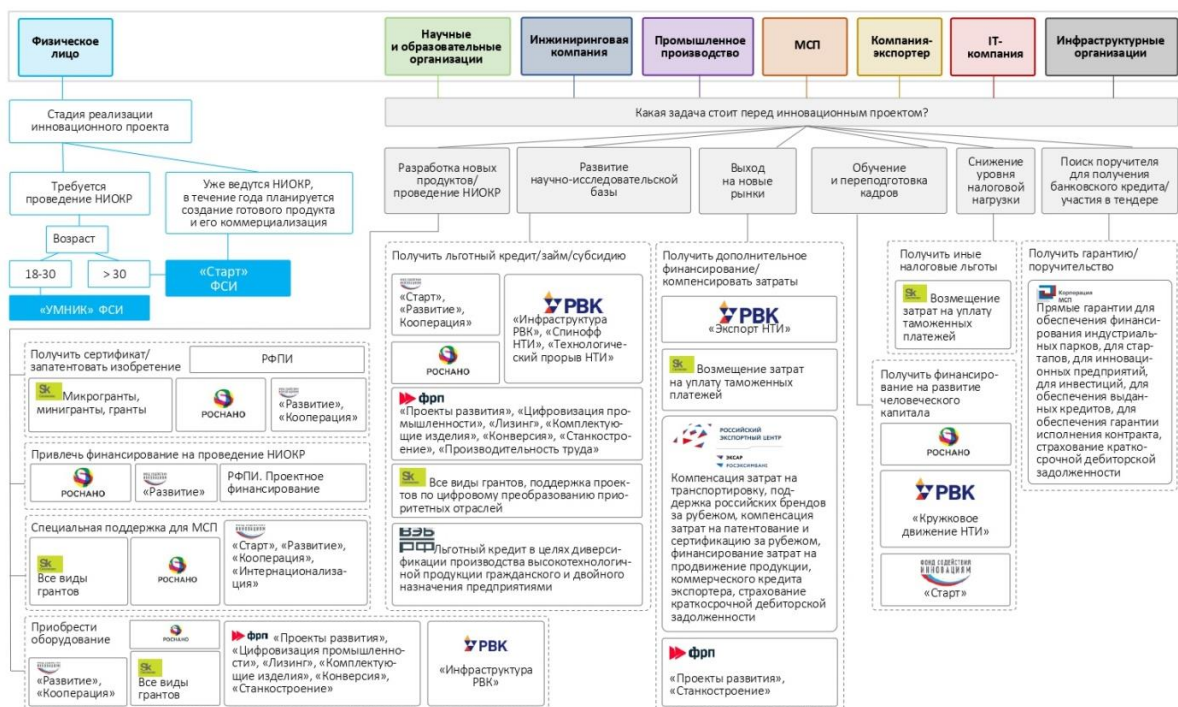


Рис. 2. Классификация программ поддержки федеральных институтов развития

Четвёртый этап. На данном этапе происходит расчет стоимости привлечения возможных методов финансового обеспечения на каждой стадии жизненного цикла проекта.

Пятый этап. Ранжирование методов финансового обеспечения по мере роста стоимости их привлечения. Методу финансового обеспечения с наименьшей стоимостью присваивается первый ранг, то же самое происходит с остальными методами, результаты ранжирования приводятся в виде таблицы.

Шестой этап. Определяется объем привлеченных средств для каждого метода финансового обеспечения проекта.

Седьмой этап. Для метода финансового обеспечения с первым рангом производится расчет его удельного веса в общем объеме финансирования. Далее необходимо сравнить методы финансового обеспечения: если $W_1 \geq W_{\text{общ}}$, то проект

полностью финансируется за счет этого метода, в другом случае рассчитывается удельный вес следующего метода с наименьшей стоимостью привлечения в общем объеме средств. При этом, если $W_2 \geq W_{\text{общ}} - W_2$, то оставшаяся часть проекта финансируется за счет второго метода, в противном случае, процедура повторяется. Ограничением здесь является то, что доля всех привлеченных средств в уставном капитале не может превышать 25%.

Восьмой этап. Определение рациональной структуры капитала инновационного проекта на основе комбинации внебюджетных и бюджетных методов финансового обеспечения. Все методы финансового обеспечения заносятся в таблицу с учетом присвоенного ранга. Финансовое обеспечение стадии жизненного цикла проекта прекращается, в случае положительного остатка денежных средств по одному из методов. Оптимальная структура финансового обеспечения проекта формируется благодаря полученным показателям удельных весов каждого метода.

Апробация разработанной схемы проводилась на примере проекта по созданию креативного кластера в Санкт-Петербурге, а именно на примере проекта «Открытого научно-технического пространства Планетарий №1».

Креативный кластер – это «технопарк» в сфере креативных индустрий, конвертирующий творческую энергию в работающие бизнесы, увеличивающие вклад таких индустрий в валовый продукт города.

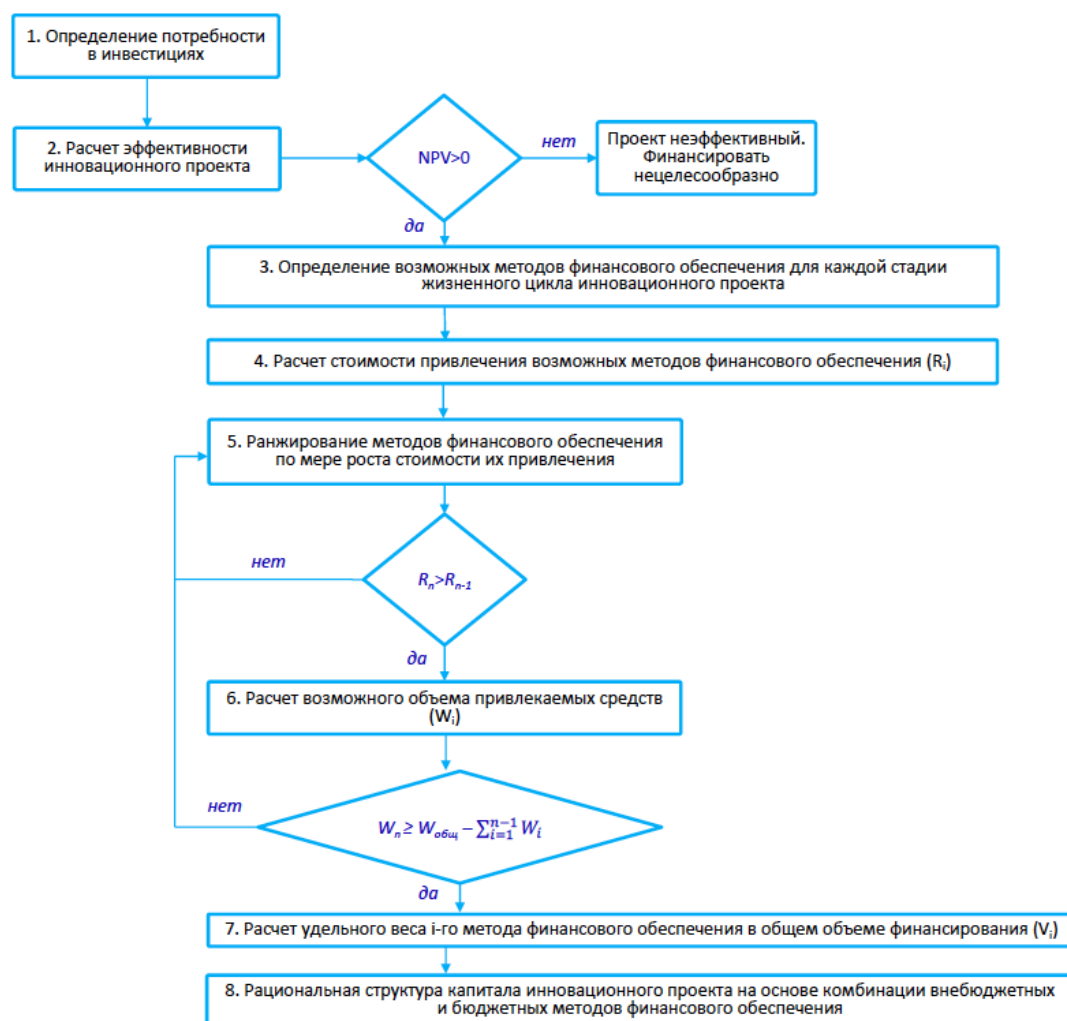


Рис. 3. Схема формирования оптимальной структуры капитала

Сферы, в которых доля занятых интеллектуальным трудом и творчеством превышает 50%, относят к креативным индустриям: искусство и культура, дизайн, медиа и коммуникации, цифровые технологии, образование и наука. [1] Креативный кластер напрямую связан с инновационной деятельностью, поэтому его можно считать объектом инновационной инфраструктуры, при этом стоит отметить, что креативные индустрии в России не выделены в отдельный сектор экономики. В Москве в креативной индустрии работает 0,5 млн человек, это 14% от всех занятых в этой сфере в стране. Креативная индустрия в Москве уже практически догнала по своим объемам и по числу работающих «обычную, классическую» промышленность Москвы, в которой работает около 600 000 человек. [2] В 2018 г. в экономике Москвы и Санкт-Петербурга креативный сектор составляет более 5% ВРП. [3] Особый интерес креативные кластеры представляют с точки зрения методов финансового обеспечения, так как управляющие компании применяют довольно примитивные схемы финансирования, полагаясь лишь на деньги инвесторов.

На данный момент «Планетарий №1» – это креативный кластер в Санкт-Петербурге, который состоит из планетария с самым большим в мире проекционным куполом, инновационной лаборатории «YotaLab», проекционного музея «Люмьер-Холл», а также института передовых технологий «SkyUniversity». Новый проект «Открытого научно-технического пространства Планетарий №1» предполагает расширение территории креативного кластера и создание новых локаций на месте опустевших промышленных территорий. Целью проекта является вовлечение молодежи и взрослых в техническое творчество, предоставление доступного образования и возможности запуска стартапа на базе креативного кластера. Общая площадь для ревитализации составит 10 364 м². Общая стоимость проекта – 2 365 млн руб.

Были выделены основные мероприятия проекта в рамках стадий его жизненного цикла: на начальной стадии (1 281 млн руб.) планируются создание архитектурного проекта, создание генплана и инженерного плана, согласование проекта и подготовка к строительству, строительные работы в здании завода и на прилегающей территории, ремонт и реконструкция, на основной стадии (271 млн руб.) – введение в эксплуатацию, запуск научно-образовательных и культурных проектов (наполнение пространств), аренда помещений резидентами, на завершающей стадии (813 млн руб.) – развитие проекта.

Для формирования оптимальной структуры капитала необходимо провести расчет эффективности проекта. Чистый денежный поток (NPV) составил 701, 46 млн руб., соответственно, финансирование проекта целесообразно. По результатам финансовой модели внутренняя норма доходности проекта (IRR) составит 44%, что выше средневзвешенной процентной ставки по привлеченным кредитными организациями вкладам (депозитам) нефинансовых организаций по депозитам (8,3%). Можно отметить высокую эффективность данного проекта с позиции упущенной выгоды. Также следует принять во внимание показатель индекса рентабельности. При анализе текущего проекта и расчёте индекса рентабельности (PI), итоговое его значение при расчёте на 7 лет составляет 1,29. Ввиду того, что данное значение больше единицы, решение о принятии данного проекта является положительным. Расчет дисконтированного срока окупаемости (DPP) в модели, построенной на 7 лет, показал, что проект выйдет на окупаемость через 4 года 5 месяцев.

Для первых двух стадий жизненного цикла проекта были определены возможные методы финансового обеспечения. На начальной стадии жизненного цикла проекта такие методы финансового обеспечения, как «амортизационный фонд», «средства учредителей», «страховые выплаты», «продажа или сдача в аренду неиспользуемого имущества», «облигационный займ» невозможно использовать, также как и метод

финансового обеспечения «бюджетные ассигнования и средства внебюджетных фондов», так как концепция проекта не подходит ни под одну целевую федеральную программу или же региональную государственную программу/проект, которая реализуется на территории г. Санкт-Петербург. Метод «краудинвестинг» не рекомендуется использовать в связи с долгим привлечением средств в проект, а также с особенностью самого метода – в основном поддерживаются короткие по времени реализации проекты, имеющие осязаемый результат. Метод финансового обеспечения «ICO/STO» также не рекомендуется к применению из-за обрушения рынка ICO в 2018 г. и отсутствия практики использования STO в России.

С помощью разработанной классификации программ поддержки институтов развития (рис. 3) были выбраны следующие виды поддержки: грант по программе ФСИ «Развитие-НТИ» (20 млн руб.); государственное субсидирование процентной ставки по кредиту по программе «Кружковое движение НТИ» от РВК (163,4 млн руб.), так как проект удовлетворяет двум условиям программы: решает вопрос с недостатком квалифицированных кадров в долгосрочной перспективе, создает новые форматы развития инженерно-технических компетенций у молодежи.

На основной стадии жизненного цикла проекта использование таких методов финансового обеспечения, как «средства учредителей», «амортизационный фонд», «страховые выплаты», «продажа или сдача в аренду неиспользуемого имущества», «бюджетные ассигнования и средства внебюджетных фондов», «краудинвестинг», «ICO/STO», «средств бизнес-ангелов», «средств венчурных фондов» не предоставляется возможным. Метод финансового обеспечения «грант» был использован полностью на предыдущем этапе. Метод «облигационный займ» также недоступен из-за недостаточных объемов доходов, генерируемых проектом. Стоит отметить, что на данном этапе проект выходит на самоокупаемость, поэтому на следующей стадии жизненного цикла проект будет финансироваться только с помощью метода «нераспределенная прибыль».

С 4 по 8 этапы схемы формирования оптимальной структуры капитала можно представить в виде таблицы для начальной и основной стадий жизненного цикла проекта (таб. 1 и 2).

Средневзвешенная структура капитала с рассмотренными выше методами финансового обеспечения составит 7,45%.

Таблица 1

Определение оптимальной структуры капитала начальной стадии жизненного цикла проекта

Метод финансового обеспечения	Стоимость привлечения, %	Ранг	Метод финансового обеспечения	Грант	Инвестиционный налоговый кредит	Нераспределенная прибыль	Банковский кредит с государственным субсидированием процентной ставки
Грант	0,00	1					
Нераспределенная прибыль	8,11	3					
Налоговый инвестиционный кредит	2,8	2	$W_{\text{общ}}$, руб	20 000 000	73 830 000	590 610 000	721 590 000
			W_i , руб.	16 000 000	73 830 000	590 610 000	600 560 000
			v_i , %	1,25	5,76%	46,15%	46,88%
Банковский кредит с государственным субсидированием процентной ставки	15,18	4	Остаток, руб.	0	0	0	121 030 000

Таблица 2

Определение оптимальной структуры капитала основной стадии жизненного цикла

Метод финансового обеспечения	Стоимость привлечения, %	Ранг	Метод финансового обеспечения	Инвестиционный налоговый кредит	Банковский кредит с государственным субсидированием процентной ставки	Нераспределенная прибыль	Лизинг
Лизинг	21,37	4					
Нераспределенная прибыль	7,4	3	$W_{\text{общ}}$, руб.	58 770 000	121 030 000	399 210 000	0
Банковский кредит с государственным субсидированием процентной ставки	6,12	2	W_i , руб.	58 770 000	121 030 000	91 581 000	0
			v_i , %	21,66%	44,60%	33,74%	0
Инвестиционный налоговый кредит	2,8	1	Остаток, руб.	0	0	307 629 000	0

Первоначальная структура капитала, которая рассматривалась к внедрению инициаторами проекта, состояла из двух методов (нераспределённая прибыль – 69,49%, банковский кредит с государственным субсидированием процентной ставки – 30,51%). При использовании только этих двух методов финансового обеспечения средневзвешенная структура капитала составила бы 8,6% (таб. 3).

Таблица 3

Сравнение исходной и оптимальной структуры капитала

Исходная структура капитала		Оптимальная структура капитала	
Метод финансового обеспечения	Стоимость привлечения, %	Метод финансового обеспечения	Стоимость привлечения, %
Банковский кредит с государственным субсидированием процентной ставки	30,51	Грант	1,25
		Инвестиционный налоговый кредит	5,82
Нераспределенная прибыль	69,49	Банковский кредит с государственным субсидированием процентной ставки	30,51
		Нераспределенная прибыль	62,42
WACC = 8,6%		WACC = 7,45%	

Эффективность предложенной оптимальной структуры финансового обеспечения проекта по сравнению с первоначальной структурой, предложенной инициаторами проекта, составила 13,37%, что свидетельствует о результативности разработанной схемы формирования оптимальной структуры капитала для проекта по созданию объекта инфраструктуры инновационной деятельности.

Литература

1. Сносить нельзя ревитализировать. Практическое пособие руководство по созданию креативного кластера. 2019. URL: https://100gorodov.ru/attachments/1/32/cf719d-998c-4619-bdfa-b28a94083d33/Практическое_руководство_по_созданию.pdf (дата обращения: 15.10.2019).
2. Что такое креативные индустрии? URL: <https://www.rbc.ru/trends/innovation/> (дата обращения: 15.10.2019).
3. Индекс креативного капитала. Официальный сайт исследования. URL: <http://creativecapitalindex.com> (дата обращения: 02.05.2020).

Котосов Сергей Владимирович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42552,

направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника,

e-mail: rimineiro24@gmail.com

Авксентьева Елена Юрьевна

Год рождения: 1981

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.п.н., доцент,

e-mail: avks@limtu.ru

УДК 004.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

С.В. Котосов

Научный руководитель – к.п.н., доцент Е.Ю. Авксентьева

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование применения методов искусственного интеллекта в образовательном процессе».

Аннотация

В этой статье описаны некоторые способы использования методов искусственного интеллекта (ИИ) в образовательном процессе. Был проведен анализ существующих исследований и решений, и на основе полученных результатов был предложен способ внедрения метода искусственного интеллекта в качестве помощника чат-бота на основе машинного обучения.

Ключевые слова

Искусственный интеллект, машинное обучение, чат-бот, обработка естественного языка, образование.

В настоящее время различные элементы искусственного интеллекта (ИИ) активно внедряются на разных платформах и сервисах, в том числе и образовательных. За последние 10 лет в электронной информационно-образовательной среде произошло множество качественных изменений. Развитие Интернета, социальных сетей, информационных технологий, в том числе и в области искусственного интеллекта привели к тому, что крайне необходимо улучшать и развивать процессы обучения с помощью внедрения передовых развивающихся технологий, чтобы улучшать качество получаемых знаний. Использование различных элементов искусственного интеллекта в образовании позволит меньше задействовать преподавателей, и одновременно помочь им автоматизировать и систематизировать процессы сбора, обработки и анализа информации. Поэтому, можно сделать вывод, что актуальность выбранной темы не вызывает сомнений.

Подтверждение этому можно найти в текстах Указа Президента РФ от 10.10.2019 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [1], а также «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» [2], где приводятся цели, задачи и приоритетные направления развития и области

использования данных технологий.

Один из пунктов Стратегии затрагивает тему повышения качества услуг в сфере образования с помощью методов искусственного интеллекта, а именно автоматизацию оценки качества знаний, анализ показателей эффективности обучения и т.д., что говорит о возможности удачного применения и о работающих практических реализациях данных технологий в образовательном процессе.

В процессе выполнения работы был проведен обзор существующих решений и исследований в области применения методов искусственного интеллекта в образовании.

Согласно [3], можно выделить следующую классификацию образовательных систем, которые используют машинное обучение:

1. Оценка учеников.

Подобные системы, основанные на машинном обучении, могут оценивать студентов, при этом оценки не зависят от человеческого фактора (честное оценивание).

2. Увеличение количества студентов.

Основная идея таких систем заключается в том, что анализируя результаты студентов, можно выявить тех, кто показывает не самые лучшие результаты и «находится в группе риска», после чего сигнализировать преподавателю.

3. Прогнозирование успеваемости учащихся.

Эти системы показывают, насколько основным преимуществом машинного обучения является его способность прогнозировать успеваемость учащихся.

Машинное обучение – это лишь одна из областей искусственного интеллекта, поэтому применение его в образовании не ограничивается на этом. Другим примером могут являться системы-наставники, главная идея которых «моделирование знаний и мотивации студентов, а также адаптация заданий к их индивидуальным потребностям». [4] Такие системы получают ответы студентов и реагируют на них обратной связью, помогая прийти к верному ответу. Можно сказать, что подобные системы – это интеллектуальная «система-репетитор».

Такие системы реализуют собой адаптивное или персонализированное обучение – учебный процесс оптимизирован для каждого учащегося индивидуально, а при составлении учебной программы учитываются пожелания и интересы студента. Искусственный интеллект способен подстраиваться под уровень знаний учащегося, и со временем изменять сложность подаваемого материала. Таким образом, все студенты курса смогут комфортно обучаться по индивидуальным планам и никак не зависеть от уровня знаний других учащихся.

Среди аналогов можно выделить:

- систему Knewton – специальную платформу адаптивного обучения, которая дает советы студентам, основываясь на их собственном стиле обучения, и предлагает материалы индивидуально для каждого;

- AutoTutor – интеллектуальная система обучения, которая ведет разговор с пользователем на естественном языке [5];

- проект AltSchool – учебное заведение, в котором главным принципом организации образовательного процесса является персонализация курса для каждого ученика с помощью технологий и методов искусственного интеллекта.

Традиционные высшие учебные заведения за счет отсутствия действенных механизмов сбора информации не имеют достаточного объема данных о реальной ситуации образовательного процесса. Как итог, студенты получают меньше отзывов о своей учебе, часто отсутствует индивидуальный подход к студенту, обратная связь с преподавателем, поддержка необходимой мотивации. Преподаватели же получают меньше отзывов о методах преподавания, об успешности которых часто судят по

оценкам студентов. Однако, в последние годы активно внедряются в образовательный процесс системы управления образованием (LMS) и массовые открытые онлайн курсы (MOOC), что позволяет заполнить этот пробел.

Роль методов искусственного интеллекта в данных системах достаточно важна – это инструмент для сбора, анализа и визуализации всех данных, например, о взаимодействии студента с системой: количество просмотренных страниц с материалами, количество затраченного времени и т.д.

Анализ данных накапливаемых данных будет полезен для каждого участника образовательного процесса, что нетрудно заметить на схеме взаимодействия с системой управления образования, изображенной на рис. 1.

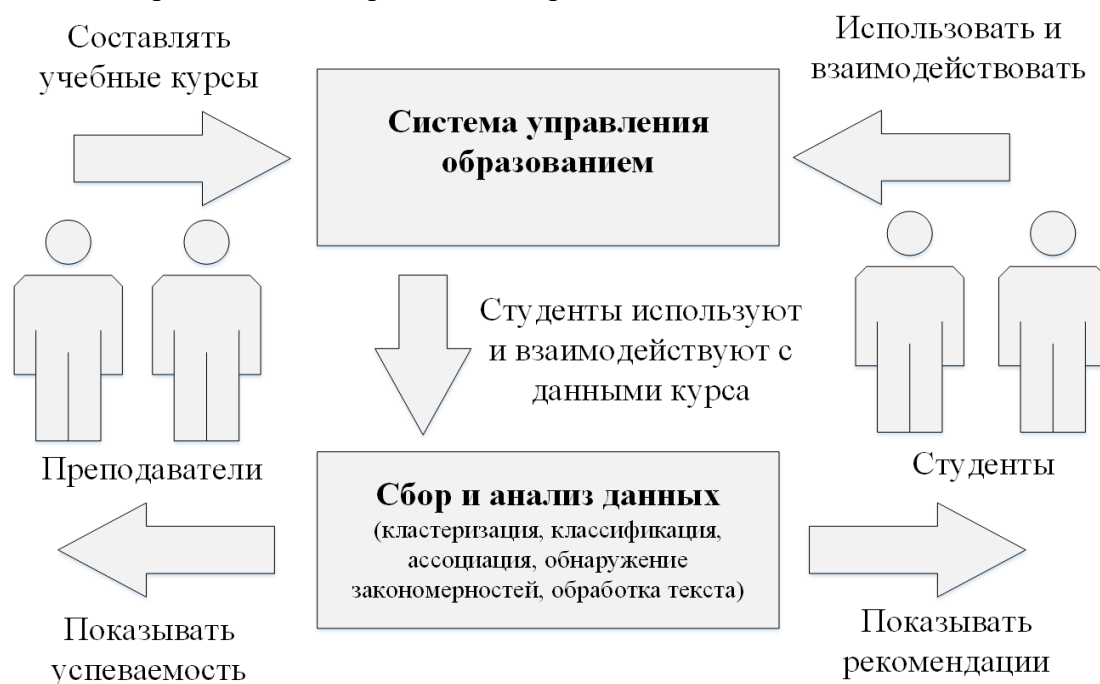


Рис. 1. Схема взаимодействия с системой управления образованием

Студенты взаимодействуют с учебными курсами, составленные преподавателями. В процессе взаимодействия накапливаются данные об успеваемости и участии студентов в процессе обучения, об учебных планах. Далее с помощью методов искусственного интеллекта решаются задачи классификации и кластеризации, и участники образовательного процесса получают обратную связь в виде рекомендаций по улучшению деятельности [6].

Концепция внедрения в повседневную жизнь человека виртуального помощника, некую диалоговую систему, к которой можно было бы обратиться по необходимому вопросу, не является научной новинкой и используется уже давно, самые известные – голосовые помощники Siri, Cortana. Чат-бот – это программа, чаще всего основанная на таких методах искусственного интеллекта, как машинное обучение и нейронные сети, главной целью которой является имитация человеческого общения [7].

При обращении к программе пользователь получает обратную связь в зависимости от содержания запроса, функционала и объема базы знаний. Общение может идти как по заранее заложенным правилам и командам, так и на естественном языке.

Функциональные возможности таких помощников достаточно велики:

- поиск, сбор и анализ информации,

- автоматизация различных стандартных повторяющихся процессов,
- техническая поддержка.

Следует отметить, что подобная система выступает не в качестве «репетитора», как в случае адаптивных систем обучения, а как личный помощник в образовании студента.

Тем не менее, при обзоре литературы, идея использования чат-бота с элементами искусственного интеллекта в образовании не находит должного внимания, несмотря на то, что данная сфера достаточно перспективная по нескольким причинам [8]:

- наличие в сфере образования большого объема данных, который сможет значительно расти в процессе использования, что позволит построенным моделям с искусственным интеллектом качественно обучаться и увеличивать качество предоставляемой информации,
- активное развитие и поддержка чат-ботов в других сферах деятельности.

Стоит отметить несколько чат-ботов, уже работающих в образовательной сфере, результат сравнения которых и разрабатываемой модели приведен в таблице. Разрабатываемый виртуальный помощник позволит: общаться с системой, используя естественный язык; быстро получать необходимую информацию по запросу в форме дополнительных материалов и лекций.

Таблица

Сравнение чат-ботов

Название чат-бота	Критерии сравнения			
	Предназначение	Ведение разговора	Потенциал использования в образовательной системе	Функция шпаргалки
AndyRobot	Изучение английского языка	+	+	+
Mybookbot	Рекомендация книг	–	±	–
Wikipedia_voice_bot	Поиск статей Википедии	–	–	+
TeflBot	Изучение английского языка	–	–	–
Japandictbot	Изучение японского языка	–	±	+
Ucheba_bot	Поиск ВУЗов и колледжей	–	–	+
Разрабатываемая модель	Получение лекций и материалов	+	+	+

Анализ сравнения чат-ботов показывает, что большая часть из существующих ботов предназначены для изучения языков, не могут вести разговор с пользователем на естественном языке, а также не обладают достаточным потенциалом использования в образовательной системе, поэтому разработка собственной модели выглядит достаточно перспективно.

В качестве языка для разработки был выбран высокоуровневый язык программирования Python, так как он традиционно используется в задачах с

использованием методов искусственного интеллекта. Использование Python для данных задач упрощает процесс создания чат-бота, сокращает количество кода.

Для реализации интеллектуальной составляющей данного чат-бота была выбрана платформа для создания чат-ботов с применением искусственного интеллекта Dialogflow от компании Google. Данная платформа поддерживает обработку русского языка, а также позволяет выбирать функции бота, обрабатывать логику поведения и распознавать контекст сообщений. Создание бота происходит в три этапа: задание логики работы и заполнение базы знаний для обучения; соединение с веб-сервисом, запуск в эксплуатацию.

В качестве веб-сервиса для размещения чат-бота был выбран мессенджер Telegram. Причинами выбора стали:

- Одна из самых быстрорастущих площадок для коммуникации.
- Удобное API и наличие большого числа библиотек для взаимодействия.
- Простота создания чат-бота.

Используемые методы искусственного интеллекта тестировались в мессенджере Telegram, однако, в дальнейшем вполне возможно интегрировать разработанного чат-бота на платформы LMS и MOOK для консультирования о предоставляемых курсах и подбора наиболее подходящих для каждого пользователя, для напоминания о незаконченном процессе обучения.

Коммуникация с чат-ботом осуществляется посредством сбора и анализа отправленных пользователем сообщений. Основой алгоритма являются запросы от пользователя. Архитектура разработанной системы приведена на рис. 2.

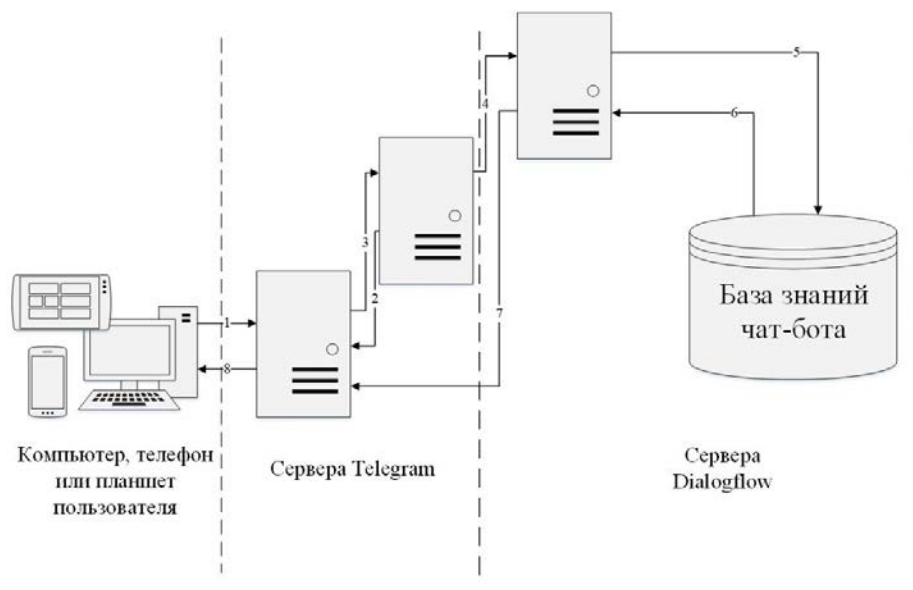


Рис. 2. Архитектура чат-бота

Взаимодействие проходит в несколько этапов:

1. Пользователь отправляет сообщение разработанному чат-боту.
- 2-3. Сервер чат-бота проверяет наличие непрочитанных сообщений от пользователей, при наличии таковых загружает полученные данные для последующего анализа.
- 4-5. Данные отправляются на сервера Dialogflow – интеллектуальной составляющей данной системы, где собираются и анализируются. После выделения ключевых слов посылается запрос к базе знаний чат-бота, для определения корректного ответа.

6. Загрузка ответа для пользователя.
 7. Обращение к серверам Telegram для отправки ответного сообщения пользователю.
 8. Получение и просмотр пользователем отправленного чат-ботом сообщения.
- Пример тестирования чат-бота представлен на рис. 3, пользователь задает вопрос чат-боту о содержании курса и просит отправить его первую лекцию о введении в распределенные вычислительные системы.

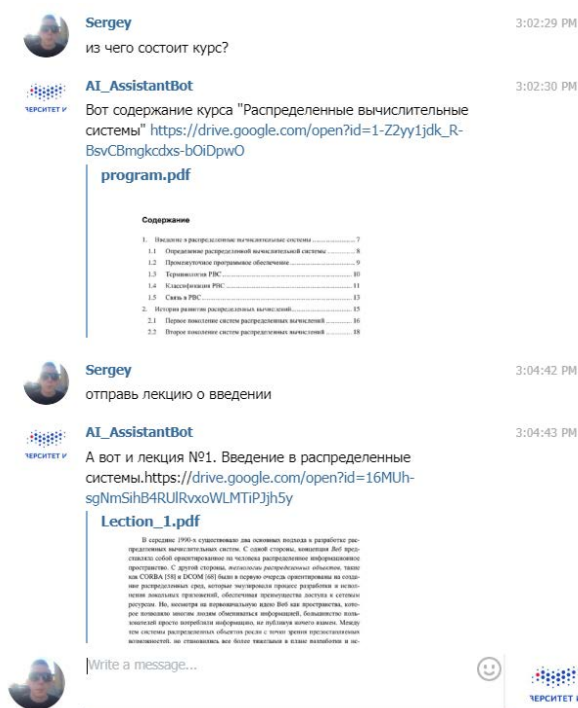


Рис. 3. Запрос содержания и первой лекции курса

Подводя итоги разработки модели чат-бота с использованием методов искусственного интеллекта можно выделить достоинства и недостатки построенной модели.

Среди достоинств необходимо отметить:

- общение с пользователем на естественном языке и понимание контекста его фраз в рамках заданной области;
- возможность для отправки пользователям учебных материалов и доступность в любое время суток;
- простота в обучении и переобучении модели;
- способность к дальнейшему функциональному развитию и усложнению.

Однако, стоит выделить и некоторые недостатки. К ним можно отнести:

- чат-бот может давать некорректные ответы пользователю, что возможно исправить в процессе дополнительного обучения, указывая модели на неправильные ответы.
- требует технической поддержки и загрузки в него информации от преподавателя или администратора;
- реализация с помощью сторонних сервисов вызывает зависимость от их доступности.

Хотелось бы заметить, что некоторые функциональные недостатки могут быть исправлены при продолжении данной разработки.

Подводя итоги, можно сказать, что введение элементов ИИ в образовательный процесс. несомненно играет очень важную роль, что подтверждается многими актуальными исследованиями и уже внедренными решениями в этой области.

В работе проведен анализ технологии чат-бота с использованием искусственного интеллекта, представлены их функциональные возможности и классификация. Разработана и построена возможная модель применения чат-бота в образовательном процессе. Представлена архитектура разработанной модели и принципы взаимодействия между компонентами системы.

Автором работы заполнена база ответов чат-бота, написан программный код для обращения к API Telegram и Dialogflow, описан процесс реализации и настройки чат-бота, проведено тестирование, выявлены достоинства и недостатки.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации о развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/942772dce30cfa36b671bcf19ca928e4d698a928/ (дата обращения 12.04.2020).
2. Национальная Стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/1f32224a00901db9cf44793e9a5e35567a4212c7/#dst100016 (дата обращения 12.04.2020).
3. Kucak D., Juricic V., Dambic G.: Machine learning in education - a survey of current research trends // 29 th Annals of DAAAM & Proceedings. 2018. P. 406–410.
4. Ma W.: Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis // Journal of Educational Psychology. V. 106. №4. P. 901–918.
5. Al Emran M., Shaalan K.: A survey of intelligent language tutoring systems // 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI. 2014. P. 393–399.
6. Romero C., Ventura S. Educational data mining: A survey from 1995 to 2005 // Expert Syst. Appl. 2007. Vol. 33. No. 1. P.135 – 146.
7. Киреева Н.А., Родионов А.С., Фархутдинов Р.И., Хусаинов И.Р. Чат-бот как новое средство интерактивного обучения // Матер. 45-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов: в 2-х т. / отв. ред. В.Ш. Мухаметшин; Т.2. Уфа: Изд-во УГНТУ. 2018. С. 149 -150.
8. Ахметова О.В., Левина Т.М., Родионов А.С. Экспертные системы: учебное пособие. Уфа: УГНТУ. 2014. 58 с.

Кузнецова Екатерина Александровна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42411,

направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах,

e-mail: katyakudnezowa10121996@gmail.com

Николаев Николай Анатольевич

Год рождения: 1978

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н.,

e-mail: nikona@yandex.ru

УДК 519.714

**СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ
УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Е.А. Кузнецова

Научный руководитель – к.т.н. Н.А. Николаев

Аннотация

В работе рассматривается вопрос разработки системы управления устройством, предназначенным для контроля качества нефтепродукта. Предложенная система состоит из стакана с исследуемым нефтепродуктом, температура которого изменяется посредством управления термоэлектрическим модулем, что позволяет производить нагрев нефтепродукта с желаемой скоростью, его охлаждение, а также поддержание заданного значения температуры.

Ключевые слова

Система управления, элемент Пельтье, регулятор, нефтепродукт, контроль качества.

Исходной качественной характеристикой нефтепродукта является совокупность его свойств, отличающая его от других веществ. Один из основных способов оценки качества нефтепродукта заключается непосредственно в нагревании продукта контроля [1]. В данной работе анализируется система, осуществляющая контроль термической стабильности термоокислительных процессов смазочных материалов за счет их нагрева в присутствии воздуха, с последующим определением параметров оценки процесса окисления. Параметром оценки здесь выступает оптическая плотность смазочного материала, над которым производится испытание, она определяется перед и в процессе нагрева фотометрированием. Анализируемая система (устройство) относится к измерительной технике и отличается способностью получить дополнительную информацию по термоокислительной стабильности смазочных материалов. Система позволяет определить температуру начала окисления смазочных материалов, скорости образования растворимых и нерастворимых примесей, а также подойдет для разработки новых масел и присадок к ним [2].

Математическая модель

В работе рассматривается система, состоящая из сосуда с нефтепродуктом, который установлен на термоэлектрический модуль (элемент Пельтье). Данная конструкция позволяет производить нагрев и охлаждение нефтепродукта в

соответствии с требуемым графиком изменения за счет физических свойств элемента Пельтье, поверхность которого может нагреваться и охлаждаться в зависимости от направления тока, протекающего через него [3].

Предлагаемая в настоящей работе система управления температурой в системе контроля качества нефтепродуктов представлена на структурной схеме рис. 1.

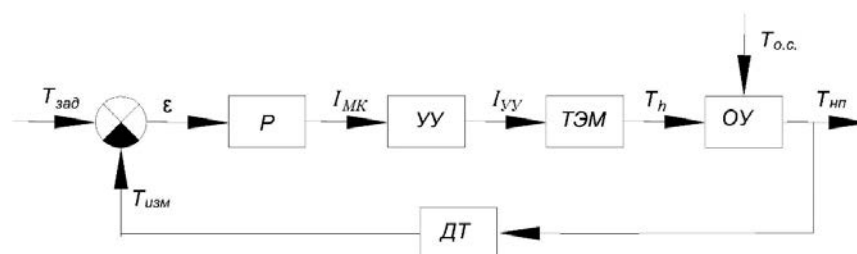


Рис. 1. Структурная схема регулирования температуры нефтепродукта

На схеме представлены: устройство сравнения, Р – регулятор, УУ – устройство усиления, ТЭМ – термоэлектрический модуль (исполнительный механизм), ОУ – объект управления, включающий в себя химический стакан – СТ с помещенным в него нефтепродуктом – НП, ДТ – датчик температуры.

В сосуде с нефтепродуктом находится датчик ДТ, который измеряет температуру нефтепродукта и передает ее на УС (микроконтроллер), которое сравнивает измеренное значение температуры $T_{изм}$ с заданным (желаемым) $T_{зад}$. В зависимости от разности между заданным и измеренными значениями температуры регулятор Р вырабатывает сигнал воздействующий на исполнительный механизм ТЭМ. Элемент Пельтье нагревается или охлаждается до температуры, при которой ошибка ε будет стремиться к нулю (1).

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon = \lim_{t \rightarrow \infty} (T_{зад} - T_{изм}) = 0 \quad (1)$$

Для получения математической модели системы рассматриваются уравнения теплового баланса системы [4-7].

Математическая модель элемента Пельтье (ТЭМ)

Модуль Пельтье в исследуемой системе контроля качества выступает в качестве исполнительного механизма, который преобразует входной (предварительно усиленный) ток $I_{уу}$ в тепло. Система уравнений (2), описывающая процесс изменения температуры на каждой (T_h – горячей, T_c – холодной) из сторон термоэлектрического модуля представлена ниже.

$$\begin{aligned} T_h &= \frac{1}{s} \cdot \frac{\alpha I T_h}{C_h} + \frac{1}{s} \cdot \frac{0,5 I^2 R_{ЭП}}{C_h} + \frac{1}{s} \cdot \frac{\gamma (T_c - T_h)}{C_h}, \\ T_c &= -\frac{1}{s} \cdot \frac{\alpha I T_c}{C_c} + \frac{1}{s} \cdot \frac{0,5 I^2 R_{ЭП}}{C_c} - \frac{1}{s} \cdot \frac{\gamma (T_c - T_h)}{C_c} \end{aligned} \quad (2)$$

где α – коэффициент Зеебека; $I_{уу}$ – сила тока, протекающего через термоэлектрический модуль (который подается на ТЭМ от микроконтроллера через устройство усиления); T_h – температура горячей стороны ТЭМ; T_c – температура холодной стороны ТЭМ; $R_{ЭП}$ – электрическое сопротивление; γ – термическая проводимость; C_h – теплоемкость горячей стороны термоэлектрического модуля; C_c – теплоемкость холодной стороны термоэлектрического модуля.

Математическая модель объекта управления (ёмкости с нефтепродуктом)

В качестве объекта управления (ОУ) в системе выступает нефтепродукт, температура которого регулируется. Входным воздействием в ОУ выступает температура горячей стороны ТЭМ T_h . Ниже представлено уравнение (3) описывающее процесс нагрева (охлаждения) НП с учетом физико-химических свойств выбранного смазочного материала, физических свойств и габаритных размеров стакана (куда помещен НП), а также потерь, зависящих от свойств окружающей среды, которые выступают в качестве возмущающего воздействия $T_{o.c.}$.

$$T_{нп} = \frac{1}{s} \cdot \frac{F_{дн} \cdot (T_h - T_{нп})}{m \cdot C_{нп} \cdot \left(\frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{нп}} \right)} - \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot h_{нп} \cdot (T_{нп} - T_{o.c.})}{m \cdot C_{нп} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{нп} d_1} + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_{o.c.} d_2} \right)} - \frac{1}{s} \cdot \frac{\sigma_0 \cdot \varepsilon_{пр} [T_{нп}^4 - T_{o.c.}^4] \cdot F_{кр}}{m \cdot C_{нп}} \quad (3)$$

где $C_{нп}$ – удельная теплоемкость нефтепродукта; $F_{дн}$ – площадь дна сосуда; T_h – температура наружной стенки сосуда, равная температуре горячей стороны термоэлектрического модуля; $T_{нп}$ – температура нефтепродукта; δ – толщина стенки (дна сосуда); $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки; $\alpha_{нп}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи от дна сосуда к исследуемой жидкости; $h_{нп}$ – поверхность теплообмена высота стакана; $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды, воздуха вокруг сосуда; $\alpha_{нп}$ – коэффициент теплоотдачи от исследуемой жидкости к поверхности стенок сосуда; $\alpha_{o.c.}$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности стенок сосуда в окружающую среду; d_1 – диаметр внутренней стенки сосуда; d_2 – диаметр внешней стенки сосуда; σ_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $\varepsilon_{пр}$ – приведенная степень черноты, зависящая от свойств излучающей среды и поверхности и выраженная в долях от степени черноты абсолютно черного тела, принимаемой за единицу.

Математическая модель датчика температур погружного типа с одним чувствительным элементом

Датчик температуры преобразует температуру в токовый сигнал и передает его на МК. Так как ДТ имеет свои конструкционные особенности и физические свойства, то измеренная им температура отличается от реальной температуры НП ($T_{изм} \neq T_{нп}$) и равняется температуре на чувствительном элементе ДТ ($T_{изм} = T_{чэ}$). Из этих соображений, на основании тепловых процессов, происходящих в ДТ, была составлена система уравнений (4), описывающая изменение температуры на ЧЭ.

$$\begin{aligned} T_{чэ} &= -\frac{1}{s} \frac{(T_{чэ} - T_{дт})}{C_{чэ} R_{дт}}, \\ T_{дт} &= \frac{1}{s} \frac{(T_{чэ} - T_{дт})}{C_{дт} R_{дт}} - \frac{1}{s} \frac{\alpha_{дт} (T_{дт} - T_{нп})}{C_{дт}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $C_{чэ}$ – теплоемкость чувствительного элемента датчика; $C_{дт}$ – теплоемкость оставшейся части датчика; $T_{чэ}$ – температура чувствительного элемента датчика; $T_{дт}$ – температура оставшейся части датчика; $T_{нп}$ – температура нефтепродукта (среды, в которую помещен датчик); $\alpha_{дт}$ – полный коэффициент теплоотдачи или конвективной теплоотдачи; $R_{дт}$ – термическое сопротивление стенки.

Математическое моделирование

Исследуемое устройство контроля качества нефтепродуктов предназначено для лабораторных исследований, которые производится как правило в административно-бытовых корпусах предприятий. Согласно ГОСТ 30494-2011 температура в

помещениях относящихся ко 2-й категории может отклоняться от оптимальной на $\pm 2^\circ\text{C}$ [8]. Температура окружающей систему среды выступает в качестве возмущающего воздействия. Она изменяет свои значения в моменты времени 90, 150, 300 минут на $\pm 2^\circ\text{C}$.

В ходе анализа источников, а также в процессе численного моделирования было выявлено, что для систем контроля качества желаемое поведение системы обеспечивает ПИД-регулятор.

На рис. 2-4 представлены результаты моделирования системы управления температурой в системе контроля качества нефтепродуктов. В качестве исполнительного устройства в системе выступает элемент Пельтье типа ТВ-253-1,4-1,5R. В химическом стакане из кварцевого стекла типа НБН-200 находится исследуемый нефтепродукт (трансформаторное масло, масло МК, масло МС-20). Датчика температуры типа ДТС014-100М.А3.25/0,2 погружен в нефтепродукт на глубину 0,025 м, что соответствует длине монтажной части датчика, а также микроконтроллера и устройства усиления тока.

В таб. 1. представлены численные значения параметров системы. Физические свойства исследуемых нефтепродуктов представлены в таб. 2.

Таблица 1

Численные значения параметров системы

Переменные	Значение	Единица измерения
α	0,081	В/К
γ	2,1	Вт/К
$R_{ЭП}$	1,25	Ом
C_h	45	Дж/К
C_c	276	Дж/К
$C_{дт}$	397	Дж/К
$C_{чз}$	400	Дж/К
$\alpha_{дт}$	128	Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)
$\alpha_{ос}$	8,7	Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)
$T_{нач}$	293,15	К
$F_{дн}$	0,003	м^2
$h_{нп}$	0,007	м

Таблица 2

Физические свойства исследуемых нефтепродуктов

Нефтепродукт	$\frac{C_{нп},}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$m_{нп},$ кг	$\frac{\alpha_{нп},}{\text{Вт}}$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\frac{R_{дн},}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$\frac{R_{ст},}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$\frac{R_{дт},}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
Трансформаторное масло	1.666	0.183	127	0.008632	1.966	3.532
Масло МК	1.712	0.185	57	0.0183	2.124	5.95
Масло МС-20	2.043	0,1829	25	0.04076	2.492	11.56

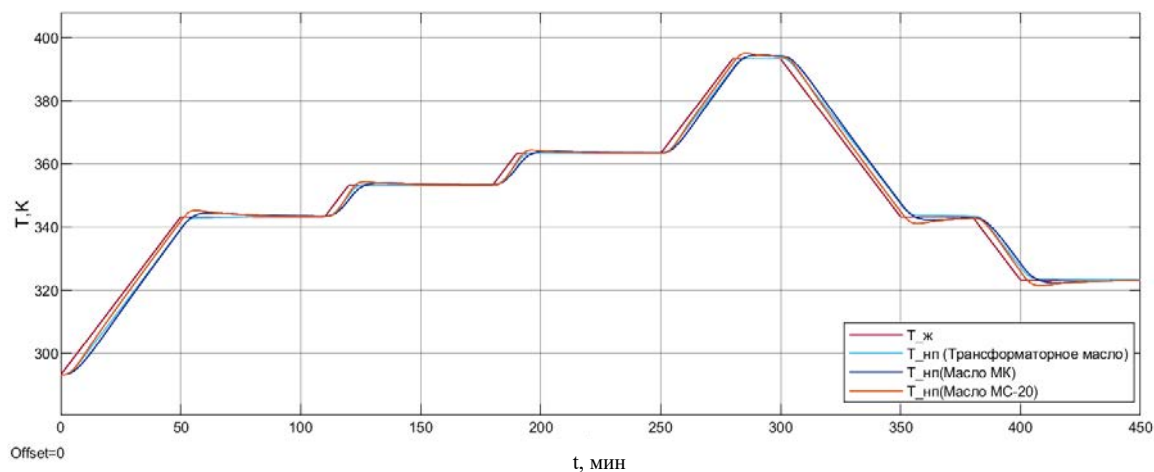


Рис. 2. График желаемой и измеренных температур нефтепродуктов

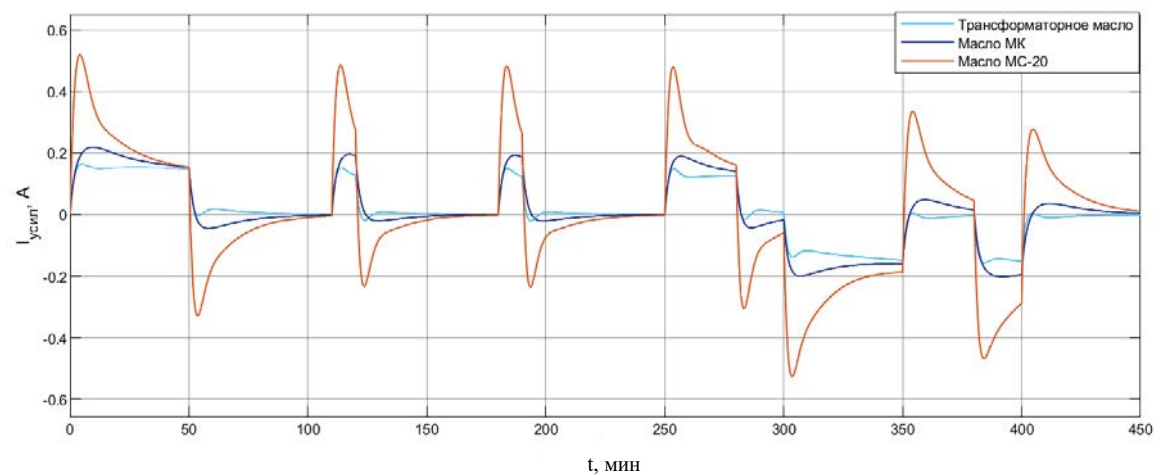


Рис. 3. График изменения тока на входе элемента Пельтье

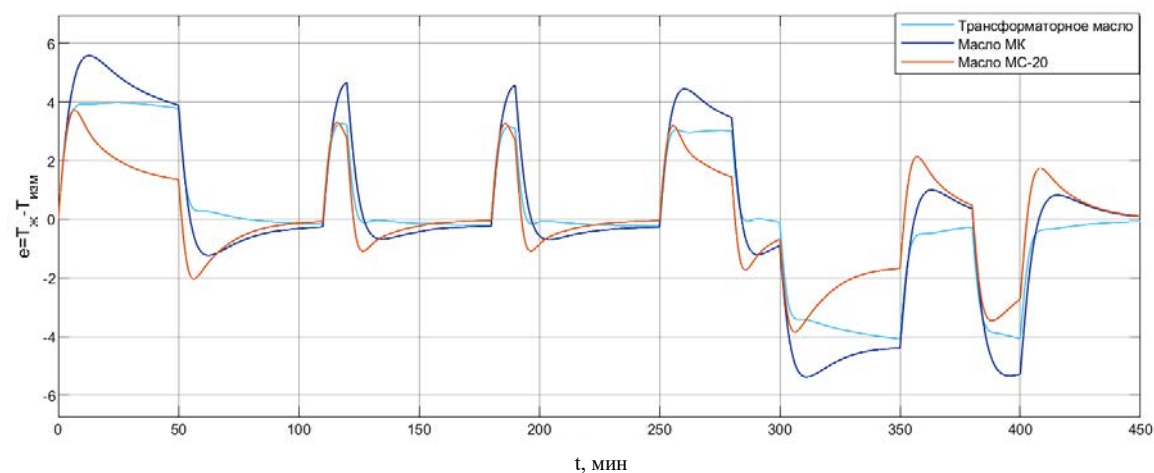


Рис. 4. График ошибки

Заключение

В работе предложена система контроля качества нефтепродукта, состоящая из элемента Пельтье, химического стакана, исследуемого нефтепродукта, датчика температуры, а также микроконтроллера и устройства усиления тока, позволяющая

производить нагрев и охлаждение нефтепродукта в соответствии с требуемым графиком изменения температуры.

Литература

1. Сырбаков А.П. Топливо и смазочные материалы: учебное пособие / Сырбаков А.П., Корчуганова М.А. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2015. 159 с.
2. Пат. RU 2057326 (C1), МПК6 G01 N 25/02. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов // Бюл. №25/02 / Ковальский Б.И. (RU), Деревягина Л.Н. (RU), Кириченко И.А. (RU); заявитель и патентообладатель Государственный проектный научно-исследовательский институт 'Красноярский ПромстройНИИпроект' (RU). No. 5046019/25; заявл. 04.06.1992; опубл. 27.03.96. 9 с.
3. Булат, Л.П. Термоэлектрические охлаждающие устройства: Метод. указания для студентов спец. 070200 "Техника и физика низких температур"/Л.П. Булат, Е.В. Бузин. СПб.: СПбГУНиПТ. 2001. 41 с.
4. Гринкевич В.А. Исследование математической модели термостата на основе элемента Пельтье // Сборник научных трудов НГТУ. 2017. №3(89). С.62–77.
5. Дульнев Г.Н. Теория тепло- и массообмена: учебное пособие/ Г.Н. Дульнев. СПб: НИУ ИТМО. 2012. 195 с.
6. Быстрицкий Г.Ф. Теплотехника и энергосиловое оборудование промышленных предприятий: учебник для академического бакалавриата / Быстрицкий Г.Ф. 5-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт. 2018. 305 с.
7. Гуреев В.В. Математические модели контактных датчиков температуры и цифровые методы компенсации их методических погрешностей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Гуреев В.В. Саратов., 2008. 151 с.
8. ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введен 01.01.2013. М.: Стандартиформ, 2019. 20 с.

Кузнецова Ксения Геннадьевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

студент группы Т42503,

направление подготовки: 18.04.02– Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,

e-mail: kseniasova@gmail.com

Молодкина Нелли Ринатовна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

к.т.н., доцент,

e-mail: nrkh25@hotmail.com

УДК 504.75.06

**ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПСТИРОВАНИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

К.Г. Кузнецова, Н.Р. Молодкина

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Р. Молодкина

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

Аннотация

Актуальность работы обусловлена отсутствием в России развитой инфраструктуры для переработки отходов органического происхождения методом компстирования, в том числе и биоразлагаемых упаковочных материалов, способных быстро и безопасно разлагаться под воздействием микроорганизмов в контролируемых условиях для получения качественного органического удобрения. Определены условия, при которых масштабное использование компстируемых полимерных материалов экологически целесообразно. Обоснована целесообразность создания инфраструктуры для промышленного компстирования органических отходов, в том числе и биоразлагаемой упаковки; на основе выполненного эколого- экономического анализа показано, что наиболее эффективным вариантом для переработки органических отходов является применение технологии закрытого компстирования в аэробном биореакторе

Ключевые слова

Промышленное компстирование, компост, биоразложение, биоразлагаемая упаковка, экономика замкнутого цикла.

Современный мир трудно представить без пластика. Те свойства, за которые пластик получил широкую популярность (прочность, гидрофобность, большой срок годности), стали его основными недостатками.

Начиная с 1998 года, объем образования твердых бытовых отходов (ТБО) вырос почти вдвое. Каждый год количество ТБО, образующихся в результате деятельности

человека, растет на 4 % в год. Главной причиной этого явления является увеличение использования полимерных упаковочных материалов [1].

В связи с возникающими экологическими проблемами, связанными с утилизацией полимерных упаковочных материалов, усилия ученых направлены на поиск и создание альтернативных материалов и методов их переработки.

Существует другая, не менее значимая проблема современного природопользования, связанная с деятельностью человека – деградация почвенного покрова. С истощением запасов гумуса и биофильных элементов, в почвах происходит нарушение органического и минерального питания почвенной биоты, нарушается общая биологическая активность и плодородие почв; снижается устойчивость почв к эрозии, к химическому и бактериальному загрязнению.

На сегодняшний день, проблема бесконтрольного образования пластиковых отходов в мире, и в том числе в России, не решена. 40 % всех образующихся пластиков приходится на упаковочные материалы [2]. Основная масса отходов поступает на объекты размещения – полигоны ТБО, где разлагается в течение более 100 лет с образованием значительных объемов наиболее опасного парникового газа – метана. В связи с этим актуальность данной темы исследования не вызывает сомнения.

Многие страны Европейского союза, Япония и США уже начали процесс постепенного замещения упаковочных материалов из традиционных пластиков на биоразлагаемые.

Далеко не все полимерные упаковочные материалы с заявленными свойствами к биоразложению действительно могут безопасно разлагаться под действием микроорганизмов. А те материалы, чьи заявленные свойства соответствуют фактическим, не всегда имеют четкие требования к условиям, в которых могут биodeградировать [3]. Основные требования к полимерным материалам, условия их биологической деградации и методики оценки заявленных свойств регламентированы в международных и национальных стандартах стран Европейского союза, Японии и США. В Российской Федерации также существует эквивалентный стандарт по биоразложению упаковочных материалов [4, 5].

Традиционные пластики производятся из ископаемых невозобновляемых источников сырья. В связи с тем, что такое потребление ресурсов не соответствует концепции устойчивого развития общества и экономике замкнутого цикла, набирает популярность производство упаковочных материалов из возобновляемых ресурсов – крахмала, лигнина, целлюлозы [6].

В настоящее время не существует требований, обязывающих производителей раскрывать информацию об использовании возобновляемого сырья при производстве упаковочных полимерных материалов, однако со стороны промышленного сектора и среди потребителей неуклонно растет интерес к созданию и использованию экологически безопасных продуктов [7].

На сегодняшний день, можно выделить 2 категории полимерных упаковочных материалов, с заявленными способностями к биоразложению: оксо-биоразлагаемый пластик и компостируемый.

Оксо-биоразлагаемый пластик – пластик, разложение которого происходит в результате протекания двух стадий: оксodeградация (небиологическая стадия) – расщепление макромолекул на более короткие звенья под воздействием ультрафиолета или высоких температур и биodeградация (биологическая стадия) – стадия, на которой происходит биологическое расщепление материала под воздействием микроорганизмов на биомассу, воду и углекислый газ (CO_2) [8].

Под оксо-биоразлагаемыми материалами обычно подразумевают традиционные пластмассы: полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полистирол (ПС) и полиэтилентерефталат (ПЭТФ), в которые были добавлены специальные вещества –

каталитические присадки на основе солей железа, магния, марганца, ускоряющие фрагментацию материала. Из этого следует, что основным отличием оксобиоразлагаемого полимера от традиционного является наличие специальных добавок, ускоряющих процесс фрагментации материала [9].

Компостирование таких видов пластика для получения удобрения невозможно, во-первых, из-за введенных в него добавок (преимущественно солей металлов), которые могут оказывать токсическое действие на растительность, во-вторых, из-за образования микропластика [9].

Компостируемый пластик – пластик, который подвергается деградации в результате биodeградации во время компостирования с образованием углекислого газа, воды, неорганических соединений и биомассы со скоростью, соответствующей другим известным компостируемым материалам, и не оставляет визуально различимых или токсичных остатков [6].

Компостируемые пластики не требуют отдельного сбора, сортировки, переработки в сопоставлении с традиционными пластиками. Но для достижения максимальной биологической разлагаемости они должны компостироваться вместе с органическими отходами – наиболее распространенным аэробным способом компостирования [10].

Компостированию подвергаются в основном те органические отходы, которые были собраны отдельно от остальных отходов (селективный сбор) в специальные контейнеры для этого типа отходов. Компост используется в сельском хозяйстве, поскольку имеет высокое качество и не содержит вредных субстанций [11].

Переход на масштабное использование биоразлагаемой упаковки, соответствующей международным стандартам в области компостирования полимерных материалов, является экологически и экономически целесообразной мерой только при условии создания соответствующей инфраструктуры на территории Российской Федерации.

Конечный продукт компостирования – гигиенически безопасное гумусовое вещество, которое можно использовать для стимулирования восстановления плодородия почв в качестве органического удобрения. Компостированию могут подвергаться любые отходы органического происхождения: растительные отходы (скошенная трава, ботва, листовой опад); отходы животного происхождения (птичий помет, навоз); пищевые отходы – овощные очистки, кофейный жмых, яичная скорлупа, отходы чайного производства; осадки сточных вод; компостируемые пластики [12].

Компостированию могут подвергаться и органические отходы от промышленных предприятий. Это позволит повысить экологический имидж компаний и решит вопрос с утилизацией отходов на предприятии.

К сожалению, компостирование не является широко распространенным методом утилизации органических отходов ввиду ряда недостатков: продолжительный производственный цикл, мониторинг и поддержание определенных условий, возможность получения нестабильного итогового продукта.

В существующей реальности основным методом утилизации органических отходов является захоронение. С экологической точки зрения размещение органических отходов на полигонах ТБО неприемлемо по нескольким причинам:

- потеря питательных веществ, которые можно использовать повторно;
- органические отходы – это основной источник санитарно-эпидемиологической опасности и неприятных запахов, поэтому перед отправкой отходов на полигон необходимо извлекать из них органическую фракцию, которую необходимо подвергать биологической обработке или компостированию.

В работе был рассчитан годовой объем органической фракции отходов в Санкт-Петербурге, образующихся в организациях общественного питания, образовательных

учреждениях, магазинах продовольственных товаров. Исходя из нормативных показателей, ежегодно данные учреждения образуют около 282 тыс. тонн органических отходов, которые являются потенциальным сырьем для производства компоста [13]. Для дальнейшего проведения эколого-экономического обоснования строительства станции для промышленного компостирования органических отходов предложено использовать около 5 % отходов от общей массы – 14,1 тыс. тонн отходов.

Для определения наиболее экологически и экономически целесообразной технологии промышленного компостирования предварительно были изучены информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям [10].

К расчету и проведению сравнительной характеристики предложены две наиболее распространенные в России и за рубежом технологии: технология среднего уровня – буртовое компостирование на открытых площадках и технология закрытого компостирования органических отходов в биобарабанах.

При компостировании в буртах, сырье – органические отходы укладываются в бурты с шириной 3 – 6 метров, высотой 1,5 – 3 метра, длина бурта может быть произвольной. Аэрация осуществляется за счет переворачивания компостного материала с помощью специального ворошителя – переворачивателя. Длительность компостирования составляет 2 – 4 месяца в зависимости от погодных условий.

Компостирование в барабанном биореакторе является технологией более высокого уровня, длительность процесса сокращается до 3-х суток, за счет непрерывной аэрации, контроля температуры и выхода углекислого газа. Важным этапом является процесс созревания компоста в кучах для его стабилизации. Срок созревания компоста составляет 7 – 10 суток.

Для определения наиболее экономически эффективного проекта проведен расчет капитальных и эксплуатационных затрат на сооружения, оборудование, технические средства, исходя из специфики каждой технологии.

Рассчитанные экономические показатели приведены в таб. 1 и отображены на рис. 1.

Расчетный объем готового продукта для обоих проектов составит 28,2 тыс. м³ или 8,45 тыс. т.

Средняя рыночная стоимость готового компоста колеблется в пределах 4 – 7 тыс. руб. Стоимость компоста при реализации проекта № 1 составит 6 тыс. руб., при реализации проекта № 2 – 7 тыс. руб. Во-первых, это связано с относительно высоким показателем капитальных затрат I_0 для проекта №2; во-вторых, в связи с тем, что во втором проекте предлагается применение технологии более высокого уровня, следовательно, качество конечного компоста после барабанного реактора будет выше.

При сравнительно высоких капитальных затратах на проект № 2, объем эксплуатационных затрат ниже почти на 4,2 млн. руб. Это связано с высокими затратами на топливо для технических средств при реализации проекта № 1.

Для обоих проектов внутренняя норма рентабельности выше 20 %, следовательно, оба проекта являются рентабельными и экономически эффективными.

При определении экологической эффективности проектов был рассмотрен объем образующегося парникового газа метана CH_4 , для каждого проекта. Метан является наиболее опасным парниковым газом, поэтому согласно законодательству устанавливается плата за НВОС (негативное воздействие на окружающую среду) в размере 116,64 руб. за тонну.

Таблица 1

Экономические показатели проектов № 1 и № 2

Экономический показатель	Величина	
	Проект №1	Проект №2
Общие инвестиции (I_0), тыс. рублей	46936,0	73479,4
Эксплуатационные затраты ($З_{\text{экспл}}$), тыс. руб./год	24428,5	20279,2
Чистая годовая экономия (B), тыс. руб./год	30970,0	43598,8
Простой период окупаемости (PB)	1,51 лет	1,77 лет
Динамический период окупаемости ($T_{\text{ок}}$)	2,35 лет	2,25 лет
Чистая приведенная стоимость (NPV), тыс. руб.	53586,0	73953,0
Индекс доходности (PI)	1,14	1,01
Внутренняя норма рентабельности (IRR)	28 %	27 %
Дисконтированные затраты на 1 т готового продукта, тыс. руб.	1,5	1,246
Стоимость 1 т готового компоста, тыс. руб./т	6	7

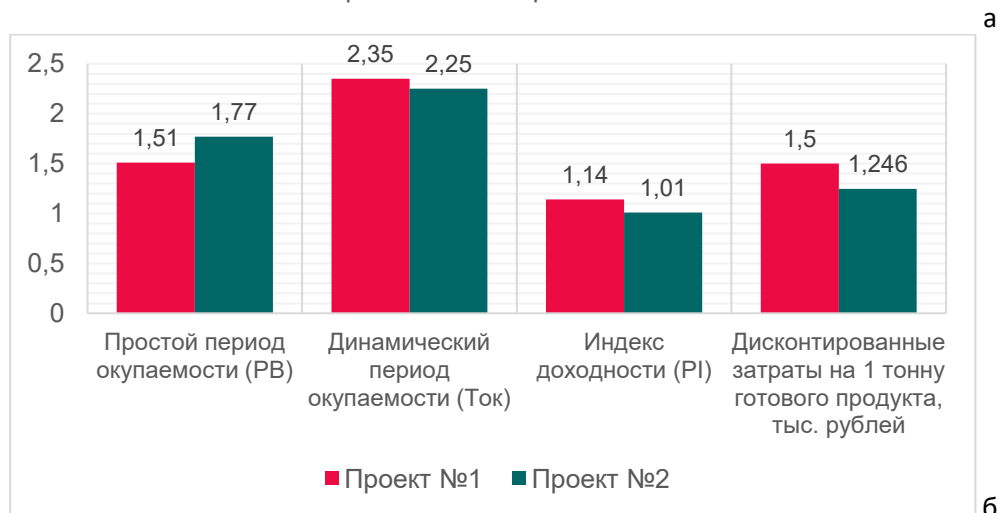
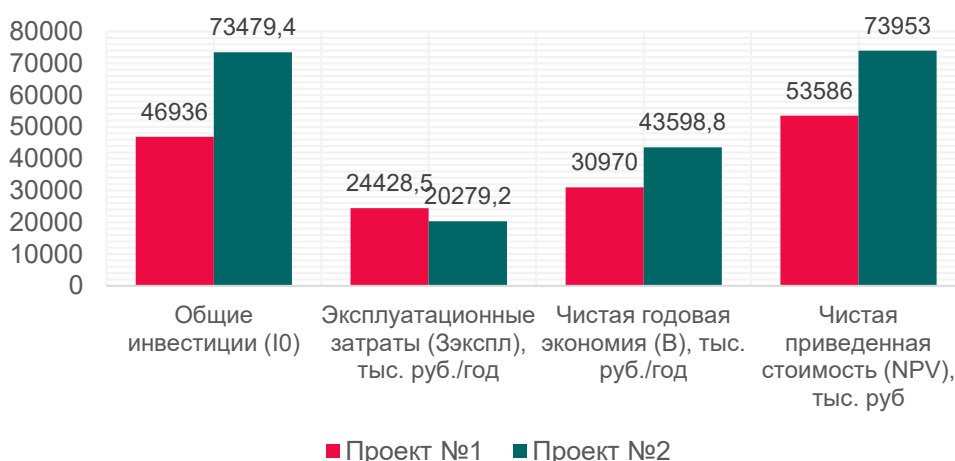


Рис. 1. Сравнение экономических показателей проектов № 1 и № 2: капитальные затраты I_0 , эксплуатационные затраты $З_{\text{экспл}}$, чистая годовая экономия B , чистая приведенная стоимость NPV (а); простой период окупаемости PB , динамический период окупаемости $T_{\text{ок}}$, индекс доходности PI , дисконтированные затраты на 1 тонну готового компоста, тыс. руб. (б)

Компостирование является аэробным процессом, следовательно, объем образованного метана будет значительно ниже, чем при анаэробном процессе, но при показателе концентрации свободного кислорода $>5\%$, в компостной системе могут возникать анаэробные зоны.

Согласно литературным данным, при разложении 1 кг органических отходов на полигоне, образуется 77,26 граммов метана (CH_4), следовательно, 14094 т отходов выделяют 1120 тыс. т CH_4 [14].

Согласно данным, полученным в работах Sanchez A. и др., при компостировании открытым способом из 1 тонны органических отходов образуется около 3,28 кг метана, а при компостировании в закрытых биореакторах барабанного типа – 0,26 кг. Исходя из литературных данных, рассчитан объем эмиссий метана для каждого проекта (таб. 2, рис. 2) от 14094 тонн органических отходов [15].

Таблица 2

Расчет эмиссий метана для проектов № 1 и № 2

Показатель	Проект №1	Проект №2
Выход из 1 тонны сырья, кг	3,28	0,26
Выход из всей массы отходов, т/год	46,228	3,664
Удельное образование метана на 1 т готового компоста, кг CH_4 /т компоста	5,5	0,41



Рис. 2. Показатели удельного образования метана на 1 т готового продукта

Плата за годовой объем выбросов метана составит 5380,9 руб. в год для проекта №1; 426,7 руб. для проекта № 2.

Исходя из расчетов образования метана при компостировании органических отходов на станциях открытого и закрытого типа, можно сделать вывод, что компостирование органических отходов в реакторах закрытого типа, которые используются в проекте №2, протекает равномернее, следовательно, экологически более эффективно.

Заключение

В рамках данной работы были рассмотрены экологические и социально значимые вопросы переработки органических отходов. Была обоснована необходимость создания специальной инфраструктуры для переработки органической фракции отходов в безопасное и гигиеничное органическое удобрение – компост.

Выявлено, что компостирование в барабанных биореакторах является наиболее экологически и экономически целесообразным способом переработки органических отходов, данная технология соответствует принципам НДТ и рекомендуется к внедрению.

Вопрос повсеместного замещения традиционных пластиков компостируемыми недостаточно проработан в нашей стране. Использование компостируемых упаковочных материалов экологически и экономически оправдано только при условии создания инфраструктуры по переработке органических отходов в безопасное удобрение.

Создание инфраструктуры промышленного компостирования органической фракции отходов, повысит интерес общества к вопросам экологии, станет фундаментом для внедрения повсеместной переработки отходов и позволит решить важные задачи: получение органического удобрения, снижение антропогенного влияния на окружающую среду.

Литература

1. Курбатова А.И., Харламова М.Д. Управление твердыми отходами. Учебное пособие. СПб.: Юрайт. 2019. 312 с.
2. Пластик – новая глобальная экоугроза [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.priroda.ru/reviews/detail.php?ID=12475> (дата обращения 5.05.2020).
3. ГОСТ Р 54530-2011 (ЕН 13432:2000) Ресурсосбережение. Упаковка. Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения. Введен 01.01.2013. М.: Стандартинформ. 2011. 14 с.
4. ISO 17088: 2008 Specifications for compostable Plastics.
5. EN 13432:2000 Packaging - Requirements for Packaging Recoverable Through Composting and Biodegradation – Test Scheme and Evaluation Criteria for the Final Acceptance of Packaging.
6. ASTM D6400 – 19 Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities.
7. Rudnik E. Compostable Polymer Materials. Elsevier. 2008. 224 p.
8. ГОСТ 33747-2016 «Оксо-биоразлагаемая упаковка. Общие технические условия». Введен 01.03.2017. М.: Стандартинформ. 2011. 23 с.
9. Thomas N.L. et al., 2012. Oxo-degradable plastics: degradation, environmental impact and recycling // Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Waste and Resource Management. 2012. V. 17(165). P. 133 – 140.
10. ИТС 32-2017 Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых. М.: Бюро НДТ. 2017. 411 с.
11. Старостина В.Ю. Учебное пособие. Основы компостирования и механико-биологической обработки отходов. И.: ИРГТУ. 2009. 76 с.
12. ГОСТ Р 55571-2013 «Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов. Технические условия». Введен 01.01.2015. М.: Стандартинформ. 2017. 25 с.
13. Распоряжение № 30-р Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 14.04.2017 «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/energ_kom/documents/npa/7118/ (Дата обращения: 4.05.2020).
14. Бабаев В.Н., Горох Н.П., Коринько И.В. Энергетический потенциал метанообразования при мезофильном анаэробном разложении органической составляющей отходов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.

- Технологический центр. 2011. №.4(6). С 59 – 65. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19135530> (Дата обращения: 7.05.2020).
15. Sanchez A., Artola A., Fon X., Gea T., Barrena R., Gabriel D., Mondini C. Greenhouse Gas from Organic Waste Composting: Emissions and Measurement // Environmental Chemistry Letters. 2015. V. 13(3). P. 223 – 228.

Лимар Иван Александрович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42951,

направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика,

e-mail: ivan.limar95@gmail.com

Хартов Алексей Андреевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.ф.-м.н.,

e-mail: alexeykhartov@gmail.com

УДК 519.21

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛОЖНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ В СРЕДНЕМ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ С КОВАРИАЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ ГАУССОВСКОГО ТИПА

И.А. Лимар

Научный руководитель – к.ф.-м.н. А.А. Хартов

Аннотация

В работе анализировалась сложность аппроксимации в среднем гауссовских случайных полей большой параметрической размерности с ковариационной функцией гауссовского типа при фиксированном пороге ошибки. Получены критерии ограниченности и неограниченности сложности аппроксимации в среднем. Кроме того, выведен критерий о логарифмической асимптотике сложности аппроксимации в среднем и получены уточненные асимптотические оценки при различных условиях на масштабирующие параметры ковариационной функции.

Ключевые слова

Сложность аппроксимации в среднем, гауссовские поля большой параметрической размерности, ковариационная функция гауссовского типа, асимптотический анализ, теория информационной сложности.

Задача аппроксимации случайных полей представляет большой теоретический и практический интерес. Во-первых, данная задача тесно связана с теорией информационной сложности, главной задачей которой можно назвать поиск оптимальных конечных приближенных представлений, как правило, бесконечномерных объектов. Во-вторых, результаты анализа сложности аппроксимации в среднем случайных полей могут быть использованы для моделирования, так, для гауссовских случайных полей оптимальной аппроксимацией является частичная сумма разложения Кархунена-Лоэва (стохастический аналог ряда Фурье), сложность моделирования которого существенно проще исходного поля.

Опишем формально задачу анализа сложности аппроксимации в среднем случайных полей с ковариационной функцией гауссовского типа. Рассмотрим центрированное гауссовское случайное поле $Y_d(t)$, $t \in \mathbb{R}^d$, параметрической размерности d , то есть многопараметрический гауссовский случайный процесс. Ковариационная функция случайного поля $Y_d(t)$ является квадратичной

экспоненциальной, определяемой положительными масштабирующими параметрами $\sigma_1, \dots, \sigma_d$:

$$\mathcal{K}_d(t, s) = \prod_{j=1}^d \exp \left\{ -\frac{(t_j - s_j)^2}{2\sigma_j^2} \right\}, \quad t_j, s_j \in \mathbb{R}^d.$$

Функция $\mathcal{K}_d$ также называется гауссовской, активно используется в качестве радиально-базисной и в машинном обучении, в частности, методе опорных векторов.

Случайное поле $Y_d(t)$ также является случайным элементом, распределенным на пространстве $L^2(\mathbb{R}^d, \mu^d)$, где μ^d – стандартная d -мерная гауссовская мера, в соответствии с гауссовской мерой с нулевым средним и ковариационным оператором K_d , который действует на функцию $f \in L^2(\mathbb{R}^d, \mu^d)$ следующим образом:

$$K_d f(t) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2}} \int_{\mathbb{R}^d} \mathcal{K}_d(t, s) f(s) \exp \left\{ -\frac{\|s\|^2}{2} \right\} ds, \quad t \in \mathbb{R}^d.$$

Исходное поле $Y_d(t)$ будем аппроксимировать полями конечного ранга n , то есть суммами, представимыми в виде

$$Y_d^{(n)}(t) = \sum_{k=1}^n l_k(Y_d) \phi_k(t), \quad l_k \in L^2(\mathbb{R}^d, \mu^d)^*, \phi_k \in L^2(\mathbb{R}^d, \mu^d). \quad (1)$$

Сложностью аппроксимации в среднем $n_{Y_d}(\varepsilon)$ называется минимальный ранг n , при котором минимальная относительная среднеквадратическая ошибка по всем n -ранговым полям вида (1) не превосходит порогового значения $\varepsilon \in (0, 1)$, то есть выражение вида

$$n_{Y_d}(\varepsilon) = \min_{n \in \mathbb{N}} \left\{ \inf_{Y_d^{(n)}} \mathbb{E} \|Y_d - Y_d^{(n)}\|^2 \leq \varepsilon^2 \mathbb{E} \|Y_d\|^2 \right\}. \quad (2)$$

Величину $n_{Y_d}(\varepsilon)$ можно рассматривать как функцию от двух переменных: параметрической размерности d и порога ошибки ε . Существует несколько подходов к анализу данной величины. В работе [1] рассматриваются оценки сверху при всех фиксированных d и ε для широкого ряда задач. В частности, в статьях [2] и [3] приводятся различные оценки сверху сложности аппроксимации в среднем случайных полей с ковариационной функцией гауссовского типа и условия их выполнения в терминах масштабирующих параметров $\sigma_1, \dots, \sigma_d$. Однако для ряда случаев оценки сверху не являются достаточно точными. Анализ величины $n_{Y_d}(\varepsilon)$ при сколь угодно большой параметрической размерности d и фиксированном $\varepsilon \in (0, 1)$ позволяет получить более точные оценки. Так, в статье [4] рассмотрен асимптотический подход к анализу сложности аппроксимации в среднем в более общей постановке задачи.

Упростим выражение (2) величины сложности аппроксимации в среднем $n_{Y_d}(\varepsilon)$. Для этого приведем собственные числа ковариационного оператора K_d :

$$\lambda_k^{Y_d} = \prod_{j=1}^d \lambda_{k_j}^{(j)},$$

где индексы $k_1, \dots, k_d$ подобраны таким образом, что последовательность собственных чисел $\lambda_k^{Y_d}$ не возрастает по k и для всех $j \in \mathbb{N}$ последовательность $\lambda_k^{(j)}$ имеет следующий вид (см. [5]):

$$\lambda_k^{(j)} = (1 - \omega_j) \omega_j^k, \quad k \in \{0, 1, 2, \dots\},$$

а параметр ω_j , в терминах которого в дальнейшем будет удобно описывать результаты, связан с исходным масштабирующим параметром σ_j как

$$\omega_j = \left(1 + \frac{\sigma_j^2}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{\sigma_j^2}} \right) \right)^{-1}.$$

Здесь нужно заметить, что $\omega_j \in (0, 1)$ и $\omega_j \rightarrow 0$ и $\omega_j \rightarrow 1$ при $\sigma_j \rightarrow +\infty$ и $\sigma_j \rightarrow 0$ соответственно. Также несложно увидеть, что сумма всех собственных чисел ковариационного оператора K_d равняется единице.

Кроме того, справедливо разложение Кархунена-Лозва:

$$Y_d(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{\lambda_k^{Y_d}} \eta_k^{(d)} \psi_k^{(d)}(t), \quad t \in \mathbb{R}^d,$$

где для всех $d \in \mathbb{N}$ детерминированные элементы $\psi_k^{(d)}(t)$ являются собственными ортонормированными функциями ковариационного оператора K_d и $\eta_k^{(d)}$ – независимые одинаково распределенные стандартные гауссовские случайные величины. Кроме того, частичная сумма разложения Кархунена-Лозва является оптимальной аппроксимацией. Тогда с учётом вышесказанного выражение (2) приобретает следующий вид:

$$n_{Y_d}(\varepsilon) = \min_{n \in \mathbb{N}} \left\{ \sum_{j=n+1}^{\infty} \lambda_k^{Y_d} \leq \varepsilon^2 \right\}.$$

Здесь главной сложностью при анализе сложности аппроксимации в среднем является построение последовательности $\lambda_k^{Y_d}$ по исходным масштабирующим параметрам $\sigma_1, \dots, \sigma_d$ эффективным способом, что при больших параметрических размерностях d является нетривиальной задачей. Однако вероятностный подход позволяет избежать данной процедуры.

Первым результатом данной работы являются критерии ограниченности и неограниченности сложности аппроксимации в среднем, полученные на основе результатов анализа задач в более общей постановке (см. [4]):

$$\forall \varepsilon \in (0, 1) \sup_{d \in \mathbb{N}} n^{Y_d}(\varepsilon) < \infty \Leftrightarrow \sum_{j=1}^{\infty} \omega_j < \infty, \quad \forall \varepsilon \in (0, 1) \lim_{d \rightarrow \infty} n^{Y_d}(\varepsilon) = \infty \Leftrightarrow \sum_{j=1}^{\infty} \omega_j = \infty.$$

Прежде чем сформулировать основной результат работы, введем вспомогательные функции распределения, играющие большую роль в доказательстве основного результата,

$$F_j(x) = \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \omega_j) \omega_j^k I(k |\ln \omega_j| \leq x), \quad x \in \mathbb{R}.$$

Сформулируем главное утверждение данной работы. Пусть заданы саморазложимая функция распределения G (определение см. в [4]), задаваемая тройкой $(L(x), \gamma, \varsigma)$, причем $L(x) = 0$ при $x < 0$; последовательность произвольных вещественных $(a_d)_{d \in \mathbb{N}}$, последовательность положительных стремящихся к бесконечности $(b_d)_{d \in \mathbb{N}}$. Тогда для того, чтобы логарифм сложности аппроксимации в среднем при сколь угодно большой параметрической размерности d и любом фиксированном пороге ошибки $\varepsilon \in (0, 1)$ имел следующий вид:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = \widetilde{a}_d + a_d + G^{-1}(1 - \varepsilon^2) b_d + o(b_d), \quad (3)$$

где G^{-1} – квантильная функция и $\widetilde{a}_d$ определяется как

$$\widetilde{a}_d = \sum_{j=1}^d |\ln(1 - \omega_j)|,$$

необходимо и достаточно выполнения следующих трёх условий:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^d \omega_j I(|\ln \omega_j| > x b_d) = -L(x), \quad x > 0, \quad (4)$$

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{b_d} \sum_{j=1}^d \frac{\omega_j |\ln \omega_j|}{1 - \omega_j} I(|\ln \omega_j| \leq x b_d) - \frac{a_d}{b_d} \right) = \gamma + \int_0^x \frac{y^3 dL(y)}{1 + y^2} - \int_x^{+\infty} \frac{y dL(y)}{1 + y^2}, \quad x > 0, \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \limsup_{d \rightarrow \infty} \frac{1}{b_d^2} \sum_{j=1}^d V_{j,d}(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \liminf_{d \rightarrow \infty} \frac{1}{b_d^2} \sum_{j=1}^d V_{j,d}(x) = \varsigma^2 \quad (6)$$

где

$$V_{j,d}(x) = \frac{\omega_j |\ln \omega_j|}{(1 - \omega_j)^2} I(|\ln \omega_j| \leq x b_d).$$

Представим идею доказательства. Заметим, что функции $F_j(x)$ удовлетворяют следующему условию для любого $x > 0$:

$$\max_{j \in \{1, \dots, d\}} (1 - F_j(x b_d)) = \max_{j \in \{1, \dots, d\}} \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \omega_j) \omega_j^k I(k |\ln \omega_j| > x b_d) \leq e^{-x b_d} \rightarrow 0, \quad d \rightarrow \infty$$

что позволяет применять предельные теоремы теории вероятностей и утверждение о логарифмической асимптотике при достаточно общей постановке задачи анализа сложности аппроксимации в среднем (см. [4]), а именно справедливость асимптотического представления (3) равносильна следующим трём условиям:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^d (1 - F_j(xb_d)) = -L(x), \quad x > 0, \quad (7)$$

$$\lim_{d \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{b_d} \sum_{j=1}^d \tilde{E}_{j,d}(x) - \frac{a_d}{b_d} \right) = \gamma + \int_0^x \frac{y^3 dL(y)}{1+y^2} - \int_x^{+\infty} \frac{y dL(y)}{1+y^2}, \quad x > 0, \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \limsup_{d \rightarrow \infty} \frac{1}{b_d^2} \sum_{j=1}^d \tilde{V}_{j,d}(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \liminf_{d \rightarrow \infty} \frac{1}{b_d^2} \sum_{j=1}^d \tilde{V}_{j,d}(x) = \varsigma^2, \quad (9)$$

$$\text{Где } \tilde{E}_{j,d}(x) = \sum_{k=1}^{\infty} k |\ln \omega_j| (1 - \omega_j) \omega_j^k I(k |\ln \omega_j| \leq x b_d), \quad \tilde{V}_{j,d}(x) = \sum_{k=1}^{\infty} k^2 |\ln \omega_j| (1 - \omega_j) \omega_j^k I(k |\ln \omega_j| \leq x b_d) - \left(\tilde{E}_{j,d}(x) \right)^2.$$

Далее показывается, что набор условий (7), (8), (9) равносильен условиям (4), (5), (6). Также условия (4), (5), (6) имеют вероятностную интерпретацию: условие (4) описывает хвосты распределения собственных чисел ковариационных операторов K_d , условие (5) характеризует средние значения, а условие (6) – разброс от среднего.

Далее рассмотрим применения полученного критерия при различных условиях на масштабирующие параметры. Так, при предположении $\omega_j \rightarrow \omega \in (0,1]$ представление (3) приобретает следующий вид:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = \widetilde{a}_d + a_d + \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2)b_d + o(b_d),$$

где Φ – функция распределения стандартного нормального закона, $\widetilde{a}_d$ определено так же, как и в соотношении (3), а a_d и b_d заданы следующим образом:

$$a_d = \sum_{j=1}^d \frac{\omega_j |\ln \omega_j|}{1 - \omega_j}, \quad b_d = \frac{\sqrt{\omega} |\ln \omega|}{1 - \omega} \sqrt{d},$$

причем в дальнейшем, если не оговорено иное, a_d оценивается указанным образом.

При предположении $\omega \in (0,1)$ можно уточнить асимптотическую оценку $\widetilde{a}_d + a_d$:

$$\widetilde{a}_d + a_d = \left(|\ln(1 - \omega)| + \frac{\omega |\ln \omega|}{1 - \omega} \right) d + o(d),$$

а при $\omega = 1$ $\widetilde{a}_d$ может расти сколь угодно быстро. Для уточнения асимптотической оценки $\widetilde{a}_d + a_d$ требуются дополнительные предположения на характер изменений масштабирующих параметров. Так, при более сильном предположении на характер сходимости параметров $\omega_1, \dots, \omega_j$ к единице:

$$\omega_j = 1 - \frac{1}{\sqrt{j}} - \frac{1}{2j} + o\left(\frac{1}{j}\right), \quad j \rightarrow \infty,$$

имеем уточненную асимптотическую оценку:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = \frac{d}{2} (\ln d - 1) + \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2) \sqrt{d} + o(\sqrt{d}).$$

Далее рассмотрим случай $\omega_j \rightarrow 0$ при предположении $\omega_j \sim 1/(j^\alpha g(j))$, где $\alpha \in [0,1]$ и g – медленно меняющаяся функция (определение см. в [4]). Начнем рассматривать данный класс случаев при $\alpha = 0$, причем, так как $\omega_j \rightarrow 0$, требуется дополнительно предположить, что $g(j) \rightarrow \infty$. Здесь b_d определяется следующим образом:

$$b_d = \sqrt{d} \frac{\ln g(d)}{\sqrt{g(d)}},$$

тогда логарифм сложности аппроксимации при достаточно больших d и любом фиксированном $\varepsilon \in (0,1)$ имеет вид:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = \widetilde{a}_d + a_d + \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2)b_d + o(b_d),$$

причем $\widetilde{a}_d + a_d$ приблизительно оценивается как

$$\widetilde{a}_d + a_d \approx \frac{d}{g(d)} + \frac{d \ln g(d)}{g(d)}$$

Далее рассмотрим случай $\alpha \in (0,1)$. Здесь уже не требуются дополнительные ограничения на функцию g и b_d определяется как

$$b_d = d^{(1-\alpha)/2} \frac{\alpha \ln d}{\sqrt{g(d)}},$$

тогда асимптотическое представление (3) приобретает вид:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = \widetilde{a}_d + a_d + \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2)b_d + o(b_d),$$

причем $\widetilde{a}_d + a_d$ приблизительно можно представить как

$$\widetilde{a}_d + a_d \approx \frac{d^{1-\alpha}}{(1-\alpha)g(d)} + \frac{d^{1-\alpha} \ln d}{(1-\alpha)g(d)}.$$

Осталось рассмотреть случай $\alpha = 1$, здесь предположим, что $g(\exp(x))$ является медленно меняющейся функцией. В данном случае b_d определяется следующим образом:

$$b_d = \frac{\ln^{3/2} d}{\sqrt{3g(d)}},$$

тогда логарифм сложности аппроксимации имеет вид:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = \widetilde{a}_d + a_d + \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2)b_d + o(b_d),$$

при этом $\widetilde{a}_d + a_d$ оценивается следующим образом:

$$\widetilde{a}_d + a_d \approx \frac{\ln d}{g(d)} + \frac{\ln^2 d}{2g(d)}.$$

В рассмотренных выше случаях асимптотические оценки $\widetilde{a}_d + a_d$ являются грубыми. Для их уточнения требуются дополнительные предположения на характер изменения масштабирующих параметров. Так, при следующем предположении:

$$\omega_j = \frac{1}{j} + o\left(\frac{1}{j^2}\right), j \rightarrow \infty,$$

для достаточно больших d и любом фиксированном $\varepsilon \in (0,1)$ имеем

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = \frac{\ln^2 d}{2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \Phi^{-1}(1 - \varepsilon^2) \ln^{3/2} d + o(\ln^{3/2} d).$$

Также заметим, что при увеличении скорости сходимости параметров $\omega_1, \dots, \omega_j$ к нулю скорость роста сложности аппроксимации в среднем уменьшается. Далее рассмотрим случай, принципиально отличающийся от ранее рассмотренных. Так, при $\omega_j \sim 1/(j \ln j)$ (данный случай не покрывается предыдущим, так как логарифм от экспоненты не является медленно меняющейся функцией) асимптотическое представление (3) записывается в виде:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = D^{-1}(1 - \varepsilon^2) \ln d + o(\ln d),$$

где D – функция распределения Дикмана.

Если увеличить скорость сходимости к нулю параметров $\omega_1, \dots, \omega_j$, соблюдая условие неограниченности сложности аппроксимации в среднем, например, предположить $\omega_j \sim 1/(j \ln j \ln \ln j)$ представление (3) имеет следующий вид:

$$\ln n^{Y_d}(\varepsilon) = o(\ln d),$$

причем данная оценка является наиболее точной для асимптотических представлений вида (3) при данном предположении.

Таким образом, получены следующие результаты:

- критерии ограниченности и неограниченности сложности аппроксимации в среднем;
- общий критерий о логарифмической асимптотике сложности аппроксимации в среднем;
- полученный критерий применён к случаям ограниченности и неограниченности масштабирующих параметров и выведены уточнённые асимптотические оценки сложности аппроксимации в среднем.

Литература

1. Novak E., Wóźniakowski H. Tractability of Multivariate Problems. Volume I: Linear Information. EMS publishing house. 2008.
2. Chen J., Wang H. Average case tractability of multivariate approximation with Gaussian kernels // Journal of Approximation Theory. 2019. Vol. 239. P. 51–71.
3. Khartov A.A. A simplified criterion for quasi-polynomial tractability of approximation of random elements and its applications // Journal of Complexity. 2016. Vol. 34. P. 30–41.
4. Khartov A.A. Asymptotic analysis of average case approximation complexity of Hilbert space valued random elements // Journal of Complexity. 2015. Dec. Vol. 31. P. 835–866.
5. Rasmussen C.E., Williams C. Gaussian Processes for Machine Learning. The MIT Press. 2006.

Осман Валаа

Год рождения: 1994

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42332,

направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: walaas.othman@gmail.com

Громов Владислав Сергеевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: gromov@itmo.ru

УДК 004.42

**НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ВСЕНАПРАВЛЕННОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

О. Валаа

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.С. Громов

Аннотация

Метод одновременной локализации и построения карты был применен для решения задачи навигации для мобильных роботов с использованием Камеры INTEL RealsenseDepth для получения данных от окружающей среды. Представлены методы построения облака точек изображения. Спланирован оптимальный путь от местоположения робота до желаемой цели с помощью алгоритма D* и подхода динамического окна.

Ключевые слова

Планирование пути, навигация, RTAB-Map, алгоритм D*, подход динамического окна, SLAM.

Определения местоположения роботов и их способность перемещения в любой среде является одной из наиболее востребованных задач за последние десятилетия.

В целом возможно разделить задачу навигации на три категории. В первой категории – навигация на основе карт, карта окружающей среды предоставляется роботу в форме, понятной для программного обеспечения робота. Во второй категории – навигация на основе построения карт [1], карта окружающей среды создается с помощью датчика прикреплен на работе. А в третьей – навигация без карт [2], не требует предварительной информации об окружающей среде.

Решение задач навигации требует построения карты окружающей среды и использования этой карты для построения оптимального пути без столкновения с какими-либо препятствиями от исходного местоположения робота до желаемой цели. В этой работе метод визуальной одновременной локализации и построения карты V-SLAM, а именно подход RTAB-Map (Real-TimeAppearance-BasedMapping) был использован с помощью камер глубины.

Real-TimeAppearance-BasedMapping (RTAB-Map) [3] – это графически-основан SLAM для RGB-D (red-green-blue-depth), стерео и лидара, основанный на обнаружении замыкания петли. Алгоритм использует модель (BoW), чтобы определить, приходят ли изображения из предыдущего местоположения или из нового. Всякий раз, когда

обнаруживается замыкание цикла, в график добавляется новое ограничение, а затем оптимизатор графиков уменьшает ошибку в карте.

Входным сигналом для узла RTAB-Map являются изображения, полученные с RGB-D камеры или стереокамер, одометрия и функция перехода (TF), которая определяет положение датчика по отношению к базе робота. После синхронизации датчиков блок краткосрочной памяти (STM) создает узел для хранения входной информации (например, необработанные изображения, одометрическая поза) с дополнительной полезной информацией для следующих модулей (например, локальная сетка занятости для модуля "глобальная карта сборки").

Генерация узлов происходит с фиксированной скоростью в зависимости от скорости робота. Установка слишком высокой скорости может привести к увеличению времени вычислений и использования памяти. Жесткое преобразование между двумя узлами содержится в ссылке. Связь может быть типа окрестность, замыкание петли или близость. соседняя связь – это преобразование между двумя последовательными узлами. Эта ссылка добавляется в модуль STM с преобразованием одометрии. Замыкание и близость добавлены к модулю обнаружения замыкания и близости петли. Эти связи являются ограничением для графика. Каждый раз, когда добавляется новая близость или замыкание ссылки, оптимизатор графиков пытается минимизировать ошибку.

RTAB-MapSLAM с камерой intelrealsenseD435i [4]: Поскольку D435i имеет встроенный IMU, можно улучшить локализацию и картирование. Рис. 1 показывает основные компоненты системы.

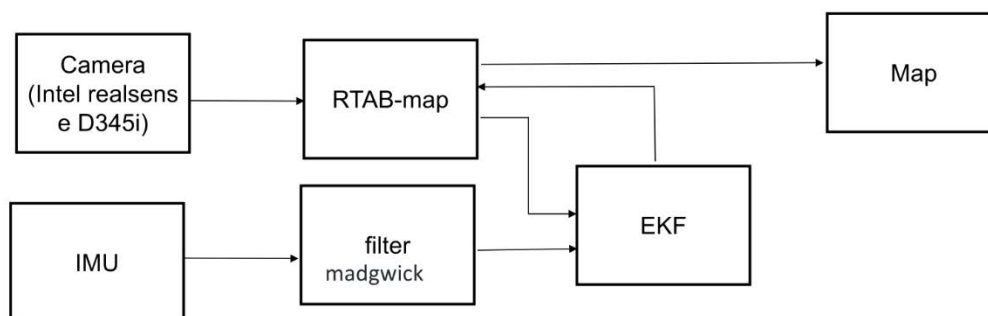


Рис. 1. Основные узлы системы SLAM

Фильтр Madgwick [5] сливает информацию с гироскопа и акселерометра в кватерниум, а затем расширенный фильтр Калмана был использован для оценки позы робота [6]. использование данных IMU в качестве управляющего входа на этапе предсказания, и визуальной одометрии в качестве измерения для коррекции позы.

Следующее – математическое описание этапов предсказания и визуальной одометрии:

1. шаг предсказания

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H(\hat{x}_k^-)),$$

$$P_k^+ = (I - K_k H_k) P_k^-.$$

2. шаг коррекции

$$\hat{x}_k^- = A \hat{x}_{k-1} + B u_k,$$

$$P_k^- = A P_{k-1} A^T + Q_{k-1},$$

$$H = \frac{\partial h}{\partial X} | X = x_{k-1},$$

где u_k – вход управления (данные IMU), A – Матрица трансляции, B – Матрица управления, H_k – Матрица Якоби.

$$K_k = P_k^- H_k^- (H_k P_k^- H_k^- + R_k)^{-1}, x = [p v q w]^T.$$

ЕКФ в системе будет собирать информацию от визуальной одометрии (3D-позы робота) и датчика IMU (углы крена, рыскания и тангажа). Поскольку система отсчета визуальной одометрии может отличаться от системы отсчета данных IMU, нет возможности сравнивать абсолютные позы из этих источников, таким образом, относительные позы используются для обновления ЕКФ. По мере того, как робот движется в окружающей среде, неопределенность положения робота в окружающей среде становится больше, а это означает, что ковариация может расти без каких-либо границ. Наблюдения используются для минимизации неопределенности.

Рис. 2 показывает результаты соединения IMU с визуальной одометрией.

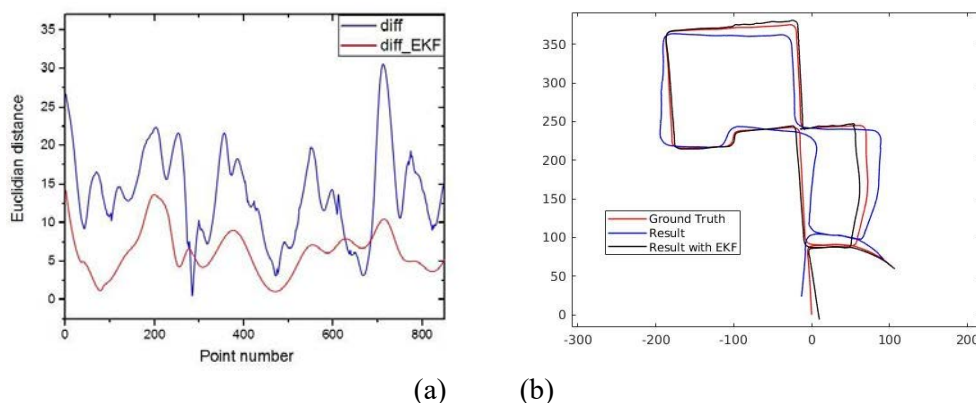


Рис. 2. Ошибка между расчетной позой и основной истиной (a),
Траектория движения робота (b)

На рис. 3(b) показано облако точек учебной комнаты, показанное на рис. 3(a), с использованием предложенного алгоритма.



Рис. 3. (a) фотография учебной комнаты, (b) облако точек учебной комнаты

Поскольку 3D-карта, созданная с использованием RTAB-MAP SLAM, не подходит для навигации из-за сложности вычисления оптимального пути и необходимости более высоких вычислений, 3D-изображение преобразуется в 2D-карту. Преобразование может быть сделано следующими способами:

1. Проецирование 3D-карты на плоскость. Маркировка точки может быть достигнута либо на основе высоты точки, либо на основе угла между точкой,

перпендикулярной нормали к земле. последний подход более эффективен, особенно когда земля не ровная.

2. Преобразование точек облачности в лазерные данные и использование gmapping SLAM для создания 2D-карты.

2D-карта представляет собой вектор логических векторов, где один обозначает свободную ячейку, а нули – ячейку препятствия. После получения 2D-карты навигация может быть достигнута путем планирования пути между текущим местоположением и желаемой целью. Могут быть использованы алгоритмы поиска графа. В этом тезисе алгоритм D* [7] используется благодаря его лучшей производительности для перепланирования пути в динамической среде путем сохранения указателей на ячейку с наименьшей стоимостью для цели (рис. 4).

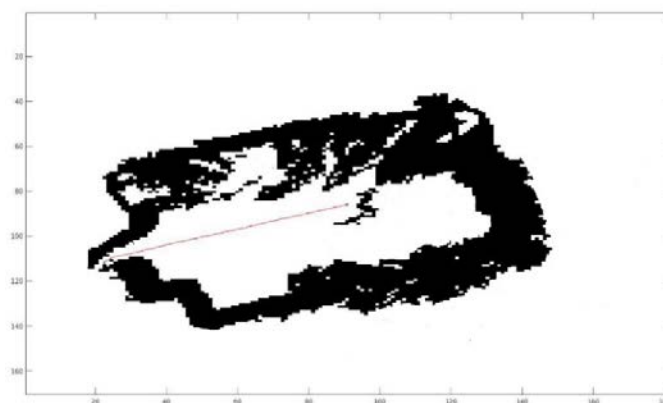


Рис. 4. Применения алгоритма D* на карте

Подход динамического окна (DWA) [8] вычисляет оптимальную скорость путем выборки управляющего пространства (dx , dy , $d\theta$). Для каждой скорости моделируется, что могло бы произойти, если бы эта скорость применялась к роботу в течение короткого времени. После отбрасывания недопустимых скоростей DWA вычисляет оценку для каждой скорости, используя такие показатели, как близость к глобальному пути, к цели и к препятствиям, затем выбирает скорость с лучшим результатом и переводит ее в режим управления.

На рис. 5(a) и 5(b) показан имитационный эксперимент youbot с использованием gazebo simulator и навигационного стека для планирования пути между местоположением робота и целью (выраженного красной стрелкой).

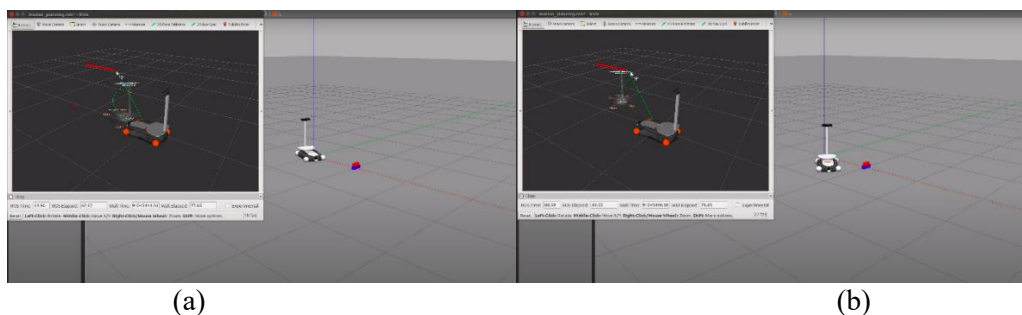


Рис. 5. Реализация DWA и D* на моделируемом роботе youbot

Таким образом, основная задача диссертации заключалась визуальной одновременной локализации и построения карты и более конкретно RTAB-MAP SLAM и ORB-SLAM2. Эти два метода использовались для создания облака точек (3D-карты)

окружающей среды. Из-за сложности 3D-навигации облако точек проецировалось на плоскость, чтобы получить стоимость 2D-карты, которая используется для достижения 2D-навигации. Планирование пути обсуждался с его двумя частями: глобальным планированием пути и локальным планированием пути. Алгоритмы A* и D* обсуждались как основные два алгоритма для глобального планирования пути, и D*, принимался за его лучшая производительность для повторного планирования пути в динамической среде. Кратко обсуждались основные алгоритмы, используемые для планирования локального пути, и используется подход динамического окна с ROS. Объединяя D* в качестве глобального планировщика пути и DWA в качестве локального планировщика пути, робот успешно планировал оптимальный путь к цели, избегая при этом всех препятствий. Кроме того, для обнаружения безопасной зоны, чтобы робот мог двигаться по ней, реализована технология “maplessnavigationtechnique (SLIC-basedgrounddetection)”. Поскольку этот алгоритм зависит только от значений пикселей, он может иметь ошибку неправильной классификации (учитывая область без пола, которая имеет тот же цвет пола, что и пол), алгоритм также зависит от освещенности, и ему нужно обнаружить некоторые параметры, такие как порог экспериментально, что делает его ненадежным алгоритмом для навигации.

Литература

1. M. Quigley, Conley K., Gerkey B., Faust J., Foote T., Leibs J., Wheeler R., Andrew Y., Ros N. An open-source robot operating system. In ICRA Workshop on Open Source Software. 2009.
2. Achanta R., Shaji A., Smith K., Lucchi A., Fua P., and Süsstrunk S. Slicsuperpixels compared to state-of-the-art superpixel methods // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2012. V. 34. №11. С. 2274–2282.
3. Labbé M., Michaud F. RTAB-Map as an open-source lidar and visual simultaneous localization and mapping library for large-scale and long-term online operation // Journal of Field Robotics. 2018. V. 36. № 2. С. 416–446.
4. INTEL. Intel® realsense™ depth camera d435i [Электронныйресурс]. Режимдоступа: <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d435i/> (датаобращения: 26.03.2020).
5. Madgwick S.O.H., Harrison A.J.L., Vaidyanathan R. Estimation of IMU and marg orientation using a gradient descent algorithm // IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. 2011. V. 5975346. С. 1–7.
6. Einicke G.A., White L.B. Robust extended Kalman filtering // IEEE Transactions on Signal Processing. 1999. V. 47. № 9. С. 2596–2599.
7. Stentz A. The D* algorithm for real-time planning of optimal traverses dissertation thesis. Carnegie Mellon University. 1994. С. 34.
8. Fox D., Burgard W., Thrun S., The dynamic window approach to collision avoidance // IEEE Robotics Automation Magazine. 1997. V. 4. № 1. С. 23–33.

Попов Антон Сергеевич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42411,

направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах,

e-mail: aspopov@itmo.ru

Шаветов Сергей Васильевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: 136977@niuitmo.ru

УДК 004.931

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

А.С. Попов

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.В. Шаветов

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

Аннотация

В данной работе ставилась задача исследовать существующие методы решения проблемы распознавания образов и разработать систему компьютерного зрения для локализации объектов. Система должна распознавать заданные объекты на монотонном фоне и отслеживать перемещение этих объектов в режиме реального времени.

Ключевые слова

Компьютерное зрение, локальное позиционирование, пороговая бинаризация, алгоритм Хафа, детектор границ Канни, контурный анализ, нейронные сети.

За последние несколько десятилетий были созданы сенсоры и алгоритмы обработки изображений, которые превосходят возможности человеческого глаза. Они могут записывать видео с частой в тысячи кадров в секунду и определять расстояния с большой точностью. Алгоритмы технического зрения широко используются в различных областях.

Одним из способов улучшения систем навигации является использование технологии технического зрения. При этом важный аспект – решение проблемы реализации алгоритмов обработки изображений, обеспечивающих надежную автоматическую выборку нужного объекта и определение координат этого объекта при ограничении времени решения. В современные задачи, компьютерного зрения входят:

- классификация по типу объекта;
- сегментация пикселей объектов, принадлежащих одному классу;
- детектирование объектов, в классе;
- сегментация пикселей объектов по отдельности.

Существует два основных подхода к решению обозначенных задач: классический аналитический подход, когда алгоритм основан на анализе пикселей изображения, и нейросетевой подход, базирующийся на машинном обучении.

Порог – это признак помогающий разделить желаемый сигнал на классы. Операция порогового разделения, которая приводит к двоичному черно-белому изображению, называется бинаризацией, общий алгоритм работы представлен на рис. 1. Бинаризация значительно сокращает объем информации, с которой приходится работать [1].



Рис. 1. Общая схема бинаризации

Алгоритм Хафа – это способ для выделения и группировки признаков на изображении для обнаружения простых геометрических форм. Вводится понятие аккумулятора – это массив размер которого равен числу неизвестных параметров, для уравнения прямой (1) это угол θ и длина радиус-вектора ρ .

$$X * \cos(\theta) + Y * \sin(\theta) = \rho \quad (1)$$

Для каждого пикселя и его окрестности вычисляется достаточно ли признаков прямой он несет. Если так, то будет построена эта прямая и будут найдены её параметры, затем в матрице аккумулятора будет найдена ячейка с этими параметрами и ее значение увеличено на 1. Если в конце работы найти ячейки с наибольшими значениями можно получить все возможные прямые-кандидаты на изображении (рис. 2).

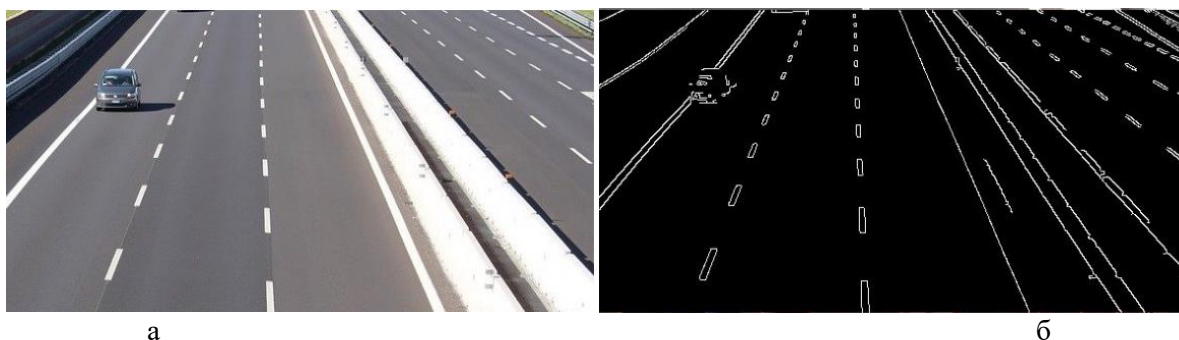


Рис. 2. Алгоритм Хафа: исходное изображение (а); бинаризованное изображение (б) [2]

Детектор границ Канни служит для обнаружения границ изображения. Он широко применяется в различных системах компьютерного зрения. Алгоритм включает в себя пять этапов:

- применение фильтра Гаусса;
- вычисление градиентов интенсивности изображения;
- использование немаксимального подавления;
- применение двойной пороговой фильтрации;
- трассировка области неоднозначности (рис. 3).

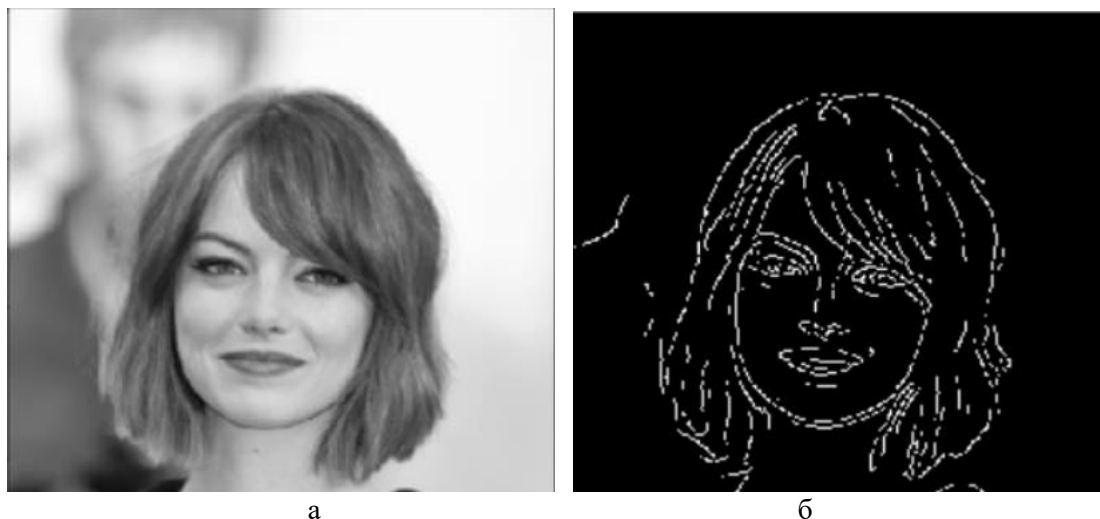


Рис. 3. Детектор границ Канни: исходное изображение (а); бинаризованное изображение (б) [3]

Нейронная сеть является структурой из нескольких слоев искусственных нейронов и связей между ними. Глубокая сеть похожа на многоэтапную фильтрацию информации. На нейрон входного слоя принимается сигнал, который перемножается с соответствующим значением веса. Функция активации преобразовывает значение пришедшего сигнала, в число от 0 до 1 (рис. 4).

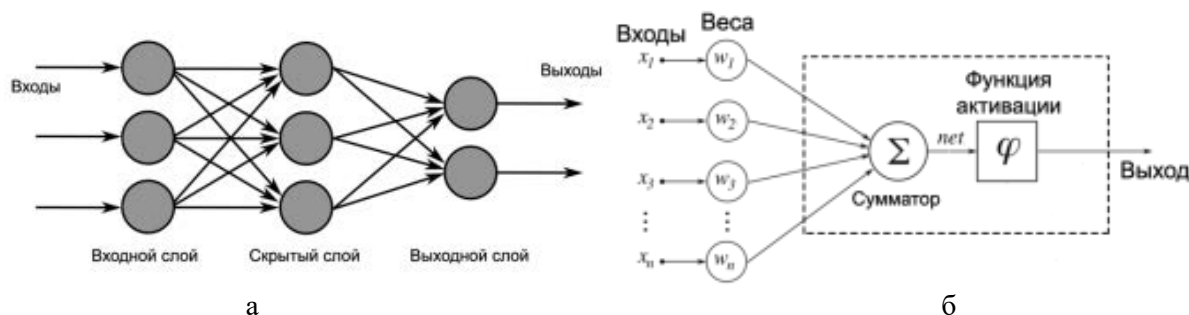


Рис. 4. Нейронная сеть: структура нейронной сети (а); структура искусственного нейрона (б) [4]

Слои нейронной сети последовательно объединяются и преобразуют входные данные в предсказания. После этого функция потерь сравнивает эти предсказания с истинными результатами и возвращает значение потери: меру соответствия предсказания к ожидаемому результату. Оптимизатор использует это значение потери для редактирования весов сети.

Стохастический градиентный спуск применяется для поиска значений весов, при которых функция потерь будет минимальна. Используемый алгоритм:

- извлекаются данные x и соответствующие результаты y ;
- сеть обрабатывает x и получает пакет предсказаний Y_{pred} ;
- вычисляются потери сети, дающие оценку разницы между Y_{pred} и Y ;
- вычисляется градиент потерь для параметров сети (обратный проход);
- изменяются параметры на небольшую величину в направлении, обратному градиенту (рис. 5).

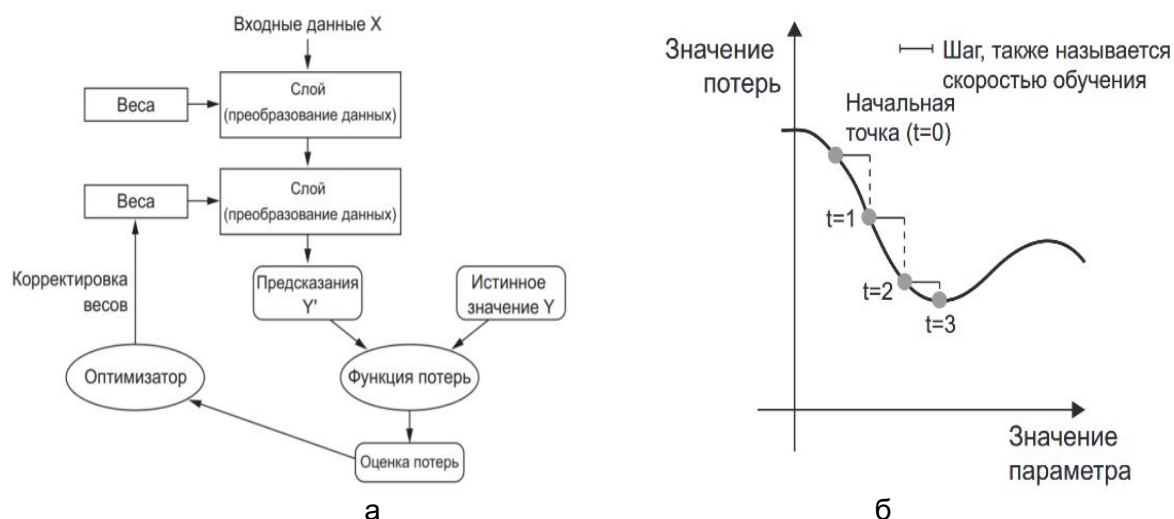


Рис. 5. Нейронная сеть: связь между сетью, слоями, функцией потерь и оптимизатором (а); градиентный спуск (б) [5]

Термин «стохастический» отражает тот факт, что будет выбираться случайная небольшая выборка из входящих данных и считается, что она отражает поведение системы.

Нейронная сеть ResNet50 – основана на принципе остаточного обучения – каждый следующий слой не просто изменяет вход предыдущего, а пытается скорректировать, исправляя ошибки, допущенные до него. У нейронной сети YOLO главная особенность в том, что архитектура CNN применяется один раз ко всему изображению. MobileNet SSD сочетает в себе архитектуру сети MobileNet, разработанную для мобильных устройств и алгоритм SingleShotDetectors. Нейронная сеть MobileNet SSD была сначала обучена на наборе данных COCO (CommonObjectsinContext), а затем настроена на POSCAL VOC, достигая 72,7% mAP (средняя точность). RetinaNet, YOLOv3 были обучены на наборе данных COCO.

Сравнение работы нейронных сетей проходило на десяти изображениях, задачей было распознать человека, результат приведен в таблице. Использовалось библиотека ImageAI. Рассчитанная F-мера, по формуле (2), с порогом отсечения 80% для YOLOv3 составила 0,7, а для ResNet50 – 0,894. Однако скорость обработки YOLOv3 была примерно в 3 раза выше. Для дальнейшей работы используется сеть MobileNet SSD как компромисс между высокой точностью и скоростью работы, а также занимающую в 10 раз меньше места в памяти.

Таблица

Рассчитанная F-мера

	TP	FP	FN	TN	F-мера
YOLOv3	28	0	24	0	0.700
ResNet50	42	0	10	0	0.894

Правила заполнения:

- TP (TruePositive) – объект классифицирован правильно (т. е. мнение классификатора и эксперта совпало);
- TN (TrueNegative) – так как объектов много (не только людей), считаем этот параметр всегда равным 0;

- FP (FalsePositive) – классификатор говорит, что выделенный объект является человеком, эксперт говорит, что нет;
- FN (FalseNegative) – эксперт видит человека, классификатор – нет.

$$F = \frac{2*P*R}{P+R}, \quad (2)$$

где P – точность, а R – полнота, вычисляются по формуле (3).

$$P = \frac{TP}{TP+FP}; R = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

Когда достаточно просто детектирования движущиеся объекты можно воспользоваться методом бинаризации вероятностного преобразования Хафа совместно с детектором границ Канни. Если уменьшить порог срабатывания до 50, то можно наблюдать сильно зашумленный результат работы. Так как при работе этого метода нет никакой информации про структуру объекта применение этого метода для распознавания сложных объектов, крайне затруднительно и требует взаимодействия с другими методами технического зрения (рис. 6).

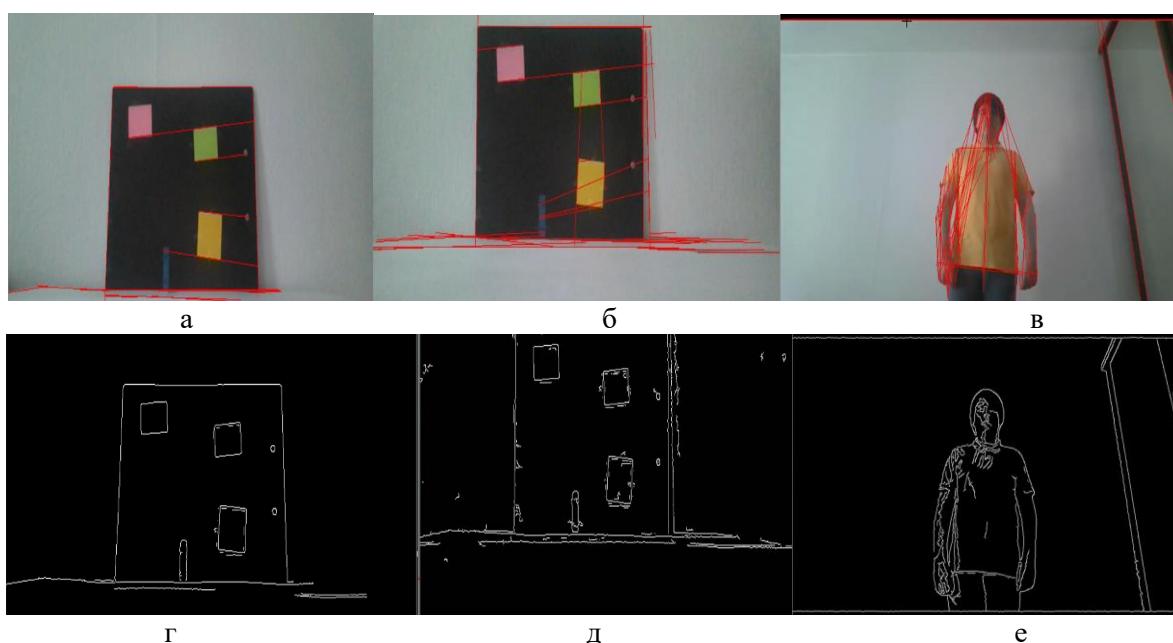


Рис. 6. Результат бинаризации: порог срабатывания 100 (а, г); порог срабатывания 50 (б, д); на примере человека (в, е)

Для определения позиции в пространстве движущегося объекта будет использоваться цветовая маркировка. В ходе работы программы изображение преобразуется в HSV формат и применяется Фильтр Гаусса для устранения шумов. На полученном изображении выбирается нужный цвет и формируется черно-белая маска, за счет пороговой бинаризации по верхнему и нижнему уровню. Затем с помощью контурного анализа запускается алгоритм поиска белых контуров на черно-белой маске, когда контур найдет определяется его центр. Данная реализация очень зависима от освещения и легко может ошибочно детектировать объекты похожего цвета при плохо настроенном пороге отсечения (рис. 7).

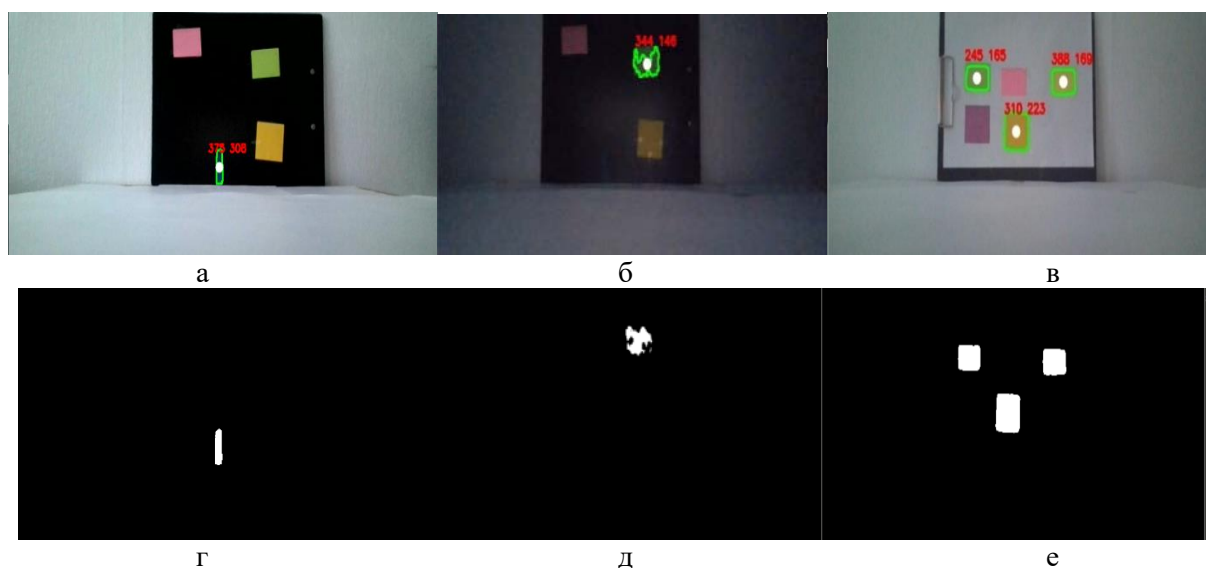


Рис. 7. Результат бинаризации: полученное изображение для синего цвета (а, г); изображение при плохой освещенности (б, д); ложное срабатывания при схожести цвета (в, е)

Однако в хороших условиях работа этого алгоритма очень точна. На расстоянии в 40 см, алгоритм работал с безупречной точностью для определения длин объектов, а при определении расстояния до объекта на расстоянии около 60см была получена погрешность в 0,3мм что составляет 0,05% от искомой величины (рис. 8).

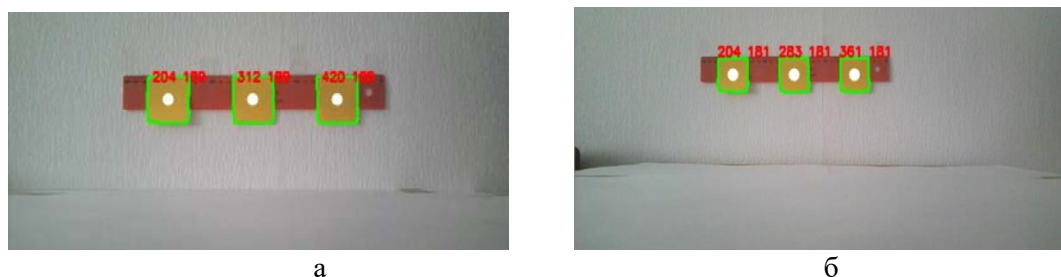


Рис. 8. Определение погрешности: на расстоянии 425мм (а); на расстоянии 585мм (б)

Можно использовать такой подход для отслеживания человека, например по цвету одежды, но из-за различной освещенности присутствуют дефекты определения контура объекта, однако, если усреднить полученные координаты можно рассчитать близкие к реальным. Этот метод полностью игнорирует маленькие детали если они другого цвета, например руки, однако его производительность крайне высока примерно 160 кадров в секунду. У нейросети MobileNet SSD была получена точность детектирования человека в пределах 98 – 100% и скорость обработки была 20 кадров в секунду (рис. 9).



Рис. 9. Результат детектирования человека: пороговой бинаризации (а); нейросети (б)

В ходе данной работы были изучены алгоритмы компьютерного зрения такие как бинаризация с помощью двойной пороговой фильтрации, преобразование Хафа с его модернизациями, детектор границ Канни и применение разных архитектур современных нейронных сетей. Проведены эксперименты по реализации теоретических сведений и дана оценка их работе. В ходе выполнения решена задача разработки системы компьютерного зрения для локализации объектов в реальном времени, разработанный алгоритм на основе двойной пороговой бинаризации и контурного анализа, с использованием цветовой маркировки обладает работоспособностью в реальном времени.

Литература

1. Исрафилов Х.С. Исследование методов бинаризации изображений // Вестник науки и образования. 2017. Т. 2. №6 (30). С. 43–50. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-binarizatsii-izobrazheniy> (дата обращения: 17.05.2020).
2. Understanding & Implementing Shape Detection using Hough Transform with OpenCV & Python [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://disq.us/t/3p4jv39>. (дата обращения: 17.05.2020).
3. Sofiane Sahir. Canny Edge Detection Step by Step in Python – Computer Vision [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/canny-edge-detection-step-by-step-in-python-computer-vision-b49c3a2d8123> (дата обращения: 17.05.2020).
4. Зенин А.В. Анализ методов распознавания образов // Молодой ученый. 2017. № 16 (150). С. 125-130. URL: <https://moluch.ru/archive/150/42393/> (дата обращения: 17.05.2020).
5. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. СПб.: Питер. 2018. 400 с.: ил. (Серия «Библиотека программиста»).

Послянова Ольга Николаевна

Год рождения: 1996 г.

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

Институт информационно-навигационных систем,

студент группы № R42301,

направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления движением и навигация,

e-mail: posljanova@yandex.ru

Юльметова Ольга Сергеевна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н., доцент,

e-mail: olga@yulmetova.ru

УДК 621.373.826

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
УЗЛОВ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
О.Н. Послянова, О.С. Юльметова**

Аннотация

В работе рассматривается применение лазерных технологий в качестве средства формообразования узлов роторной управляемой системы. Исследуется метод лазерной полировки и лазерного профилирования поликристаллических алмазных вставок упорного подшипника, обеспечивающий улучшение смачиваемости поверхностей с целью снижения температуры и создания эффекта самоподдерживания. Исследуется метод лазерного конфигурирования магниточувствительного тонколистового сердечника феррозондового инклинометра, позволяющий сохранить магнитные свойства сплава и повысить технико-экономическую эффективность процесса изготовления.

Ключевые слова

Поликристаллический алмаз, магниточувствительный сплав, феррозондовый инклинометр, роторная управляемая система, лазерная обработка.

Введение

Высокие темпы развития современного гиросприборостроения требуют разработки и освоения новых прогрессивных технологий. В последнее время широкое распространение получили лазерные технологии, которые практически не имеют ограничений по спектру обрабатываемых материалов.

На сегодняшний день в области подземной навигации управляемое роторное бурение (УРБ) является одной из наиболее интенсивно развивающихся технологий строительства скважин сложного профиля. Однако в настоящее время в российской нефтегазовой промышленности используются зарубежные роторные управляемые системы (РУС), так как серийно изготавливаемых отечественных РУС не существует. Ввиду этого важной является задача разработки и создания отечественной роторной управляемой системы в рамках мероприятий по импортозамещению [1].

В конструкцию роторной управляемой системы входят упорные и радиальные износостойкие подшипники. Подшипник представляет собой кольцо-основание с цилиндрическими вставками (рис. 1).

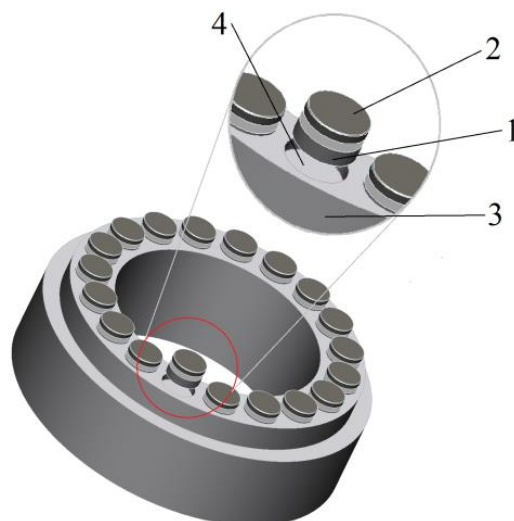


Рис. 1. Конструкция упорного подшипника: 1 – подложка из карбида вольфрама, 2 – слой поликристаллического алмаза, 3 – кольцо-основание из нержавеющей стали, 4 – соединение пайкой

Во время эксплуатации рабочие поверхности вставок, выполненные из поликристаллического алмазного композита, подвергаются повышенным вибрационным и ударным нагрузкам, следствием чего являются процессы терния и износа. Изготовление алмазоподобных вставок довольно трудоемкий и дорогостоящий процесс, что определяет их высокую цену. В связи с этим для минимизации трения и износа возникает необходимость формирования на рабочей поверхности вставок профиля заданной геометрии с целью улучшения условий смачиваемости трущихся поверхностей для снижения температуры и создания эффекта самоподдерживания. Однако механическая обработка поликристаллического алмаза является проблематичной в связи с повышенной твердостью композита. По этой причине актуальным является поиск альтернативных путей обработки, в качестве которых предложено исследовать лазерные технологии.

Помимо износостойких подшипников при создании РУС большое внимание уделяется изготовлению феррозондовых инклинометров, которые используются в различных компоновках буровых систем. Главным элементом феррозондового инклинометра является сердечник из магниточувствительного материала (рис. 2).

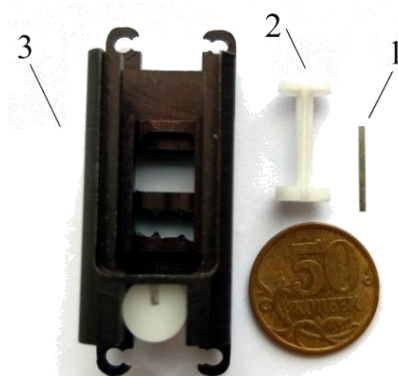


Рис. 2. Конструкция феррозонда: 1 – магниточувствительный тонколистовой сердечник, 2 – керамический каркас, 3 – корпус

Подобные сердечники изготавливают из аморфных сплавов в виде тонколистовых лент. В процессе изготовления крайне важно сохранить магнитные свойства материала и выдержать заданные габариты. Традиционно сердечники изготавливают либо механической штамповкой, либо электроэрозионной резкой. Однако оба метода имеют свои недостатки. При механической штамповке материал подвергается деформации из-за его малой жесткости. При электроэрозионной резке за счет повышенной температуры в зоне обработки происходит залипание материала, что приводит к большому проценту отбраковки. Ввиду этого актуальным является исследование метода лазерного конфигурирования сердечника феррозондового инклинометра.

Лазерная полировка

Научный интерес представляет исследование лазерной полировки поверхности поликристаллического алмаза. В данном случае полировка необходима для повышения чистоты поверхности и уменьшении трения. В ходе исследования лазерной полировки опытным путем производился поиск оптимального режима, при котором достигается наименьшее значение шероховатости поверхности. Варьировались такие параметры как мощность, скорость, частота и длительность импульсов лазерного воздействия [2].

Образец с набором экспериментальных режимов представлен на рис. 3.

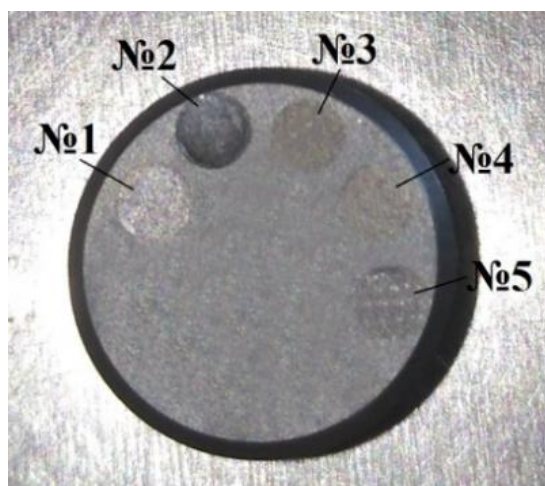


Рис. 3. Внешний вид вставки с набором экспериментальных режимов

При визуальном осмотре установлено, что наименьшей шероховатостью обладает поверхность №1, так как она стала более гладкой и блестящей.

Для анализа изменения шероховатости были рассчитаны параметрические и непараметрические критерии оценки шероховатости на основе снятых профилограмм поверхностей (таб. 1). В качестве параметрических критериев рассчитаны среднее арифметическое отклонение, высота неровностей по 10 точкам (5 максимумов и 5 минимумов), высота сглаживаний в виде среднеквадратического отклонения и максимальная высота профиля. Для оценки непараметрических критериев шероховатости была построена кривая Аббота, представляющая собой кривую суммарной частоты ординат профиля, которая характеризует процентное содержание материала на каждой ординате [3].

Аналитические расчеты подтвердили, что поверхность после обработки режимом №1 обладает наименьшей шероховатостью.

Таким образом, предлагаемый метод лазерной полировки позволяет уменьшить шероховатость поверхности поликристаллического алмаза (таб. 2).

Таблица 1

Критерии оценки шероховатости

Режим	–	№1	№2	№3	№4	№5
Параметрические критерии						
Среднее арифметическое отклонение Ra , мкм	1,33	0,90	4,70	1,69	1,21	1,16
Высота неровностей Rz , мкм	6,34	4,90	18,53	9,15	6,62	5,78
Высоты сглаживания Rq , мкм	1,63	1,12	5,60	2,15	1,47	1,46
Максимальная высота профиля $Rmax$, мкм	7,22	5,84	26,67	11,57	7,81	7,45
Непараметрические критерии						
Усредненная высота выступов Rpk , мкм	0,72	0,64	2,98	3,93	1,76	1,17
Глубина неровностей профиля Rk , мкм	4,58	3,14	17,13	4,88	4,11	3,97
Усредненная глубина впадин Rv , мкм	1,92	2,05	9,37	2,77	1,95	2,35

Таблица2

Режим лазерной полировки №1

Этап	Мощность P , Вт	Частота импульсов ν , кГц	Скорость луча V , мм/с	Длительность импульса τ , нс	Количество проходов
I	4	25	100	30	1
II	10	20	120	30	1

Лазерное профилирование

Следующее исследование направлено на создание профилей с целью улучшение смачиваемости поверхностей смазкой для снижения температуры и создания эффекта самоподдерживания.

Лазерное профилирование осуществлялось в два этапа: на первом этапе формировалось основное перекрестие толщиной линии 750 мкм и глубиной 250 мкм, а на втором – вспомогательные канавки толщиной линии 500 мкм и глубиной 125 мкм.

Геометрию профиля необходимо выбирать такой, чтобы во время эксплуатации осуществлялся захват и циркуляция смазки по канавкам. При этом для создания эффекта самоподдерживания необходимо, чтобы смазка, которая нагнетается за счет вращения колец подшипника, не вытекала из канавок, создавая давление между трущимися поверхностями, тем самым увеличивая зазор. В данном случае выбор профиля обоснован методологией дальнейших триботехнических испытаний. Образец с полученным профилем представлен на рис. 4.

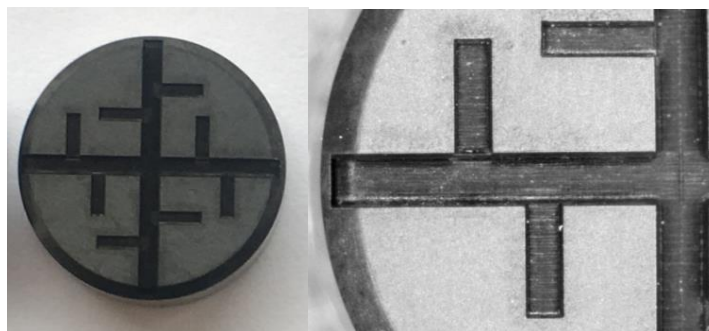


Рис. 4. Внешний вид образца после лазерного профилирования

Параметры оценки шероховатости показали, что шероховатость поверхности существенно увеличилась: среднее арифметическое отклонение Ra увеличилось с 1,33 мкм до 3,17 мкм, а максимальная высота профиля R_{max} – с 7,22 мкм до 23,30 мкм. Данный режим является грубым и предназначен для испарения относительно большого слоя материала. При предъявлении требований по чистоте канавки необходимо использовать дополнительные полировочные режимы, рассмотренные ранее.

Образцы с полученным профилем и без профиля подверглись триботехническим испытаниям. Результаты выявили, что при одинаковой нагрузке и времени трения с поверхности поликристаллического алмаза без профиля стирается 5 мкм, а с профилем 1 мкм, т.е. профилирование рабочих поверхностей поликристаллических вставок позволяет существенно повысить их износостойкость.

Таким образом, предлагаемый метод лазерного профилирования позволяет получить контур заданной геометрии на поверхности поликристаллического алмаза с небольшими затратами и за короткий промежуток времени (таб. 3).

Таблица 3

Режим лазерного профилирования

Этап	Мощность P , Вт	Частота импульсов ν , кГц	Скорость луча V , мм/с	Длительность импульса τ , нс	Количество проходов
I	10	20	100	100	20
II					10

Лазерное конфигурирование

Последнее исследование направлено на лазерное конфигурирование магниточувствительного сердечника. При изготовлении сердечника очень важно сохранить магнитные свойства сплава 71КНСП, из которого изготавливают данные сердечники, т.к. магнитные свойства определяют работоспособность сердечника. Однако в процессе лазерного конфигурирования под воздействием температуры происходят окислительные процессы, которые неблагоприятно сказываются на магнитных свойствах.

Для анализа подобных процессов обычно используется метод рентгенофазового анализа, который позволяет выявить химические соединения после обработки. Однако сплав 71 КНСП является аморфным, поэтому оценить степень структурно-фазовых изменений данным методом практически не представляется невозможным. Вследствие этого был выполнен термодинамический анализ, согласно которому разрешенность протекания реакции определяется величиной и знаком изобарно-изотермического потенциала данной реакции, и проведена кинетическая оценка скорости протекания реакции с помощью уравнения Аррениуса (1) [4, 5].

$$\Delta G^*_T = \Delta G^0_T - kRT \cdot \ln P_g, \quad (1)$$

$$K = A \cdot \exp^{-E/RT},$$

где ΔG^*_T – изобарно-изотермический потенциал (энергия Гиббса) с учетом парциального давления компонентов газовой среды; ΔG^0_T – значение изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса) при нормальных условиях; P_g – парциальное давление газа; R – универсальная газовая постоянная; T – температура процесса; k – стехиометрический коэффициент, A – скорость протекания реакции, E – энергия активации [4, 5].

В результате расчетов выявлено, что ухудшение магнитных свойств при лазерном

конфигурировании аморфной ленты вызвано преимущественно избыточным формированием оксидов железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 .

Для минимизации окислительных процессов было предложено производить лазерное конфигурирование в среде инертного газа – аргона. Изобарно-изотермические потенциалы реакций, протекающих при лазерном конфигурировании на воздухе и в среде аргона представлены на рис. 5.

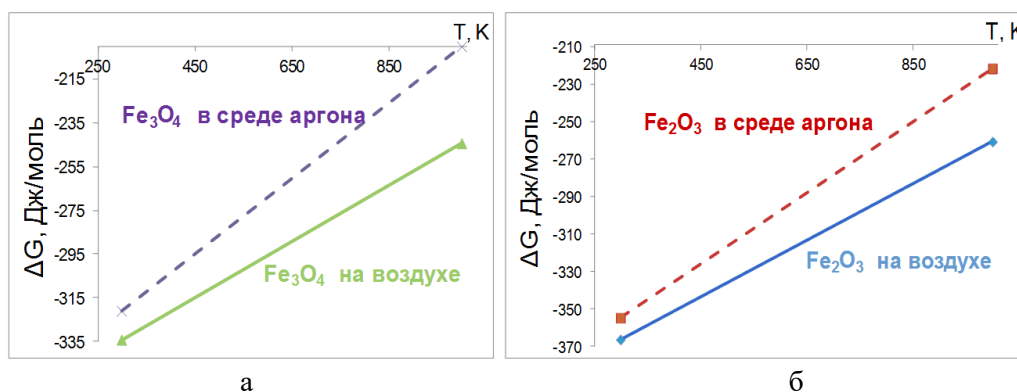


Рис. 5. Изменение изобарно-изотермического потенциала при лазерной обработке на воздухе и в среде аргона оксидов железа Fe_3O_4 (а) и Fe_2O_3 (б)

В ходе исследований конфигурирование сердечников осуществлялось на воздухе и в среде аргона. Химический элементный анализ свидетельствует об уменьшении степени окисления при обработке в среде аргона, т.к. содержание кислорода снизилось с 13,93 вес. % до 1,65 вес. %, т.е. на порядок, что подтверждается данными, полученными на электронном микроскопе (рис. 6).

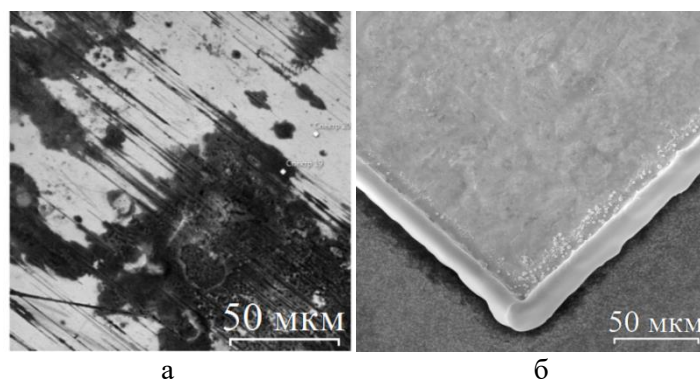


Рис. 6. Снимки поверхности сердечников после лазерной обработки на воздухе (а) и в среде аргона (б)

Из снимков видно, что на поверхности сердечника после лазерной обработки на воздухе образовался налет оксидной пленки (рис. 6а). Помимо этого, сердечники подверглись исследованиям магнитно силовой микроскопии с использованием режима фазового контраста. Методика исследований основана на двух проходах МСМ зонда, покрытого ферромагнитной тонкой пленкой кобальта. Результаты исследований подтвердили факт сохранения магнитных свойств сплава после лазерного конфигурирования в среде аргона.

Таким образом, предлагаемый метод лазерного конфигурирования позволяет формировать магниточувствительные сердечники с сохранением магнитных свойств (таб. 4).

Режим лазерного конфигурирования

Этап	Мощность Р, Вт	Частота имп ульсов ν , кГц	Скорость луча V, мм/с	Длительность импульса τ , нс	Газовая среда	Количество проходов
I	30	20	100	20	Аргон	15
II	15		150			

Заключение

В рамках экспериментальных исследований разработаны основанные на лазерных технологиях методы формообразования узлов роторной управляемой системы таких, как поликристаллические алмазные вставки упорного подшипника и тонколистовые, выполненные из аморфного сплава, магниточувствительные сердечники феррозондового инклинометра.

Проведены исследования технологических особенностей процесса лазерной обработки поверхности поликристаллического алмаза и разработаны методы лазерной полировки и лазерного профилирования поликристаллической алмазной вставки, позволяющие повысить износостойкость подшипника.

Проведены исследования технологических особенностей процесса лазерной обработки тонколистового магниточувствительного сплава и разработан метод лазерного конфигурирования сердечника на основе термодинамического анализа и кинетической оценки окислительных реакций, позволяющий сохранить магнитные свойства сплава. Обоснована эффективность использования парциального давления компонентов газовой среды в качестве управляющего фактора процесса лазерного конфигурирования.

Результаты экспериментальных исследований согласуются с аналитическими расчетами, а также с результатами анализов структурно-фазового состава и топологии поверхности.

На основе сравнения с альтернативными методами обработки прецизионных узлов РУС показаны и обоснованы преимущества разработанных методов лазерного формообразования, к которым относятся: высокая производительность процесса, минимальные производственные затраты, отсутствие необходимости изготовления дополнительных средств оснащения, гибкость технологии, обусловленная оперативной и мало затратной перенастройкой оборудования при изменениях типоразмеров обрабатываемых деталей и узлов.

Литература

1. Биндер Я.И., Гутников А.Л., Розенцвейн В.Г., Соколов Д.А. Отечественная система управляемого роторного бурения // Журнал «Каротажник». Тверь. 2018. 77–89 с.
2. Вейко В.П., Петров А.А., Самохвалов А.А. Введение в лазерные технологии. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии» под редакцией Вейко В.П.: СПб: Университет ИТМО. 2018. 161 с.
3. Валетов В.А., Тертяков С.Д. Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей / Учебно-методическое пособие, СПб.: СПб ГУИТМО. 2005.
4. Термические константы веществ. Вып. VII. Т. 2 / Под ред. Глушко В.П. М.: АН СССР. ВИНТИ. 1974. 343 с.
5. Нечаев В.В., Полянский А.А., Елманов Г.Н. Введение в прикладную феноменологическую термодинамику: Учебник. М.: МИФИ. 2006. 400 с.: ил.

Румянцева Мария Юрьевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42111,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: mari.s70c3@gmail.com

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н.,

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.93'1

**АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ
КАМНЕЙ В ПОТОКЕ НА КОНВЕЙЕРЕ ПО ВИДЕО**

М.Ю. Румянцева

Научный руководитель – к.т.н. П.В. Балакшин

Аннотация

В рамках работы проведено исследование способа автоматизации гранулометрического анализа с использованием нейронной сети U-Net. Рассмотрен базовый метод с использованием алгоритмов классического компьютерного зрения, на основе результатов которого подготовлена обучающая выборка, и основной метод на основе нейросети. Проведена оценка эффективности методов.

Ключевые слова

Гранулометрический анализ, нейронные сети, U-Net, автоматизация, компьютерное зрение.

В настоящий момент в ряде предприятий переработки руды управление мельницей для дробления реализовано за счёт визуальной оценки распределения камней по размеру. Проблема данного метода заключается в том, что такая оценка является неточной и субъективной, так как человеку сложно оценить реальное соотношение больших, средних и маленьких камней руды на конвейере.

Решением проблемы является автоматизация гранулометрического анализа с помощью компьютерного зрения [1, 2]. Гранулометрический анализ – распределение камней руды по крупности, характеризующееся процентным выходом от массы или количества кусков руды. Гранулометрический состав – важный физический показатель качества руды. Состав руды влияет на дальнейшее дробление и измельчение, так как при преобладании крупных камней мельницу необходимо убыстрять, при преобладании мелких – замедлять для повышения эффективности работы агрегата.

Стандартом для оценки распределения частиц является ситовой анализ, применяемый к забору пробы (1 м³) руды из контейнера и дальнейшего просеивания сквозь сита разной размерности. Точность данного метода низкая, так как он работает на допущении, что распределение камней в пробе и контейнере совпадают. Дорогостоящими методами, требующими дополнительного оборудования, являются инфракрасная трёхмерная съемка, трёхмерное лазерное сканирование, флуоресцентный рентгеногориометрический анализ. Существующие промышленные решения являются проприетарными. Продукты для гранулометрического анализа конфигурируются для

конкретного производства в связи с отличающимися условиями. Чаще всего предприятиям предлагается готовый аппаратно-программный комплекс, сконфигурированный под конкретное предприятие, однако, это не всегда допустимо. В данной работе исследуется возможность автоматизации построения распределения камней по размеру с помощью применения компьютерного зрения к существующим данным, которым является видео с конвейера.

Осуществление гранулометрического анализа происходит следующим образом:

- 1) получение изображения с камеры;
- 2) предобработка изображения;
- 3) определение камней на конвейере;
- 4) дополнительный шаг: отслеживание камней;
- 5) построение распределения.

Цель предобработки изображений – подготовить исходные данные изображения для извлечения необходимой нам информации, повысить вероятность определения именно тех объектов, которые нам необходимы. Исходные кадры с конвейера требуют предобработки, так как имеют низкую яркость, и объекты сложно различимы. Дополнительную сложность вносит однородность объектов. Задача предобработки - выделить объекты для дальнейшего анализа.

Предварительная обработка кадра (рис. 1) включает в себя:

1. Кадрирование изображения для выделения ленты конвейера. Кадрирование является наиболее простым шагом предобработки и позволяет не выявлять лишних деталей.
2. Уменьшение шума путём применения размытия по Гауссу. Фильтр Гаусса часто применяется для сглаживания изображения, удаления шумов и улучшения структуры изображения.
3. Эквализация гистограммы. Данная операция позволяет повысить яркость и контраст изображения. Цель эквализации – преобразование гистограммы таким образом, чтобы она соответствовала нормальному закону распределения.



Рис. 1. Процесс предобработки изображения

Основная проблема исследования – **определение камней на конвейере**. Для решения этой задачи необходимо произвести сегментацию изображения, выделив пиксели, принадлежащие камням или фону (к фону так же относятся элементы конвейера). Существуют два ключевых подхода к сегментации: на основе выделения границ и на основе метода выращивания регионов, а также смешанный подход. Простые методы не могут полностью решить задачу детектирования камней на плоскости, однако, их использование эффективно в качестве этапов сегментации. Метод водораздела относится к методам выращивания регионов и является одним из самых популярных и эффективных методов сегментации.

Суть метода водораздела заключается в обнаружении маркеров [3], которые будут являться точками локального минимума, точек, находящихся на возвышенности и точек, находящихся на склоне, с которых вода разных цветов будет сливаться к центру водоёма.

Алгоритм работы метода водораздела следующие:

- а. В местах локального минимума образуются отверстия, через которые вода

начинает заполнять поверхность.

б. Если вода с двух сторон возвышенности готова слиться в один бассейн, то необходимо установит перегородку между бассейнами.

с. Когда вода заполнит всё изображение, то алгоритм можно остановить.

Использование водораздела часто приводит к сильной сегментации, поэтому чаще всего используют водораздел на основе маркеров. Маркер являет собой точку локального минимума, на основе которого будет выбран бассейн. Маркеры возможно расставлять как вручную, так и автоматически (рис. 2).



Рис. 2. Процесс расстановки маркеров и вычисление маски

Оценка точности определения камней на конвейере была произведена с помощью матрицы ошибок (таб. 1), в которой сравнивались маски сегментации, построенные вручную и с помощью нейронной сетью. Если пересечение между реальной и сегментированной маской превышало 70%, то сегментация признается истинно положительной (TP, Truepositive), иначе результат признавался ложноположительным (FP, Falsepositive). Истинно отрицательный результат (TN, truenegative) не применим к данной задаче, и на всех изображениях равен нулю.

Выделенный объект классифицировался как ложноотрицательный результат (FN, Falsenegative), если камень был определён как фон, т.е. не определён вообще. Вычисление происходило на основе 10 случайно выбранных изображений конвейера, прошедших предобработку (размер 256x256 пикселей, 8-бит, градации серого). На основе этих данных были вычислены следующие метрики: точность (1) и полнота (2). Точность позволяет определить долю верно определённых объектов относительно всех объектов. Полнота характеризует долю определённых объектов относительно всех объектов.

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

$$recall = TP/(TP + FN) \quad (2)$$

Таблица 1

Матрица ошибок и метрики метода водораздела

Вычисленное	Реальное положение		Точность	Полнота
	Камни	Фон		
Камни	TP = 736	FP = 490	60%	84%
Фон	FN = 134	TN = 0		

Из таб. 1, построенной на базе выборки из 10 изображений, видно, что метод водораздела не обеспечивает высокую точность, но значение полноты, превышающее значение точности, позволяет сделать вывод, что это происходит вследствие выделения большого количества лишних (falsepositive) объектов, таких как детали конвейера.

Таким образом, метод водораздела не подходит для определения камней на конвейере, однако его можно использовать как базовый метод для обучения нейросети.

В качестве нейронной сети выбрана сеть U-Net [4], которая считается одной из стандартных архитектур свёрточных нейронных сетей, используемых для задач сегментации изображений. Особенность данной нейронной сети в том, что она позволяет сегментировать область по классу, т.е. создать маску, позволяющую разделить изображение на несколько классов [5].

Изображения обучающей выборки, полученные с помощью метода водораздела, были модифицированы с использованием графического редактора. Убраны ошибочно выделенные объекты, такие как детали конвейера, убраны распознанные как крупные камни области песка (ошибка разделения мелких частиц), выделены границы для нескольких камней, распознанных как один, или убраны для камней, распознанных как несколько.

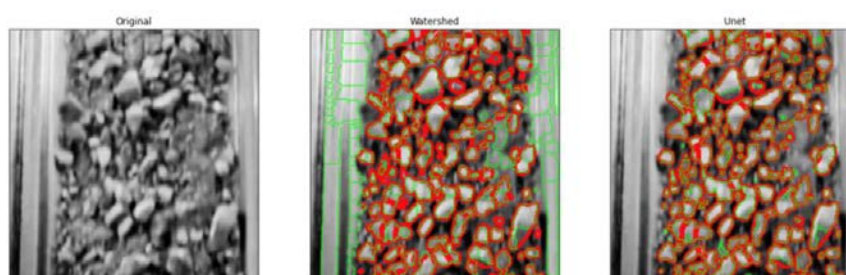


Рис. 3. Сравнение результатов сегментации методами водораздела и с помощью нейронной сети

Экспериментальным образом было подобрано время обучение в течение 5 эпох и 2000 шагов в каждой эпохе. Полученное значение функции потерь 0.15, полученная точность - 98.5 обучения. Проверим результат работы алгоритма на тестовой выборке, не пересекающейся с обучающей. Согласно таб. 2, достигнута точность около 95%, что значительно превышает метод водораздела. Относительно классических методов компьютерного зрения, нейронная сеть обучена таким образом, что не выделяет области мелких камней как один большой камень (ошибка разграничения частиц), что является плюсом (рис. 3). Однако, при использовании этого метода, как и все методов, использующие двумерные изображения, сложно избежать ошибку профиля, то есть неправильного определения реального размера камня из-за тени.

Таблица 2

Матрица ошибок и метрики нейронной сети

	Реальное положение		Точность	Полнота
Вычисленное	Камни	Фон	94,4%	94,9%
Камни	TP = 947	FP = 56		
Фон	FN = 23	TN = 0		

Временные затраты на вычисление маски одного изображения (аппаратное обеспечение CPU Xeon Processors @2.3Ghz, GPU Tesla K80 12GB VRAM, RAM 13 GB) можно разделить на следующие: метод водораздела – 0,04 с, нейронная сеть – 0,09 с. Согласно построенной матрице ошибок и вычисленным метрикам по 10 изображениям (таблицы 1, 2) можно сделать вывод, что нейронная сеть U-Net обеспечивает точность детектирования, превосходящую метод водораздела в 1,57 раза, а время обработки одного изображения продолжительностью 0,09 с позволяет работать в реальном времени.

Оценка необходимой частоты определения происходит с помощью алгоритмов отслеживания. Детектирование необходимо проводить в реальном времени, однако эта операция занимает около 0.4-0.9 с в зависимости от метода, таким образом необходимо определить время прохождения камня между нижним и верхним срезом конвейера, попадающими в кадр. Отслеживание объектов - область исследований компьютерного зрения, занимающаяся определением местоположения движущегося объекта при изменении во времени. Алгоритмы анализируют кадры видео и обновляет вычисленные координаты выделенного объекта. Отслеживание является более быстрой задачей чем детектирование, так как при выполнении операции отслеживания у нас есть информация об объекте с предыдущего кадра, и хороший алгоритм будет использовать всю информацию с предыдущих кадров.

Единственным сочетанием трекеров, позволяющим отслеживать конкретные камни и убирать ненужные треки, является сочетанием корреляционного и центроидного трекеров. Корреляционный трекер основан на алгоритме MOSSE (MinimumOutputSumofSquaredErrorFilter). Центроидный трекер используется в дополнение к корреляционному и позволяет связать отслеживаемые объекты с уникальными идентификаторами. Понизим количество определяемых камней, оставив для отслеживания только крупные камни, благодаря этому возможно повысить точность отслеживания и сократить время обработки одного кадра.

Для отслеживания выделяется набор камней с максимальным номером, присутствующим на первом из кадров. Дальнейшая задача - определить номер кадра, когда большинство из этих камней пропадут из области видимости.



Рис. 4. Процесс отслеживания

Для первого кадра (рис. 4) были выбраны камни №№ 30, 31, 33, 32, 35. Автоматическое слежение показало исчезновение камня 30 в кадре 15, камней №№32, 35 в кадре 21, так как они были неотслеживаемыми (ошибка отслеживания корреляционного трекера). Камни 31 и 33 отслеживались до 51 кадра, по истечении этого кадра они исчезли из поля зрения. Можно считать, что период прохода одного камня от начала до конца конвейера – 50 кадров. Соответственно, это будет являться начальной частотой расчёта распределения.

Финальным этапом является **построение распределения** по результатам детектирования камней на ленте конвейера мы можем построить диаметр Ферета (опоясывающая рамка, перпендикулярная осям X и Y) для каждого из камней.

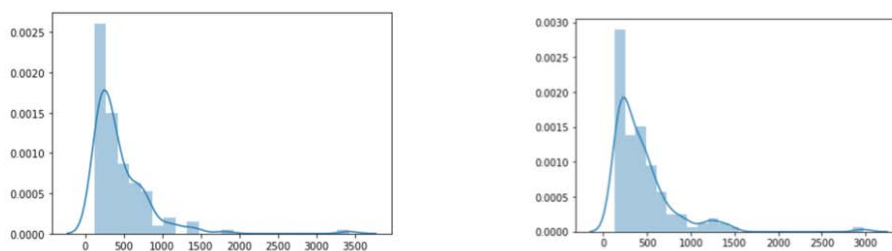


Рис. 5. Построенное распределение

На основе этих данных мы можем построить гистограмму (рис. 5), которое будет показывать распределение камней по размеру на данном участке конвейера. В качестве размера берётся площадь полученного прямоугольника.

На построенном примере распределения мы можем видеть преобладание камней небольшой площади. На основе накопленных данных распределения определяются пороговые значения размеров камней, по которым можно определять крупность для управления мельницей.

В результате данной работы получен набор методов для автоматизации гранулометрического анализа, в том числе для детектирования камней на конвейере и определения частоты детектирования.

Наилучший результат детектирования показало использование нейронной сети U-Net, предназначенной для семантической сегментации изображений. Нейронная сеть была обучена на выборке, созданной с помощью метода водораздела, скорректированного вручную.

На основе отслеживания объектов можно определить, сколько кадров требуется на то, чтобы камень прошёл по всей ленте конвейера, иными словами, раз в какое количество кадров необходимо запускать процесс детектирования. Несмотря на достаточную низкую точность, для этого процесса лучше подходит сочетание корреляционного и центроидного трекеров, так как они позволяют отслеживать конкретные объекты.

Литература

1. Hamzeloo E., Massinaei M., Mehrshad N. Estimation of particle size distribution on an industrial conveyor belt using image analysis and neural networks // Powder Technology. 2014. Vol. 261. P. 185–190.
2. PratimAcharjya P., Ghoshal D. Watershed Segmentation based on Distance Transform and Edge Detection Techniques // International Journal of Computer Applications. 2012, Aug. Vol. 52. P. 6–10. DOI: 10.5120/ 8259-1792.
3. Gonzalez M., Ballarin V. Automatic marker determination algorithm for watershed segmentation using clustering // Latin American Applied Research. 2009. July. Vol. 39. P. 225–229.
4. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). Vol. 9351. Springer. 2015. P. 234–241. (LNCS). URL: <http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/Publications/2015/RFB15a> (дата обращения 05.05.2020).
5. Liu X., Ore image segmentation method using U-Net and Res_Unet convolutional networks // RSC Adv. 2020. Vol. 10. Is. 16. P. 9396-9406. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/C9RA05877J> (дата обращения 14.05.2020).

Рысьева Ирина Андреевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42002,

направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника,

e-mail: ira.stokolias@gmail.com

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н.,

e-mail: pvalakshin@gmail.com

УДК 004.932:791.41

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ
ИЗОБРАЖЕНИЯ 360 ГРАДУСОВ**

И.А. Рысьева

Научный руководитель – к.т.н. П.В. Балакшин

Аннотация

В работе проведен анализ алгоритма компьютерного зрения по преобразованию изображений 360 градусов с целью повышения производительности программы обработки изображений. Выделены способы введения многопоточности в процесс обработки изображений и определено влияние опций JVM на производительность программы. Выделена наиболее производительная комбинация введения многопоточности и параметров запуска в виртуальной машине Java для программы, реализованной на языке программирования Kotlin.

Ключевые слова

360 градусов, сферическая панорама, эквидистантная проекция, производительность, JVM, многопоточность, Kotlin.

Процесс формирования сферических панорам является процессом обработки набора из двух или более исходных изображений, включающим геометрическое преобразование изображений, совмещение изображений и формирование итогового представления панорамы. В качестве итогового представления преимущественно используется эквидистантная проекция. Для формирования эквидистантной проекции используется специальное программное обеспечение. Существует ряд программ обработки изображений 360 градусов каждая из которых имеет ряд преимуществ и недостатков. Одним из важных аспектов в процессе обработки является время обработки изображений, так как в случае большого количества наборов исходных данных для создания панорам процесс обработки может занимать значительное время. Одни из наиболее популярных программ обработки изображений 360 градусов – это KolorAutoPanoGiga и Gear 360 ActionDirector. В процессе анализа работы программ было определено, что программы реализованы в однопоточном режиме. Данные реализации не используют в полной мере ресурсы вычислительных машин и обладают сравнительно невысокой производительностью. Так как среди готовых программных

решений, не выявлено программ, работающих в многопоточном режиме, то для повышения производительности процесса обработки изображений в рамках работы предложено введение параллельной обработки изображений в алгоритме преобразования, а также настройка оптимальных параметров запуска программы. Данное введение в процесс обработки изображений позволяет повысить производительность программы и сократить время обработки исходных данных для формирования большого количества сферических панорам.

Целью работы является повышение производительности программы обработки изображения 360 градусов путем введения многопоточности в работу программы и комплексного изменения параметров запуска программы.

На основании программы, реализованной в рамках бакалаврской выпускной квалификационной работы «Автоматизация обработки изображения формата 360 градусов», проведен анализ алгоритма преобразования исходного набора изображений к эквидистантной проекции. Программа реализована на языке программирования Java и использует для процесса преобразования изображения алгоритмы геометрического преобразования, предоставляемые библиотекой компьютерного зрения BoofCV. Для набора исходных данных из двух фотоснимков с искажением «Рыбий глаз» представленных на рис. 1 алгоритм состоит из следующих этапов:

- 1) загрузка первого исходного изображения;
- 2) загрузка информации о коэффициентах искажения для первого изображения из заранее подготовленного калибровочного файла;
- 3) вычисление дополнительных коэффициентов преобразования, на основании калибровочных данных;
- 4) геометрическое преобразование первого изображения к проекции на плоскость согласно считанным и вычисленным коэффициентам;
- 5) выполнение этапов 1-4 для второго исходного изображения;
- 6) совмещение проекций двух изображений;
- 7) сохранение итогового изображения эквидистантной проекции [1].



Рис. 1. Исходный набор данных с камеры SamsungGear 360

Результат обработки изображения в представлении эквидистантной проекции представлен на рис. 2.



Рис. 2. Эквидистантная проекция

Введение параллелизма в алгоритм обработки изображения возможно путем параллельной обработки каждого из изображений исходного набора фотографий, т.е. этапы 1-4 для каждого из изображений можно осуществлять параллельно.

В ходе введения параллелизма было проведено портирование программы на язык программирования Kotlin. Для осуществления параллельных вычислений на языке программирования Kotlin доступны два способа: введение многопоточности и использование сопрограмм (коррутин) [2].

Для каждого из способов проведены измерения времени обработки исходного набора изображений. Для экспериментов подготовлен набор данных из 10 пар исходных изображений, а измерения проводились 10 раз. Среднее время обработки одного изображения для однопоточной, многопоточной и реализации с использованием сопрограмм представлены в таб. 1. Измерения проводились на вычислительной машине со следующими характеристиками:

- 4-х ядерный процессор 1,4 GHz Intel Core i5;
- 16 ГБ оперативной памяти 2133 MHz LPDDR3.

Таблица 1

Время обработки изображения

Способ реализации	Язык программирования	Среднее время обработки одного изображения
Однопоточная реализация	Java	57,025
Однопоточная реализация	Kotlin	55,127
Многопоточная реализация	Kotlin	33,203
Сопрограммы	Kotlin	60,312

По результатам измерений следует отметить, что введение многопоточности в программу значительно уменьшает время обработки одного изображения, в то время как при использовании сопрограмм время обработки изображения увеличилось. Данное поведение обосновано тем, что диспетчер управления сопрограммами требуют дополнительных переключений процессов для выбора исполняемой сопрограммы, а сами сопрограммы выполняются последовательно, так как каждая из сопрограмм не имеет простого ожидания информации извне или от других сопрограмм.

Учитывая, что программа запускается в виртуальной машине Java (JVM), проведен анализ опций JVM, которыми запускается программа. Опции JVM влияют как на количество выделяемых программе ресурсов вычислительной машины, так и на поведение виртуальной машины и оптимизацию работы программы [3].

Выделены опции JVM потенциально влияющие на производительность запускаемой программы:

- -Xms = 8192m;
- -Xmx = 8192m;
- -server;
- -XX:+UseCompressedOops;
- -XX:+DoEscapeAnalysis;
- -XX:+UseLargePages.

Опции Xms и Xmx отвечают за количество выделяемой оперативной памяти для программы. Опции server, XX:+UseCompressedOops, XX:+DoEscapeAnalysis, XX:+UseLargePages являются опциями оптимизации JVM [4]. Описание опций представлено в таб. 2.

Таблица 2

Опции оптимизации JVM

Опция	Описание
-server	принудительно переключает JVM в серверный режим
-XX:+UseCompressedOops	сокращает размер указателя, там, где это возможно до 32-бит;
-XX:+DoEscapeAnalysis	оптимизирует выделение объектов на стеке
-XX:+UseLargePages	увеличивает страницы виртуальной памяти, если эта функциональность доступна в операционной системе

Для каждой из реализаций проведено 10 экспериментов с использованием опций JVM на подготовленном наборе данных из 10 пар изображений. Усредненные результаты измерений представлены в таб. 3.

Таблица 3

Опции оптимизации JVM

Способ реализации	Среднее время обработки одного изображения		Изменение показателя, относительно исходной реализации, %	
	Без опций JVM	С опциями JVM	Без опций JVM	С опциями JVM
Однопоточная реализация (Java)	57,025	57,005	0,00	0,03
Однопоточная реализация (Kotlin)	55,127	52,227	3,33	8,41
Многопоточная реализация (Kotlin)	33,203	32,923	41,77	42,26
Сопрограммы (Kotlin)	60,312	60,312	-5,76	-5,76

По результатам измерений определено, что значительных изменений во времени выполнения при изменении параметров запуска программы нет, что обосновано используемыми библиотеками и отсутствием клиент-серверной архитектуры.

Оптимальной является реализация с использованием многопоточности на языке программирования Kotlin параметрами оптимизации JVM. Такой подход уменьшает время обработки одного изображения на 42%. Таким образом, для большого набора обрабатываемых данных программа является более производительной чем однопоточные реализации программы обработки изображения.

В рамках работы получена реализация алгоритма, представленная на рис. 3 в формате UML диаграммы последовательностей.

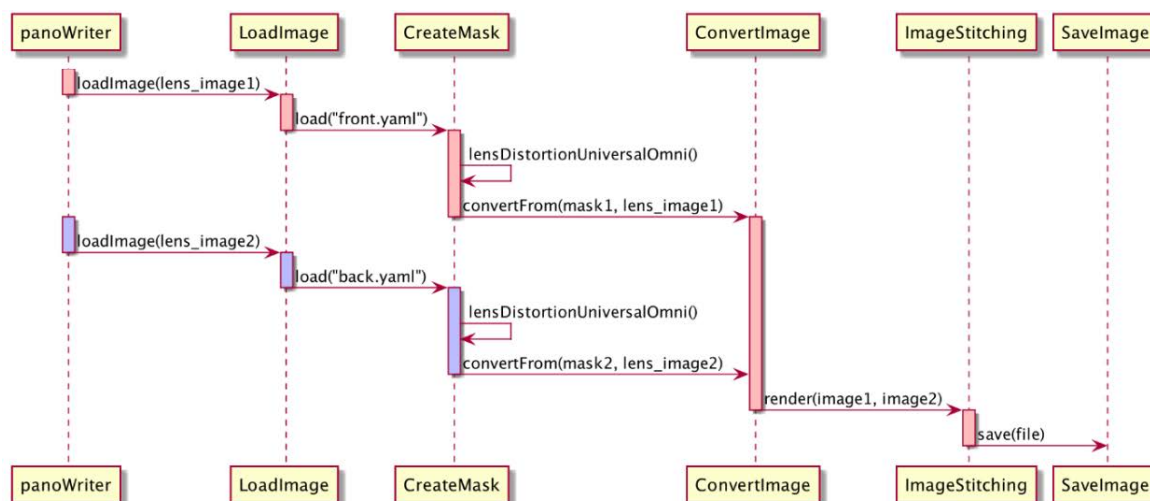


Рис. 3. Многопоточная реализация алгоритма

По результатам исследований и измерений следует отметить, что введение многопоточности дает значительный прирост в скорости обработки изображений в то время, как изменение параметров запуска программы дает минимальные изменения во времени выполнения. Таким образом, главным принципом при использовании комплексного подхода для повышения производительности программы обработки изображения является анализ и модернизация исходного кода.

Для дальнейшего развития исследования по теме работы отмечены следующие аспекты:

- введение параллельных вычислений с помощью GPU;
- введение параллельной обработки нескольких исходных наборов данных;
- разделение исходных изображений на отдельные сектора и введение параллелизма в обработку каждого из выделенных секторов.

Литература

1. BoofCVJavaDoc (0.29) – BoofCV [Электронный ресурс] / URL: <http://boofcv.org/javadoc/> режим доступа: свободный, дата обращения: 18.12.2019.
2. Жемеров Д.Б., Исакова С.С. Kotlin в действии. ДМК-Пресс. 2018 г.
3. Прендота А. В., Балакшин П.В. Компонент для интеграции исполняемых программ на языке программирования Kotlin в интернет-ресурсы – Программные продукты и системы 2019 №4. С. 690-695
4. JavaHotSpotVMOptions, URL: <https://www.oracle.com/java/technologies/javase/vmoptions-jsp.html> режим доступа: свободный.

Савостин Даниил Александрович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U42661,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: daniilsavostin96@gmail.com

Соловьёва Дина Витальевна

Год рождения: 1964

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: dinasolovieva@yandex.ru

УДК 339.138

**УПРАВЛЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМ ОПЫТОМ ПОКОЛЕНИЯ Z
НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО МАРКЕТИНГА**

Д.А. Савостин

Научный руководитель – к.э.н., доцент Д.В. Соловьёва

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

Аннотация

Управление потребительским опытом – одно из важнейших направлений стратегического маркетинга, способ построения долгосрочных отношений потребителей с брендом. В условиях высокой конкуренции не только товарных, но и ценностных предложений важно формировать тесную эмоциональную связь бренда с его целевой аудиторией. Эмоциональный маркетинг как способ управления потребительским опытом поколения Z требует методологической проработки на уровне не только концепции, но и алгоритмов и инструментов. В статье предложен комплексный метод и в его рамках ряд моделей, направленных на анализ эмоциональных полей бренда и его целевой аудитории и на разработку решений по созданию системы точек контакта, в каждой из которых потребитель получает эмоциональный потребительский опыт.

Ключевые слова

Потребительский опыт, управление потребительским опытом, теория поколений, поколение Z, инновационные маркетинговые концепции, концепция эмоционального маркетинга, омниканальность.

В настоящее время концепция эмоциональный маркетинг недостаточно глубоко проработан с точки зрения методологии и инструментального аппарата, а также его применения при управлении потребительским опытом. Эмоции являются важной частью продукта для поколения Z, они хотят получать новый опыт и впечатления от взаимодействия с брендом. Маркетинговые специалисты активно интегрируют эмоциональный маркетинг в свои стратегии, а также говорят о важности формирования тесной эмоциональной связи потребителя с брендом, о ценности понимания эмоциональных паттернов потребительского поведения на протяжении всего пути клиента.

Множество результатов исследований говорят, что эмоции являются важной частью продукта для поколения Z, зумеры хотят получать новый опыт и впечатления от взаимодействия с брендом. По данным исследования университета Иннополис 80% компаний верят, что они обеспечивают отличный потребительский опыт и только 8% их клиентов с ними согласны, поэтому также важно понимать, как формировать и управлять потребительским опытом.

Впервые идея эмоционирования брендов возникла в книге Марка Гобэ [1]. Автор утверждает, что устоявшаяся модель узнаваемости бренда для построения бренда уже потеряла свою актуальность в настоящее время. Вместо этого он предлагает новую парадигму брендинга – эмоциональную, где брендинг базируется на взаимоотношениях, сенсорных практиках, фантазии и видении. Концепцию эмоционального маркетинга специалисты рассматривают в ключе следующих основных подходов:

1) в качестве метода, с помощью которого бренд может вызвать эмоции у потребителя, затрагивая все органы чувств (зрение, слух, вкус, осязание и обоняние) [2];

2) как парадигму вовлечения клиентов в долгосрочную интимную эмоциональную связь с брендом, которая формирует между ними доверительные отношения [3].

Вовлечение потребителей в эмоциональную связь невозможно без формирования потребительского опыта соприкосновения и взаимодействия с брендом. Б. Шмитт определил потребительский опыт как сумму впечатлений клиентов, сознательных и подсознательных, полученных от взаимодействия с брендом на всём протяжении жизненного цикла клиента [4].

Потребительский опыт поколения Z в данной работе рассматривается, потому что на сегодняшний день представители этого поколения являются потребителями-инфлюенсерами, они активно делятся своим мнением и отзывами на товары в социальных сетях, что подчеркивает значимость формирования их положительного потребительского опыта. В гуманитарных науках понятие «поколение» рассматривается как «объективно складывающаяся социально-демографическую и культурно-историческую общность людей, объединёнными границами возраста и общими условиями формирования и формирования в конкретный промежуток времени» [5]. В данной работе в качестве поколения Z рассматривается период, который относится к временному промежутку 2000-2010 г.г. Чтобы выделить особенность поколения Z были рассмотрены исследования Сбербанка, К.Симлера и М. Грейс, Джини М. Твендж, Солдатовой Г.У. и прочих ученых. Для центениалов характерно выбирать бренды с высокой социальной ответственностью, которые приносят пользу социуму и формируют положительный вектор развития. Хоумлендерам важно быть вовлеченными и уверенными в том, что их мнение услышали и оно важно для бренда. Центениалы прислушиваются к мнению лидеров мнений, они лучше воспринимают видео формат, поэтому отдают предпочтение YouTube и TikTok.

На основе анализа вторичных источников, а также серии глубинных интервью, проведенных автором с представителями поколенческой группы зумеров, были сделаны следующие выводы, которые мы положили в основу метода управления потребительским опытом:

1. Зумеры предпочитают бренды, которые отражают их индивидуальность. Брендам важно соответствовать принципам, ценностям, ожиданиям или даже комплексам потребителя.

2. Эмоции являются важной частью продукта для зумеров. Зумерам интересно получать новый опыт и впечатлений от взаимодействия с брендом.

3. Зумеры ценят персонализированное предложение и взаимодействие. Возвращаясь снова и снова к одному и тому же бренду, зумеры верят, что он помнит прошлый опыт взаимодействия и хотят, чтобы в будущем учли ошибки.

4. Зумерам важно контактировать с брендом на тех площадках, которые удобны им и в то время, когда они хотят, здесь и сейчас. Они активно используют две и более социальных сети, среди которых наиболее популярны Instagram и Tik-tok.

5. Зумеры – потребители-инфлюенсеры. Получив яркий, нестандартный опыт взаимодействия с брендом, делятся информацией об этом. При негативном опыте более активны в своих отзывах, а также задействуют больше платформ для публикации.

Говоря об эмоциональном маркетинге как концепции управления потребительским опытом, мы рассматриваем его не просто как точечные механики, направленные на стимуляцию эмоций потребителей, а как методологию формирования системы тактических и стратегических решений, которые на каждой точке контакта потребителя с брендом формируют уникальный эмоциональный опыт, вовлекают в долгосрочную эмоциональную связь, создавая доверительные отношения. В рамках данного исследования потребительский опыт рассматривается, как индивидуальный прожитый, личностно-опытный результат в виде полученных эмоций, ценностей и ассоциаций с брендом, сформированный во время всех этапов взаимодействия потребителя и компании в точках контакта.

Точки контакта в данной работе рассматриваются как все моменты взаимодействия потребителя с брендом, прямого или косвенного, в которых потребитель идентифицирует бренд и формирует по отношению к нему эмоцию. Для удобства использования в рамках метода мы разработали многокритериальную классификацию точек контакта:

- по частоте взаимодействия потребителя с брендом (однократные или повторяющиеся);
- по наблюдающейся тональности реакции целевой аудитории (позитивные, негативные или нейтральные);
- по длительности привлечения внимания и вовлечения потребителя (краткосрочное, среднесрочное, долгосрочное);
- по способу воздействия на органы чувств (визуальная, аудиальная, тактильная).

Обращаясь к понятию «точки контакта», важно упомянуть особенность современного пути потребителей – омниканальность. Омниканальность – свободное переключение потребителя на разные платформы в зависимости от того, насколько выбранная платформа ему удобна. Брендам необходимо рассматривать пул различных каналов как общий механизм коммуникации с потребителем. При этом потребитель должен получать «бесшовный» опыт, не ощущая разницы между платформами.

Точное управление потребительским опытом является фундаментом успешного взаимодействия бренда с потребителем и достижения целей по формированию образа бренда в сознании потребителя и повышения лояльности по отношению к бренду. Процесс управления опытом многогранен, он включает в себя целый ряд этапов и множество деталей, которые важно не упустить; необходима разработка целостной системы управления потребительским опытом. Далее представлено авторское видение этой системы и подхода к ее созданию применительно к потребительскому опыту поколения Z, управление которым рассмотрено через призму эмоционального маркетинга.

Авторский метод представляет собой последовательность действий, состоящую из нескольких этапов, которые включают в себя методы и модели, позволяющие комплексно сформировать потребительского опыта поколения Z. Алгоритм последовательной реализации метода представлен в таблице.

**Метод управления потребительским опытом
на основе концепции эмоционального маркетинга**

ЭТАП 1. БРИФИНГ		
Опрос представителей компании (владельца бренда) и постановка задачи формирования системы управления потребительским опытом		
ЭТАП 2. ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ		
Определение целей управления потребительским опытом в отношении данного бренда (модель SMART)		
ЭТАП 3. АНАЛИЗ КОМПАНИИ И БРЕНДА		
Исследование компетенций и ресурсов компании и аудит потенциала бренда	Анализ позиционирования бренда	Анализ эмоций, транслируемых брендом
Модель VRIO-анализ	Адаптированная модель ДНК бренда по А. Элвуду	Адаптированный метод контрольных вопросов
ЭТАП 4. АНАЛИЗ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ		
Анализ трендов и бенчмаркинг	Анализ конкурирующих брендов	
PEST-анализ. Адаптация глобальных трендов под релевантный рынок	Анализ позиционирования брендов	Анализ транслируемых эмоций
	Адаптированная модель ДНК бренда по А. Элвуду	Адаптированный метод контрольных вопросов
ЭТАП 5. АНАЛИЗ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ		
Формирование портрета целевого потребителя. Сегментирование	Анализ воспринимаемых потребителями эмоций и ценностей бренда	
Аудит эмоционального профиля и ожиданий потребителей	Карта важности/ выраженности эмоций и ценностей	
ЭТАП 6. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОПЫТОМ		
Выявление пула альтернативных точек контакта	Оценка и выбор релевантных точек контакта. Формирование системы точек контакта для взаимодействия бренда с потребителем и управления потребительским опытом	
Модель формирования альтернатив эмоциональных точек контакта	Модель оценки альтернатив эмоциональных точек контакта	
ЭТАП 7. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТА		

Этап брифинга реализуется в формате очного индивидуального интервью с руководителем и сотрудниками компании. В ходе интервью выявляются ценности сотрудников, культурный код компании, эмоции, значимые для сотрудников компании в связке с брендом. Брифинг позволяет выяснить, как пересекаются ценности и эмоции, заложенные в основу внутреннего бренда с ценностями и эмоциями внешнего бренда, транслируемыми целевой аудиторией. Замечена связь с положением компании на спиральной динамике Грейвза: чем выше компания по спирали Грейвза, тем охотнее она интегрирует концепцию эмоционального маркетинга, стоит обратить на это внимание.

Далее на основе информации, полученной в ходе брифинга, приступаем к этапу целеполагания. Важно определить цели и задачи построения системы управления

опытом на базе эмоционального маркетинга. Нужно помнить, что цели и задачи должны быть сформулированы максимально точно, для этого мы можем воспользоваться технологией SMART, которая позволяет на этапе целеполагания систематизировать всю необходимую информацию, установив оптимальные сроки работы, определить необходимые ресурсы и дать участникам проектной группы конкретные задачи.

Следующий этап – анализ компании и бренда. Данный этап позволяет нам оценить ресурсы компании с точки зрения их достаточности для достижения поставленных целей, а потенциал бренда проанализировать в ключе уникальных и ценных для потребителей факторов, стратегических сил и точек роста (для этого рекомендуется использовать VRIO-анализ).

Далее в процессе анализа бренда важно определить эмоциональные и рациональные факторы, которые легли в основу позиционирования бренда и степень выраженности эмоций в позиционировании. Для определения эмоциональности бренда предлагается адаптированный метод контрольных вопросов (см. рис. 1). Далее приступаем к анализу бренд-кода (таб. 2), сделать мы это можем при помощи адаптированного метода анализа ДНК бренда по А. Элвуду в рамках концепции эмоционального маркетинга. На основе данного метода мы сможем подробно описать рациональные и эмоциональные характеристики, заложенные в ядре бренда, также рассматриваем функциональные предложения бренда и ассоциации, связанные с брендом.

Третий этап – анализ внешней среды, на данном этапе сконцентрируемся на изучении конкурентов и трендов, это позволит сформировать целостную картину относительно положения эмоционального поля конкурентов, а также локальных и глобальных трендов, поскольку соответствие бренда актуальным трендам является одним из важных пунктов при выборе продуктов поколением Z.

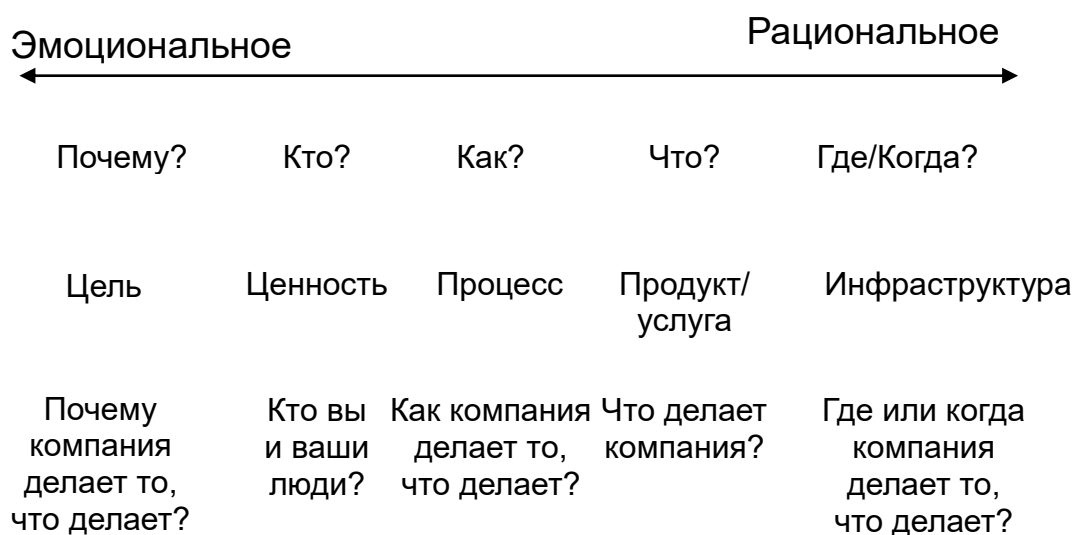


Рис. 1. Адаптированный метод контрольных вопросов для оценки заложенных в позиционирование эмоциональных и рациональных факторов

Далее мы приступаем к следующему шагу – анализ конкурентов. В первую очередь обратимся к позиционированию конкурентов, при помощи уже знакомого нам уточнённого метода контрольных вопросов, мы, рассмотрев информацию о компании конкуренте отвечаем на ряд вопросов, для выявления рационального или эмоционального ядра позиционирования. Рассмотрев позиционирование, мы

приступаем к аудиту ДНК бренда конкурентов (по ранее приведенной модели А. Элвуда), выделяем: эмоциональные и рациональные преимущества, а также изучаем брендовое предложение и имидж бренда.

Данный этап является важнейшим, поскольку, выделив и проанализировав эмоциональные послы мы сможем понять, как бренд может отстроиться от конкурентов. Также этот этап позволяет решить задачи бенчмаркинга, выявить интересные практики, используемые конкурентами.

Следующий этап — анализ потребителей. Понимание целевых потребителей является сердцем бренда, основой его идеи, сути и характера. На данном этапе нам важно просегментировать потребителей, сформулировать портрет аудитории, проанализировать восприятие ценностей и эмоций бренда потребителями, рассмотреть эмоциональный профиль, привычки и ожидания. Для построения портрета потребителей предлагается использовать разработанную авторскую карту важности эмоциональных и рациональных характеристик бренда (рис. 2). Данная модель позволяет понять, насколько потребители позитивно реагируют на эмоциональные послы бренда, в какой мере они близки потребителям и соответствуют их запросам.



Рис. 2. Карта важность/выраженность эмоциональных ценностей бренда

Для оценки понимания потребителями эмоций при проведении опроса целевой аудитории, мы можем воспользоваться колесом эмоций Р. Плутчика. Помимо важных эмоций, которые являются обязательными в бренде для потребителя, нам также необходимо определить неприемлемые эмоции, которые будут являться барьерами для потребителей. Этап исследования потребителей является завершающим в блоке анализа, по итогам которого формируется рамочная структура решений и производится их обоснование, т.е. все ключевые выводы, полученные в результате аналитического блока, должны лечь в основу разрабатываемых решений.

Далее следует блок проектирования решений. На 6 этапе приступаем к моделированию потребительского опыта, определяем список альтернативных точек контакта, где возможно соприкосновение потребителя с брендом. Важно отметить, что выявленные на данном этапе точки контакта не дублируют точки контакта, выделенные на этапе анализа потребителей при формировании карты путешествия клиента, а дополняют их.

Сгенерировав необходимое количество точек контакта, приступаем к оптимизации списка, для чего необходимо выбрать наиболее характерные для бренда точки контакта и формирующие целостное поле коммуникаций.

Проанализировав, какие точки контакта есть, какие точки контакта нужно дополнить, и как каждая из них может быть улучшена или реализована, необходимо

приступить к разработке плана действий от самого высокого приоритета (самые видимые точки соприкосновения) до самого низкого приоритета (наименее видимые точки соприкосновения). Далее необходимо разработать тактические решения – действия, которые будут осуществлены в выбранных точках. Для этого в рамках предлагаемого нами метода используется дополненная модель «SP+S».

Метод был апробирован при разработке программы коммуникаций государственного классического драматического театра – Санкт-Петербургского Молодежного театра на Фонтанке – с молодой целевой аудиторией, а также при разработке системы удержания молодой целевой аудитории бренда Befree.

Хочется отметить, что данный метод ориентирован на управление потребительским опытом поколения Z, но также может быть адаптирован для других поколенческих групп. Метод может быть применен как внутренним отделом маркетинга, так и использован в работе сторонних маркетинговых агентств. При использовании метода агентствами важно сконцентрироваться на изучении и погружении в внутренние процессы и эмоциональное поле компании заказчика.

Литература

1. Гобэ М. Эмоциональный брендинг. Новая парадигма, соединяющая брэндс с людьми. М.: издательство «BestBusinessBooks». 2014. 345 с.
2. Линдстром М. Чувство бренда. Роль пяти органов чувств в создании выдающихся брендов. М.: издательство «Эксмо». 2006. 272 с.
3. Morrison, Sharon, and Frederick G. Crane. Building the Service Brand by Creating and Managing an Emotional Brand Experience// Journal of Brand Management. 14 (5). 2007.
4. Шмит Б., Роджерс Д., Вроцос К., Бизнес в стиле шоу. Маркетинг в культуре впечатлений. М.: Вильямс. 2005. 302 с.
5. Глотов М.Б. Поколение как категория социологии// Федеральный образовательный портал «Экономика. Социология. Менеджмент». 2004 [Электронный ресурс]: <http://ecsocman.hse.ru/data/295/764/1231/005.GLOTOV.pdf> (Дата обращения: 21.02.20).

Старкова Полина Сергеевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

студент группы №А42421,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: sps_96@mail.ru

Шлейкин Александр Герасимович

Год рождения: 1944

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

д.м.н. профессор,

e-mail: agshleikin@itmo.ru

УДК 577.29

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ КЛОНАЛЬНЫХ ЛИНИЙ *KLEBSIELLA PNEUMONIAE* В ОНКОЛОГИЧЕСКОМ СТАЦИОНАРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

П.С. Старкова

Научный руководитель – д.м.н., профессор А.Г. Шлейкин

Работа выполнена в рамках гранта №18-75-10117 Российского научного фонда «Механизмы формирования успешных генетических линий множественно резистентных гипервирулентных *Klebsiellapneumoniae*».

Аннотация

В работе исследованы молекулярно-генетические характеристики и клональная структура продуцентов карбапенемаз изолятов *K. pneumoniae* полученных из онкологического центра (Санкт-Петербург). Для этого была произведена оценка разнообразия клональных групп продуцентов карбапенемаз *K. pneumoniae* и их связь с глобальными генетическими линиями, оптимизирована мультиплекс ПЦР в реальном времени для выявления основных генов карбапенемаз (NDM, KPC, OXA-48), а также проведен молекулярно-генетический анализ изолятов *K. pneumoniae* на основе данных полногеномного секвенирования.

Ключевые слова

K. pneumoniae, антибиотикорезистентность, NDM, ST395.

В настоящее время изоляты с множественной лекарственной устойчивостью грамотрицательных *Klebsiellapneumonia* наиболее широко распространены в стационарах Санкт-Петербурга [1]. Обычно распространенность таких изолятов связана со вспышками внутрибольничных инфекций [2]. Пациенты с ослабленным иммунитетом, особенно при наличии онкологических заболеваний, наиболее уязвимы к развитию внутрибольничных инфекций. Таким образом, в ходе исследований, направленных на нозокомиальные патогены в 2011-2012 гг., было показано, что в Российской Федерации *K. pneumoniae* вызывает около 50% всех энтеробактериальных инфекций [3].

Однако устойчивость *K. pneumoniae* к β -лактамам, которые являются ингибиторами синтеза клеточной стенки, блокируя транспептидазную активность пенициллин-связывающих белков, вызывает серьезную

обеспокоенность. Этот тип устойчивости обусловлен выработкой ферментов - β -лактамаз, способных гидролизовать β -лактамное кольцо, которое является основой пенициллинов, цефалоспоринов, монобактамов и карбапенемов. Так, в стационарах Санкт-Петербурга в 2018 году частота встречаемости продуцентов карбапенемаз *K. pneumoniae* достигла 36,9% [1].

Гены кодирующие ферменты карбапенемаз обычно располагаются на мобильных генетических элементах вместе с детерминантами устойчивости к антибиотикам других групп, что обеспечивает им быстрый клональный и межвидовой горизонтальный перенос [4]. Множественная лекарственная устойчивость *K. pneumoniae* связана с наиболее глобально распространенными генетическими линиями, такими как ST11, ST14, ST15, ST35, ST36, ST147, ST258, ST309 и ST1107, однако иногда происходит образование локальных клональных групп [5]. Так, в результате приобретения генов карбапенемаз образуются отдельные эпидемиологически значимые клоны микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью, которые могут быстро распространяться по обширным географическим территориям и вызывать серьезные инфекции, которые трудно поддаются лечению. Таким образом, молекулярно-генетические характеристики данных штаммов помогут сделать выводы о способах распространения генов устойчивости *K. pneumoniae*.

Целью данного исследования является оценка молекулярно-генетических характеристик и клональной структуры продуцентов карбапенемаз *K. pneumoniae* выделенных из онкологического стационара (Санкт-Петербурга).

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить разнообразие клональных групп продуцентов карбапенемаз *K. pneumoniae*, выделенных в онкологическом стационаре Санкт-Петербурга, и их связь с глобальными генетическими линиями.
2. Оптимизировать мультиплекс ПЦР в режиме реального времени для выявления основных генов карбапенемаз (NDM, OXA-48, KPC).
3. Молекулярно-генетический анализ изолятов *K. pneumoniae* на основе данных полногеномного секвенирования.

149 изолятов *K. pneumoniae* были получены из этиологически значимых источников и объектов окружающей среды Онкологического центра в 2018-2020 гг. Источником выделения являлась кровь (11%), моча (30%), рана (12%), мокрота, брюшная жидкость, бронхо-альвеолярный лаваж, желчь, бронхи, катетер, дренаж, кал, плевральная жидкость (10%), прямая кишка, горло, трахея, и уши.

1. Оптимизация мультиплекс ПЦР в режиме реального времени

Мультиплекс ПЦР в режиме реального времени была оптимизирована для быстрого и удобного обнаружения трех основных генов карбапенемаз: KPC, OXA-48 и NDM. Оптимизация основывалась на температурных протоколах используемых полимеразных смесей и температурах плавления праймеров.

После моноплексной реакции проведенной для проверки специфичности праймеров был проведен мультиплекс эксперимент с использованием температурного градиента от 62 до 55 ° С с известными изолятами. На основе анализа кривых плавления выяснилось, что 59°C являлась наиболее эффективной температурой для данных пар праймеров и зондов. Затем температурный протокол корректировали в соответствии с рекомендациями производителя DreamtaqHotStartPCRMasterMix (рис. 1).

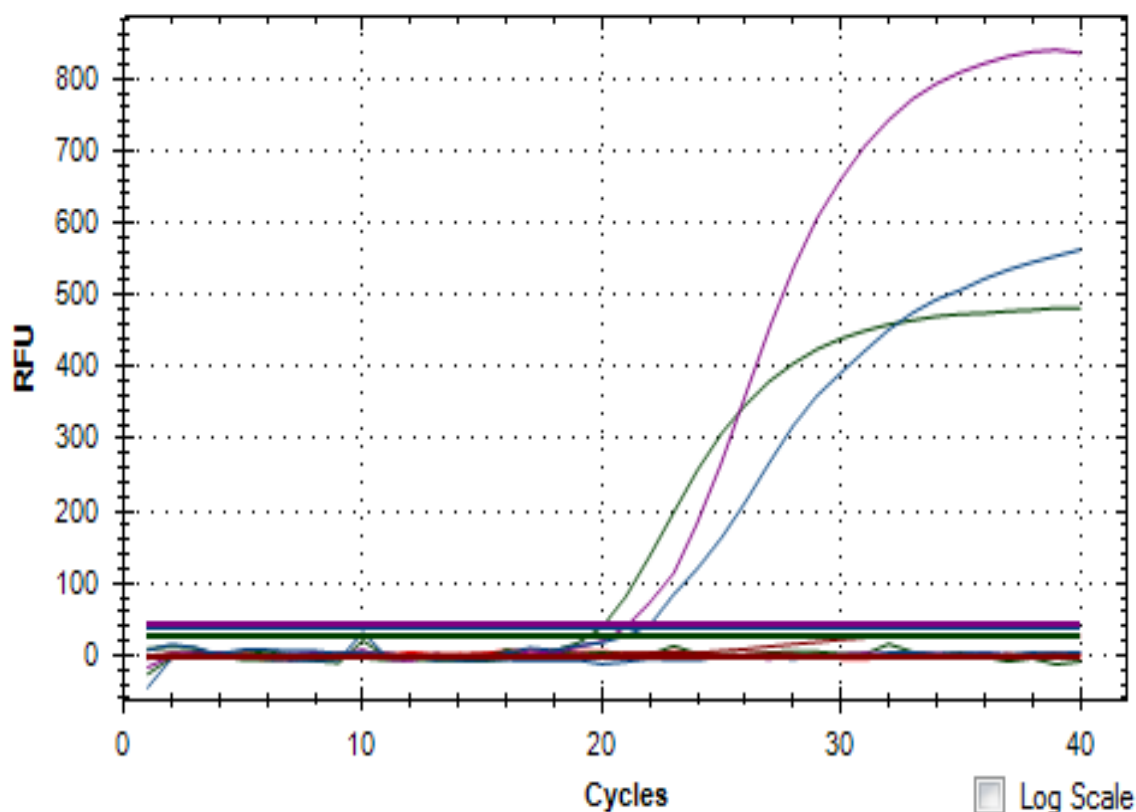


Рис. 1. Кривые плавления оптимизированного мультиплекса ПЦР в режиме реального времени с использованием DreamtaqHotStartPCRMasterMix для генов NDM, OXA-48, KPC

2. Новый вариант МБЛ, NDM-29

Клинический изолят 1970, включенный в выборку для полногеномного секвенирования, был выделен в апреле 2018 года из мочи пациента мужского пола, поступившего в онкологический стационар Санкт-Петербурга. Идентификация изолята 1970 выявила принадлежность к *K. pneumoniae* ST147. Анализ резистома данного изолята выявил 19 приобретенных генов резистентности, включая большое количество генов устойчивости к β -лактамам.

Впервые о NDM было сообщено в Швеции в 2009 году у пациента, путешествующего в Индию, где он приобрел инфекцию мочевыводящих путей, вызванную устойчивой к карбапенемам *K. pneumoniae*. Так, до настоящего времени было идентифицировано 28 вариантов карбапенемаз типа NDM. Дальнейший молекулярный анализ выявил новый вариант NDM-типа МБЛ, NDM-29. Контиг с новым *bla*_{NDM-29} был опубликован в GenBank - регистрационный номер MN624980 (BioProject PRJNA522420).

Анализ аминокислотных последовательностей всех вариантов NDM показал, что новый вариант *bla*_{NDM-29} отличался от *bla*_{NDM-1} одной аминокислотной заменой - D130N (388 (G $\rightarrow$ A)). Другими словами, NDM-1 в эволюционном плане является наиболее близким к NDM-29. Аналогичные аминокислотные замены представлены у NDM-7 и NDM-19, однако вышеупомянутые ферменты имеют также дополнительные аминокислотные замены: M154L - в NDM-7 и M154L + A233V - в NDM-19.

Чтобы оценить влияние аминокислотных замен на гидролитическую активность в отношении β -лактамовых антибиотиков, была проведена химическая трансформация компетентных клеток *E. coli* XL10-Gold рекомбинантными плазмидами на основе вектора pJET и pEGFP-N3, куда был клонирован ген NDM-29 (рис. 2). Те же манипуляции были проведены с геном NDM-1 для сравнения фенотипов.

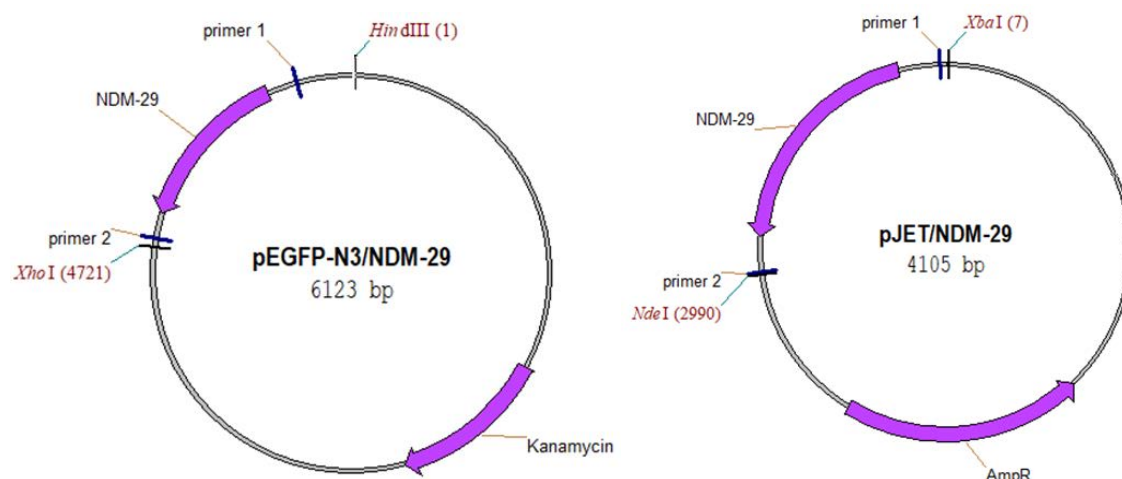


Рис. 2. Рекомбинантные плазмиды pJET / NDM-29 и pEGFP-N3 / NDM-29

По сравнению со штаммом *E. coli* XL10-Gold экспрессия NDM-29 и NDM-1 снижала чувствительность к цефалоспорином 3-го и 4-го поколений, карбапенемам и комбинации пиперациллин / тазобактам, однако все трансформанты оставались чувствительными к азтреонаму (таб. 1). Оба трансформанта pEGFP-N3 проявляли значительно более высокий уровень устойчивости к гентамицину по сравнению с трансформантами pJET1.2, что доказывает тот факт, что первый вектор содержит ген устойчивости к канамицину.

Таблица 1

МПК для вариантов NDM в стандартных условиях.

Показаны МПК (мг/л) к β -лактамам для клинического изолята *K. pneumoniae* 1970, *E. coli* XL10-Gold, а также *E. coli* XL10-Gold, трансформированная *bla*_{NDM-1} и *bla*_{NDM-29}

Условие	Стандартные условия					
Вариант	<i>K. pneumoniae</i> 1970	pJET1.2/ NDM-1	pJET1.2/ NDM-29	pEGFP-N3/ NDM-1	pEGFP-N3/ NDM-29	XL10-Gold
Ампициллин	>512	>512	>512	>512	>512	2
Цефотаксим	128	256	128	256	256	<0.13
Цефокситин	>64	>64	>64	>64	>64	0.5
Цефтриаксон	256	256	256	256	256	<0.13
Цефтазидим	>256	>256	>256	>256	>256	1
Цефепим	16	64	32	32	32	<0.13
Азтреонам	0.13	0.25	0.13	0.13	<0.06	0.13
Меропенем	8	8	8	8	8	<0.02
Эртапенем	>32	>32	>32	>32	>32	0.06
Биапенем	4	0.5	1	1	0.25	0.06
Гентамицин	128	<2	<2	64	32	<2
Амикацин	>256	1	1	1	0.5	0.25
Ципрофлоксацин	128	<1	<1	<1	<1	<1
Пиперациллин/ Тазобактам	>512	512	512	256	512	0.5

В условиях, нацеленных на имитацию дефицита цинка путем добавления ЭДТА в среду, все протестированные изоляты проявили значительное снижение значений МПК для цефалоспоринов широкого спектра действия и карбапенемов (таб. 2). Трансформанты, содержащие NDM-29, показали похожий уровень чувствительности к карбапенемам что и трансформанты, содержащие NDM-1 (таб. 3).

Таблица 2

**МПК для вариантов NDM в условиях ограниченного цинка. Показаны МПК (мг/л)
к β -лактамам для клинического изолята *K. pneumonia* 1970, *E. coli* XL10-Gold,
а также *E. coli* XL10-Gold, трансформированных *bla*_{NDM-1} и *bla*_{NDM-29}**

Условие	50 мкМЭДТА				
Вариант	<i>K. pneumonia</i> 1970	pJET1.2/ NDM-1	pJET1.2/ NDM-29	pEGFP- N3/ NDM-1	pEGFP- N3/ NDM-29
Ампициллин	>512	>512	>512	4	4
Цефотаксим	<0.13	0.25	0.25	<0.13	<0.13
Цефокситин	2	8	8	8	4
Цефтриаксон	<0.13	0.25	0.25	<0.13	<0.13
Цефтазидим	4	2	4	4	8
Цефепим	0.25	0.25	0.13	0.13	0.13
Азтреонам	<0.02	0.03	0.03	<0.02	<0.02
Меропенем	0.25	0.13	0.13	0.06	0.13
Эртапенем	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13
Биапенем	0.5	0.06	0.06	0.03	0.03
Пиперациллин/ Тазобактам	>512	256	256	0.5	1

Таблица 3

Резистом 16 изолятов *K. pneumoniae*

Группа антибиотика	Гены	Сиквенс тип, номер изолята															
		ST395									ST147						
		1657	1983	2021	2108	1961	1966	1971	2024	1658	1659	1970	1968	2026	1976	2036	2032
Аминогликозиды	<i>aadA1</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>aph(3')-VI</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>aph(3')-Ia</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>aac(6')-Ib-cr</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>aac(6')-Ib</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>armA</i>	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>aac(3)-IIa</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
β-лактамы	<i>bla_{NDM-1}</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+
	<i>bla_{NDM-1-like}</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	<i>bla_{CTX-M-15}</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
	<i>bla_{OXA-1}</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>bla_{OXA-9}</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>bla_{TEM-1A}</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>bla_{TEM-1B}</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>bla_{SHV-67}</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>bla_{SHV-182}</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Фторхинолоны	<i>aac(6')-Ib-cr</i>	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>oqx_B</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>qnrS1</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+
	<i>qnrS2</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>oqx_A</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Фосфомицин	<i>fosA</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Макролиды	<i>msr(E)</i>	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>mph(E)</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	<i>mph(A)</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+
Сульфонамиды	<i>sul1</i>	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>sul2</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Триметоприм	<i>df_rA1</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>df_rA5</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Фениколы	<i>catB</i>	-	<i>catB3</i>	-	-	-	<i>catB3</i>	-	<i>catB7</i>	-	<i>catB3</i>	-	-	<i>catB3</i>	-	<i>catB3</i>	-
	<i>catA</i>	<i>catA1</i>	<i>catA1</i>	-	-	-	<i>catA1</i>	-	-	-	<i>catA1</i>	-	-	<i>catA1</i>	-	<i>catA1</i>	-
Тетрациклины	<i>tet(A)</i>	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+

3. Анализ резистома на основе данных полногеномного секвенирования и тестирования антимикробной чувствительности

В результате случайной выборки из существующей коллекции изолятов *K. pneumoniae* были проанализированы 16 изолятов *K. pneumoniae* полученных от 12 пациентов с использованием данных полногеномного секвенирования. Гены резистентности и профили устойчивости изолятов представлены в таблице 3. Расчетное покрытие варьировалось от 33 до 106, число контигов варьировалось от 71 до 88, и N50 варьировалось от 245962 до 709400 п.н.

Сиквенс типы изолятов распределились в две группы: ST395 и ST147. Основываясь на полученных данных резистома, различия этих типов последовательностей включают наличие гена *aac* (6') - *Ib-cr* у ST395 в отличие от ST147, гена *aac* (6') - *Ib* у ST147 в отличие от ST395 среди аминогликозидов; наличие генов *bla*_{OXA-1}, *bla*_{OXA-9}, *bla*_{TEM-1A}, *bla*_{SHV-182} у ST395 в отличие от ST147 и *bla*_{TEM-1B}, *bla*_{SHV-67} у ST147 в отличие от ST395 среди β-лактамов; наличие гена *dfrA1* у ST395 в отличие от ST147. Среди них изолят 1970 имел 19 приобретенных генов устойчивости, включая большое количество генов устойчивости к β-лактамам.

Мультиплекс ПЦР в режиме реального времени для выявления основных генов карбапенемаз оптимизирован с использованием DreamTaqHotStart PCR MasterMix. Секвенированные изоляты содержали гены устойчивости не только к β-лактамам, но также к различным группам антибиотиков, таким как аминогликозиды, фторхинолоны, тетрациклины, фосфомицин, макролиды, сульфонамиды, триметоприм, фениколы, тетрациклины. Был идентифицирован новый вариант МБЛ, NDM-29, в изоляте *K. pneumoniae* ST147, выделенном из мочи пациента в онкологическом центре Санкт-Петербурга. Несмотря на то, что аминокислотная замена D130N не давала существенных эволюционных преимуществ по сравнению с NDM-1, она играет существенную роль в возникновении новых типов NDM.

В онкологическом стационаре отмечено широкое разнообразие циркулирующих сиквенс типов *K. pneumoniae*, однако только две генетические линии ST147, ST395, оказались успешными, способными циркулировать в течение длительного времени. Не менее важным является тот факт, что в онкологическом центре отмечено циркуляция не только глобально распространенной генетической линии ST147, но также локальное распространение ST395.

Литература

1. Лазарева И.В., Агеев В.А., Ершова Т.А., Зуева Л.П., Гончаров А.Е., Дарьина М.Г., Светличная Ю.С., Усков А.Н., Сидоренко С.В. Распространение и антибактериальная резистентность грамотрицательных бактерий, продуцентов карбапенемаз, в Санкт-Петербурге и некоторых других регионах Российской Федерации // Антибиотики И Химиотерапия. 2016. Т. 61. №. 11–12. С. 28–38.
2. Mehta Y. et al. Guidelines for prevention of hospital acquired infections // Indian J. Crit. Care Med. 2014. Т. 18. №. 3. Р. 149–163.
3. Сухорукова М.В. и др. Антибиотикорезистентность нозокомиальных штаммов *Enterobacteriaceae* в стационарах России: результаты многоцентрового эпидемиологического исследования МАРАФОН в 2011 – 2012 гг. // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2014. Т. 19. №. 1. С. 254–265.
4. Агеев В.А. Молекулярная характеристика продуцентов карбапенемаз семейства *Enterobacteriaceae*, выделенных в Санкт-Петербурге: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.03 / Агеев Владимир Андреевич. М. 2016. 137 с.
5. Лазарева И.В. Оценка распространения ректального носительства генов вирулентности и карбапенемаз у пациентов, поступивших на плановую

госпитализацию в один из специализированных стационаров Санкт-Петербурга // Антибиотики и химиотерапия. 2018. Т. 53. №. 9. С. 1689– 1699.

Тарасенко Тарас Денисович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

Институт дизайна и урбанистики,

студент группы №С42551,

направление подготовки: 09.04.03 – «Прикладная информатика»,

«Управление государственными информационными системами»,

e-mail: ttarasenko@yandex.ru

Видясов Евгений Юрьевич

Университета ИТМО,

преподаватель ИДУ,

заместитель главы местной администрации внутригородского

муниципального образования Санкт-Петербурга муниципальный

округ Московская застава,

e-mail: vidyasov@lawexp.com

УДК 004.9

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ «УВЕДОМЛЕНИЕ
ПАЦИЕНТА» РЕГИОНАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ЕДИНОЙ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Т.Д. Тарасенко

Научный руководитель – Е.Ю. Видясов

Работа выполнена в рамках темы НИР «Проектирование модуля «Уведомление пациента» регионального сегмента единой государственной информационной системы здравоохранения Санкт-Петербурга».

Аннотация

В условиях текущего развития регионального сегмента единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения Санкт-Петербурга существует необходимость реализации возможности информирования пациента, обусловленная ростом накапливаемых данных и внедрением электронных сервисов в рамках приоритетного проекта Санкт-Петербурга «Электронное здравоохранение».

Ключевые слова

медицинская информационная система, информирование пациента, push уведомления, системы информирования, единая государственная информационная система в сфере здравоохранения.

Одним из важнейших фактов развития электронного здравоохранения, является эффективное использование информационных инструментов взаимодействия между пациентом и медицинской организацией. Механизм организации электронного здравоохранения на государственном уровне предполагает наличие в медицинских организациях медицинских информационных систем, которые передают данные о пациентах и случаях обслуживания на региональный уровень, а в последствии на федеральный уровень единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения. Исследование является частью приоритетного проекта Санкт-Петербурга «Электронное здравоохранение», в рамках которого уже внедрен ряд

сервисов в региональный сегмент единой государственной системы, рост накапливаемых данных в сервисах обуславливает необходимость проведения исследования с целью обеспечения регионального сегмента единой государственной системы функциональной возможностью информирования пациентов.

Модуль «Уведомление пациента» увеличит эффективность оказания медицинской помощи пациенту. Пациент сможет удовлетворить свои потребности в части информирования о своем лечении, в частности о времени записи на прием или его изменении, лекарственных препаратах, выписанных ему лечащим врачом, информирование о готовности результатов лабораторных исследований и многое другое. Медицинская организация сможет увеличить свои показатели эффективного лечения пациента за счет проведения информирования пациентов по различным возрастным группам, группам риска и т. д. Уменьшение потока людей в регистратуру за счет распространения электронных услуг и информирования пациента [1-5].

Существует отечественный и зарубежный опыт применения информирования пациента, некоторые медицинские или лабораторные информационные системы осуществляют информирование, также существуют специализированные системы доприёмного информирования пациента и интеллектуальные речевые системы информирования. В разных медицинских организациях может быть отличная от другой медицинская информационная система, не удовлетворяющая тем или иным требованиям организации уведомления пациентов, а также отсутствие у них единой базы данных, в связи с чем, необходим инструмент информирования пациента на региональном уровне.

Для успешного проведения научного исследования были выделены задачи и разделены на этапы.

В ходе первого этапа был проведен анализ структуры и функций регионального сегмента единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения Санкт-Петербурга, на основе анализа были выделены приоритетные случаи информирования в условиях текущего развития системы. Особое внимание, при анализе связей со смежными внешними государственными информационными системами, стоит уделить «Единой системе идентификации и аутентификации», так как именно эта система отвечает за авторизацию пациента в региональном сегменте, а также участвует в процессах осуществления информирования пациента. Региональный сегмент единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения имеет в своей основе трехзвенную программную архитектуру, которая подразумевает разделение слоев хранения данных, бизнес-логики и клиентского интерфейса. Использует веб-сервер и технологий веб-сервисов в соответствии с сервис-ориентированной архитектурой построения веб-приложений. В рамках текущей работы под сервисом понимается программный код со стандартизированными интерфейсами, который создается в целях обеспечения взаимодействия со сторонними приложениями посредством сообщений, основанных на установленных протоколах.

Региональный сегмент единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения имеет множество функций, в целом обеспечивая обмен информацией между Комитетом по здравоохранению и администрациями районов Санкт-Петербурга, Министерством здравоохранения Российской Федерации и другими подведомственными структурами. Каждый компонент системы выполняет определенную функцию, так первоисточником данных считаются различные медицинские, лабораторные и радиологические информационные системы, после внесения в них данных медицинскими сотрудниками и различными диагностическими и лабораторными аппаратами, они передаются в региональный сегмент, при условии наличия интеграции между информационной системой медицинской организации и

региональным сегментом единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения.

После отправки данных в региональный сегмент происходят различные процессы валидации, проверки соответствия полученных данных, данных в реестрах и региональных справочниках. На рисунке представлена часть компонентов регионального сегмента единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения. Отдельно можно выделить функцию идентификации пациента, осуществляемую при помощи сервиса «Индекс пациента», который предназначен для обеспечения межсистемной идентификации пациентов при взаимодействии медицинских информационных систем.

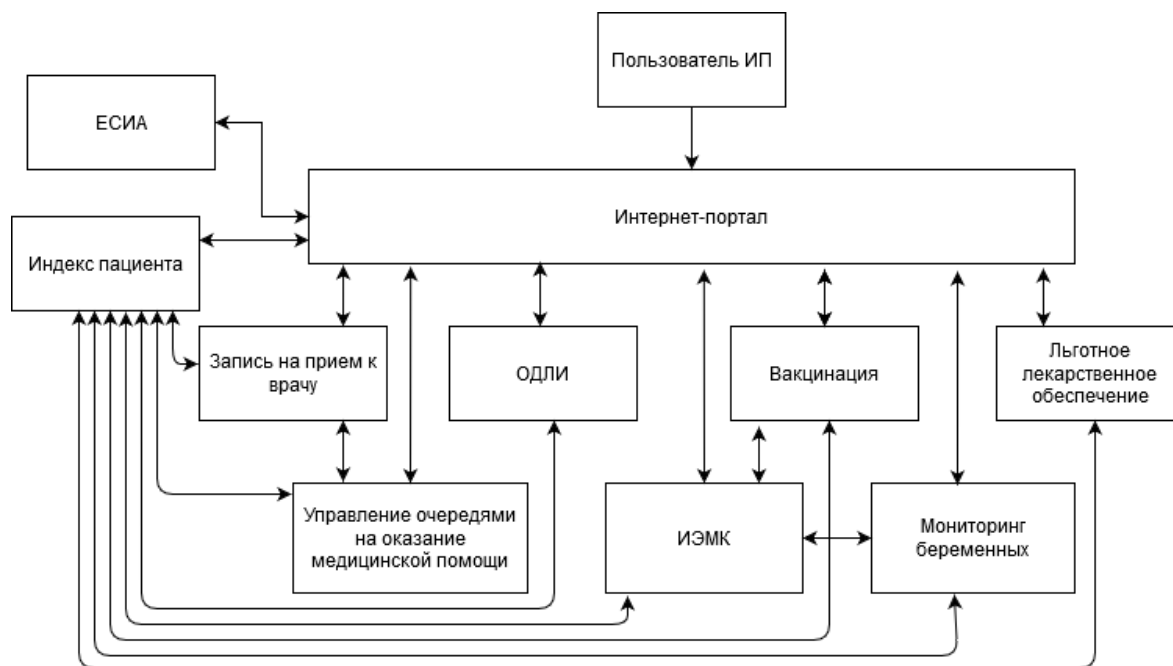


Рисунок. Связи компонентов с сервисом «Интернет-портал»

Сервис «Интернет-портал» обеспечивает работу портала «Здоровье петербуржца» (gorzdrav.spb.ru), предназначенного для предоставления гражданам справочной информации о деятельности медицинских организаций Санкт Петербурга и возможности самостоятельно получить государственную услугу в электронном виде «Запись на прием к врачу» в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет». Помимо возможности получения справочной информации и электронных государственных услуг, пациент может ознакомиться со своими медицинскими данными, которые находятся в региональном сегменте. В качестве медицинских данных выступает информация о случаях поликлинического или стационарного обслуживания, а также данные о лабораторных и диагностических исследованиях.

Таким образом, сервис «Интернет-портал» является консолидирующим звеном между сервисами регионального сегмента и графическим отображением медицинской информации, доступной пациенту. Однако данный сервис не несет в себе функциональной возможности информирования пациента, при условии, что пациент не находится на портале. Отсутствие данной возможности является одной из основных причин создания сервиса «Уведомление пациента». При взаимодействии с сервисом «Уведомление пациента», сервис «Интернет-портал» будет выступать в роли инициатора для осуществления информирования пациента. Информирование пациента будет осуществляться по заданным правилам сервиса «Уведомление пациента», после

получения сервисом «Интернет-портал» данных для информирования пациента из других сервисов-источников. После получения «Интернет-порталом» данных, он будет вызывать тот или иной метод инициации работы сервиса «Уведомление пациента» в зависимости от источника и содержания данных.

Для определения и выявления приоритетных случаев, при которых необходимо осуществлять информирование пациента был проведен подробный анализ взаимодействия сервиса «Интернет-портал» с сервисами-источниками медицинских данных. Первый этап завершился формированием списка приоритетных случаев информирования пациента в условиях текущего развития регионального сегмента единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения.

В ходе второго этапа были рассмотрены информационные технологии для организации информирования, для выявления оптимального способа информирования пациента для информационной среды регионального сегмента. В работе были рассмотрены способы информирования пациента посредством мессенджеров, SMS, электронной почты, звонка, мобильное приложение, браузерные push уведомления. Сравнение показало, что каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. Каждый из способов информирования будет полезен для определенных случаев оповещения, в зависимости от той информации, которая несетя в самом оповещении и аудитории, на которую рассчитано оповещение. Лучший вариант реализации уведомления пациентов, это комбинация нескольких способов оповещения пациентов, таким образом будет достигнута максимальная эффективность уведомления пациента и оповещения будут доступны максимальному числу пациентов. Таким образом в ходе сравнения сформировался принцип модуля «Уведомление пациента», который предполагает возможность ведения нескольких каналов связи с пациентом. При проведении сравнения особое внимание привлек способ информирования посредством браузерных push уведомлений, так как данный способ может дать положительный эффект при минимальных затратах, также на выбор оптимального способа повлияло то, что в разработке находится портал электронных сервисов здравоохранения Санкт-Петербурга, как для десктоп браузеров, так и для мобильных браузеров. В работе особое внимание уделено схематичному представлению системы push уведомлений, описанию организации браузерных push уведомлений и архитектуре приложения.

Прежде чем приступить к третьему этапу и задаче проектирования структуры и функций сервиса «Уведомление пациента» был проведен анализ нормативно-правовой базы регулирующей работу с медицинскими данными, работы с персональными данными и правил взаимодействия с информационными системами в сфере здравоохранения, в ходе которого укрепилось решение о тесной связи сервиса «Уведомление пациента» и «Интернет-портал», так как пациент получает возможность дать согласие на обработку персональных данных и информирование через личный кабинет портала «Здоровье петербуржца». При взаимодействии с Интернет-порталом необходимо дать согласие на получение оповещений и обработку персональных данных.

Сервис уведомлений пациента предназначен для сбора, обработки и хранения сведений о рассылках сообщений/приглашений, учетных записях администраторов рассылок, с возможностью создания этих учетных записей администратором подсистемы, а также предоставление возможности работы с различными каналами связи. Сервис определяет механизмы информационного взаимодействия сервиса с различными каналами связи (в том числе электронная почта и браузерные push-уведомления в личном кабинете пациента на Интернет-портале).

Сервис обеспечивает:

- ведение сведений о каналах связи;
- формирование очередей сообщений;

– обмен данными с внешними системами.

Обеспечение ведения сведений о каналах связи дает возможность сервису быть гибким, как с точки зрения модернизации новыми более технологическими способами информирования пациента, которые будут актуальными для своего времени, так и с точки зрения свободы выбора для пользователя.

В качестве вывода после сравнения и поиска оптимального способа информирования следует вынести принцип совмещения способов информирования и в качестве второго способа информирования выбрана электронная почта, так как данный канал связи считается стандартным для доставки системных уведомлений, имеет широкую аудиторию, информация о электронной почте уже хранится в данных «Единой системы идентификации и аутентификации» и данный способ информирования не потребует больших финансовых вложений.

Функциональная возможность формирования очереди уведомлений в сервисе «Уведомление пациента» позволит иным сервисам инициаторам взаимодействия создавать планы по осуществлению информирования пациентов. После получения сообщения от сервиса-инициатора, в нашем случае сервиса «Интернет-портал», сервис «Уведомление пациента» сформирует собственный уникальный идентификатор рассылки и вернет в ответ внешней системе. Данный идентификатор позволит сервисам инициаторам при дальнейшем взаимодействии обращаться к конкретной очереди рассылок, при таком взаимодействии сервис инициатор может запросить прекращение обработки очереди рассылок или получить актуальные сведения о статусе очередей рассылки. В дату старта обработки рассылки подсистема «Уведомления пациента» сопоставит список получателей рассылки со списком получателей, выразивших согласие получать сообщения (по данным подсистемы «Уведомления пациента» на момент обработки) и создаст для получателей, выразивших согласие получать сообщения, экземпляры уведомлений по шаблонам из рассылки, по актуальным сведениям, о параметрах каналов доставки для каждого получателя. После создания уведомлений сервис «Уведомления пациента» будет иметь возможность в дату начала периода действия рассылки начать пакетную отправку уведомлений по каналу «электронная почта» и «push-уведомление личного кабинета Интернет-портала». В период действия рассылки сервис «Уведомления пациента» будет иметь возможность повторно сопоставить список получателей рассылки со списком получателей, выразивших согласие получать сообщения (по данным сервиса «Уведомления пациента» на момент обработки) и со списком получателей, для которых уже были созданы экземпляры уведомлений, после чего будет иметь возможность создать экземпляры уведомлений для новых получателей, согласившихся получать уведомления за период действия рассылки.

При информационном взаимодействии и обмене данными с внешними сервисами посредством программных интерфейсов, сервис «Уведомление пациента» должен обеспечить взаимодействие с внешними системами для выполнения функций ведения каналов связи и формирования очередей уведомлений.

Сервис «Уведомление пациента» предоставит возможность внешним информационным системам работать по единым правилам и использовать механизмы подсистемы «Уведомления пациента» для отправки сообщений получателям, выразившим согласие получать уведомления. Обмен будет выполняться через программные интерфейсы подсистемы «Уведомления пациента». Внешняя система должна будет выступать инициатором обмена.

В работе подробно описаны схемы сценариев межсетевого взаимодействия сервисов регионального сегмента единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения Санкт-Петербурга. Рассмотрены следующие процессы: «Поиск

сведений для уведомлений от подсистемы «Уведомление пациента», «Создание уведомлений сервисом «Интернет-портал», «Управление каналами доставки».

Одной из задач, поставленных в рамках выполнения работы, было определение базового набора функциональных возможностей сервиса «Уведомление пациента». В качестве базового набора функциональных возможностей выделены две категории, методы сервиса «Уведомление пациента» и сценарии информирования пациента.

Для обеспечения базового функционала сервиса «Уведомление пациента» необходима создание следующих методов:

- создание/обновление рассылки;
- поиск уведомлений по параметрам;
- поиск уведомлений по параметрам с упрощенными результатами;
- смена статусов для уведомлений;
- получение статистики состояния рассылки;
- получения списка активных адресатов;
- создание/обновление данных о каналах доставки;
- получение данных о каналах доставки.

В работе описаны входные и выходные параметры представленных методов.

На этапе определения приоритетных случаев информирования были выявлены случаи необходимые для осуществления информирования в базовом функционале сервиса «Уведомление пациента», ниже представлен перечень базовых сценариев информирования пациента:

- информирование пациентов о предстоящем визите к врачу;
- информирование пациентов о направлении;
- информирование пациентов о новых случаях обслуживания;
- информирование о прохождении мероприятий вакцинации;
- информирование беременных;
- информирование при получении льготного лекарственного обеспечения;
- информирование пациента о готовности результатов лабораторных исследований;
- информирование пациента об изменении в работе медицинской организации;
- информирование о приглашении на различные профилактические мероприятия или важные события в сфере здравоохранения.

Для решения поставленных задач в исследовании используется системный и архитектурный подходы; методы анализа, моделирования, сравнения; сделан обзор литературы и нормативно-правовой базы, изучен и обобщен отечественный и зарубежный опыт.

Актуальность исследования доказана проведенным обзором научной отечественной и зарубежной литературы об опыте проектирования информационных систем в сфере здравоохранения и применения систем информирования пациентов.

Научная новизна исследования заключается в том, что в работе впервые проведено сравнение способов информирования для выявления оптимального способа в условиях РС ЕГИСЗ Санкт-Петербурга. По результатам исследования описана структура и функции проектируемого сервиса «Уведомление пациента», определены и схематически представлены механизмы его межсетевого взаимодействия с иными сервисами в составе РС ЕГИСЗ. Основные положения работы доложены на научных конференциях и представлены в публикациях.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что спроектированный в ходе работы сервис планируется в разработку и внедрение в состав РС ЕГИСЗ Санкт-Петербурга в рамках приоритетного проекта «Электронное здравоохранение».

Поставленные в работе задачи полностью выполнены, и работа представляет собой законченное исследование, в результате которого была достигнута основная цель – проектирование функциональной возможности информирования пациентов в информационной среде РС ЕГИСЗ Санкт-Петербурга.

Литература

1. Гомалеев А.О. Создание механизмов взаимодействия медицинских организаций на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. №6. С. 79–84.
2. Давыденко А.И., Матросова Е.В., Митрейкин И.П. Особенности развития медицинских информационных систем в учреждениях здравоохранения // Теория. Практика. Инновации. 2018. №4. С. 6–13.
3. Зеньков О.Л., Сурмач М.Ю. Опыт создания региональной информационной медицинской системы Гродненской области // Сборник статей. Редколлегия: Снежицкий В.А., Сурмач М.Ю. 2019. С. 206–212.
4. Зингерман Б.В., Шкловский-Корди Н.Е. Электронная медицинская карта – основа цифровой трансформации здравоохранения // Менеджмент качества в медицине. 2019. №3. С. 94–99.
5. Кузнецов А.Б., Мухин А.С., Симутиси И.С, Щегольков Л.А., Бояринов Г.А. Компьютерные информационные технологии в лечебных учреждениях: воспроизведение, обработка и защита информации (обзор) // Современные технологии в медицине. 2018. №3 С. 213–224.

Титаренко Михаил Алексеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

студент группы №В42102,

направление подготовки: 12.04.03 – Компьютерная фотоника,

e-mail: mik199997@gmail.ru

Малашин Роман Олегович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

д.т.н. ассистент,

e-mail: malashinroman@mail.ru

УДК 004.932.4

МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫСОКОУРОВНЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.А. Титаренко

Научный руководитель – д.т.н., ассистент Р.О. Малашин

Аннотация

Исследован метод обучения нейронных сетей улучшению изображений, основанный на использовании информации, содержащейся в признаках нейронной сети, обученной классификации изображений. Проведены эксперименты, направленные на поиск оптимальной функции потерь для достижения максимальной точности классификации изображений при наложении шума и размытия.

Ключевые слова

Улучшение изображений, глубокие нейронные сети, функция потерь на основе признаков сети.

Введение

Современные алгоритмы обработки изображений используют нейронные сети. Как правило, низкоуровневую и высокоуровневую задачи решают различные узкоспециализированные нейронные сети. Если сеть, выполняющая задачу улучшения изображений, будет взаимодействовать с признаками высокого уровня, полученными от сети, выполняющей задачу высокого уровня, то это может повысить точность решения задачи высокого уровня на улучшенных изображениях. Методы обучения нейронных сетей с функцией потерь, учитывающей точность восстановления признаков высокого уровня, называются обучением с ошибкой восприятия [1].

Цель этой работы заключалась в исследовании метода улучшения изображений с использованием признаков, формируемых в нейронных сетях глубокого обучения, предназначенных для решения различных высокоуровневых задач. В качестве задачи высокого уровня была выбрана задача классификации. Мы исследовали связь ошибки восприятия, ошибки высокого уровня и ошибки реконструкции со свойствами восстанавливаемого изображения и точностью классификации.

1. Метод улучшения изображений с использованием признаков, извлеченных из нейронных сетей, при расчете функции потерь

Современные модели глубоких нейронных сетей могут содержать десятки слоев. Признаки, выученные такими моделями, можно использовать для обучения других сетей. После полного обучения, слои таких сетей, содержат абстрактные признаки множества изображений из этого набора данных.

В статье [2] предложен метод обучения глубоких нейронных сетей при использовании высокоуровневой информации в качестве дополнительного контроля качества шумоподавления. Мы исследуем этот метод.

В нашей работе критерием качества восстановления изображений помимо сходства с оригиналом выбрана точность классификации, которая выбрана в качестве задачи высокого уровня. В ходе проводимых экспериментов процесс обучения сети направлен на восстановление изображений, подвергнутых искусственным искажениям, а также признаков, содержащихся в восстановленных изображениях, соответствующих классам объектов. Восстановление этих признаков приводит к повышению точности классификации. Схема исследуемой каскадной сети показана на рис. 1.

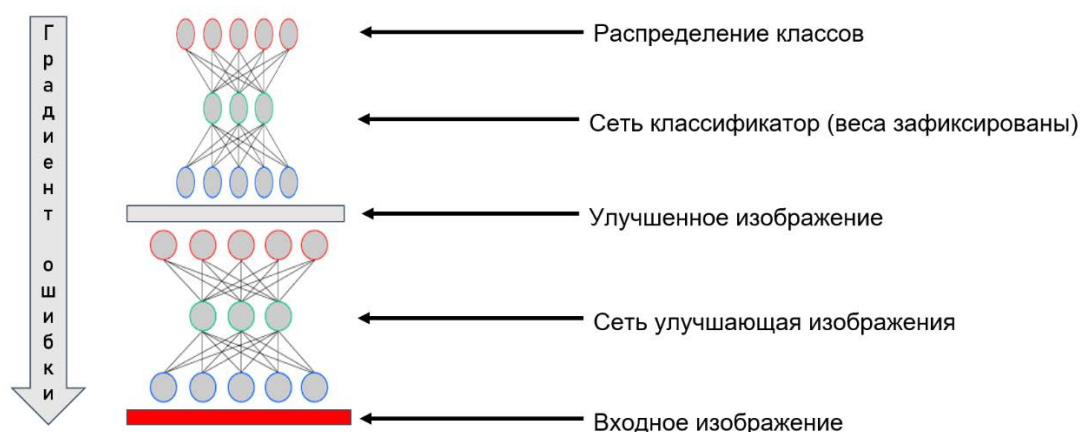


Рис. 1. Схема каскадной сети, исследуемой в этой работе

В этой модели к изображению сначала применяется сеть, улучшающая изображения, а затем восстановленная картинка подается в следующую сеть, выполняющую высокоуровневую задачу классификации. Из сети классификатора помимо класса объектов на изображении извлекаются выходные тензоры некоторых слоев, соответствующих признакам высокого уровня. Эти тензоры будут использоваться в функции потерь.

Сеть-классификатор обучается независимо, а в процессе обучения каскадной сети ее веса фиксируются. Каскадная сеть обучается методом обратного распространения ошибки. Именно от функции потерь зависит, чему будет обучаться модель нейронной сети. В процессе обучения каскада двух сетей градиент ошибки проходит через обе сети и поэтому, чтобы сеть-реконструктор обучалась кроме восстановления изображений также восстанавливать и признаки классификатора, необходимо учитывать, насколько хорошо выполняется задача классификации на восстановленных изображениях.

Общий вид функция потерь аналогичен [2]:

$$L(x, y) = \lambda_R L_R[F_R(x), \bar{x}] + \lambda_C L_C[F_C(F_R(x)), y] + \lambda_P L_P[F_{C(i)}(x), F_{C(i)}(x)] \quad (1),$$

где x – изображение с шумом на входе, $\bar{x}$ – изображение без шума и y – достоверные классы объектов на соответствующих изображениях. F_R обозначает сеть-реконструктор. F_C обозначает сеть классификатор. $F_{C(i)}$ – это выход с конкретного слоя i сети классификатора. L_R – это ошибка реконструкции, MSE между выходом сети реконструктора и чистым изображением. L_C – это ошибка классификации (кросс-энтропия между распределением предсказанных классов и истинным распределением). L_P – ошибка восприятия, MSE между извлеченными признаками из слоев сети-классификатора, полученных из чистого и восстановленного изображений. λ – вектор коэффициентов для уравнивания ошибок.

Основным объектом исследования является совместная функция потерь (1). Исследование заключается в обучении каскадной модели с различными параметрами λ . В отличие от статьи [2] в данной работе мы исследовали обучение каскадной сети не только в условиях синтетического шума, а также в условиях размывания изображений с помощью фильтра Гаусса. Кроме того, существует возможность обучения классификатора распознаванию изображений с различными видами деградации изображений. В отличие от [2] мы исследуем эту возможность.

2 Экспериментальное исследование функции потерь

Во всех проведенных экспериментах использовалась одна архитектура каскадной сети. Она состоит из двух частей: сети-реконструктора и сети-классификатора.

Сеть с архитектурой U-net [3] использована в работе, для улучшения качества изображений. Для классификации выбрана архитектура resNet20 [4]. На рис. 2 представлен вид такой сети, а также места извлечения признаков для вычисления ошибки восприятия.

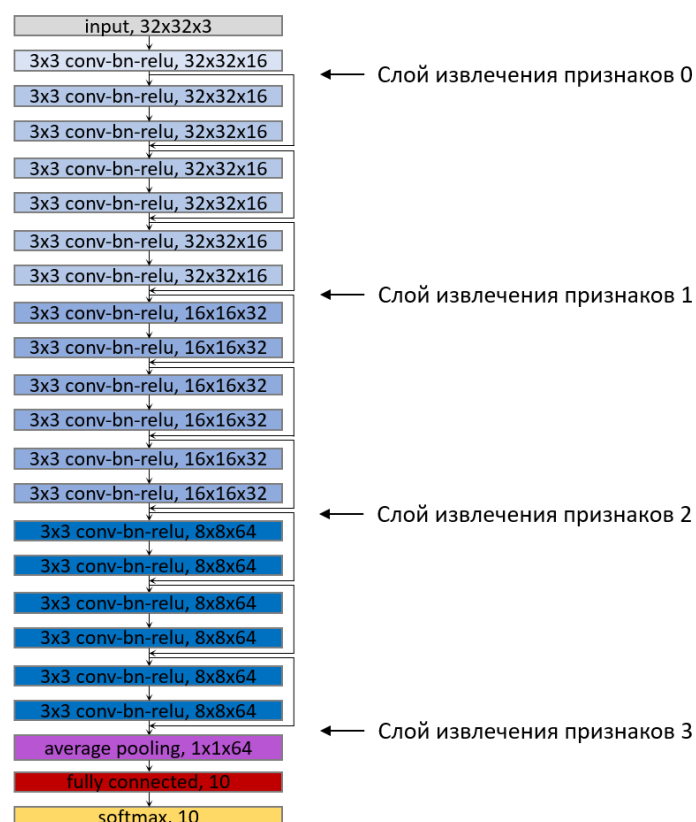


Рис. 2. Архитектура сети resNet20 с указанными слоями извлечения признаков для расчёта ошибки восприятия

В ходе обучения нейронной сети использовался набор данных cifar10.

Эксперименты производились с двумя типами деградации изображений: Гауссовым шумом и Гауссовым размытием. На рис. 3 представлены примеры деградированных изображений.

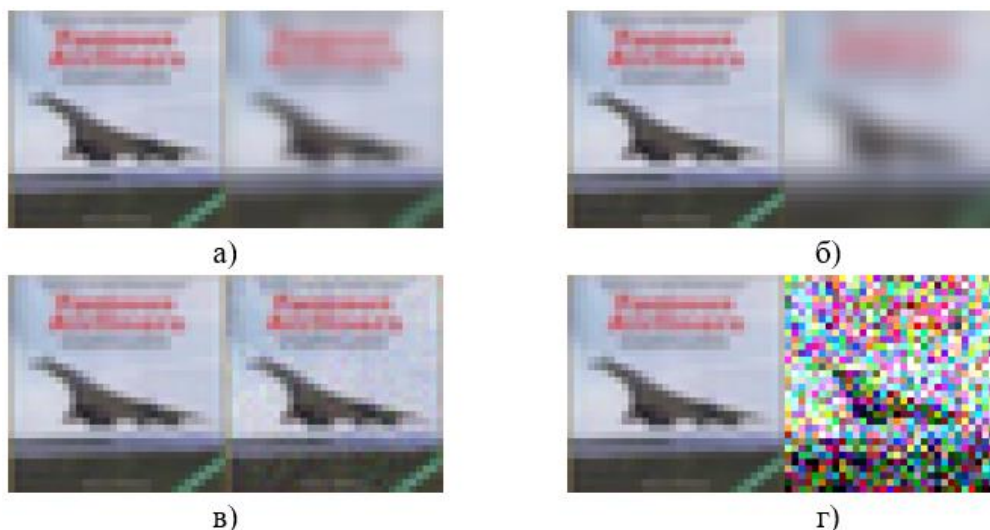


Рис. 3. Примеры синтетической деградации изображений.
Слева исходное изображение, справа деградированное. (а) размытие с окном 3.
(б) размытие с окном 7. (в) зашумление с $\sigma=0.01$. (г) зашумление с $\sigma=0.31$

3.1 Обучение классификатора изображений, в условиях различных типов деградации изображений

Прежде чем выполнять эксперименты по обучению каскада сетей были проведены эксперименты по обучению единственной сети классификатора с различными типами деградации изображений. Обучение на чистых изображениях позволило достичь точности на тестовой выборке 91.2 %. Для дальнейших экспериментов с каскадом двух сетей были использованы веса этой сети. Результаты, приведенные в таб. 1, показывают, что сеть-классификатор, обученная на чистых изображениях, с классификацией деградированных изображений справляется заметно хуже.

Таблица 1

**Точность распознавания тестовой выборки,
классификатором, для различных искажающих факторов**

Искажающий фактор	Обучение на чистых изображениях, при наложении искажающего фактора на тестовую выборку	Обучение с использованием обучающей выборки, подвергнутой искажающему фактору
Нет	91.2	91.2
Шум	67.75	89.01
Размытие	46.99	89.84

При этом, если использовать обучающую выборку с соответствующими функциями деградации, то удастся достичь точности 89.01% на зашумленных изображениях и 89.84% на размытых изображениях.

3.2 Обучение каскада двух сетей восстановлению изображений

В таб. 2 приведены результаты использования ошибки классификации в задаче восстановления изображений с точки зрения точности распознавания и пикового отношения сигнала к шуму.

Таблица 2

Результаты обучения каскада сетей

Функция потерь	Тип деградации изображений			
	Шум		Размытие	
	Точность, %	PSNR, дБ	Точность, %	PSNR, дБ
Ошибка классификации L_C	87.14	23.86	86.32	20.49
Ошибка реконструкции L_R	87.66	30.70	90.10	38.57
Сумма ошибок классификации и реконструкции $L_C + L_R$	87.19	26.18	86.29	23.11

Как видно из таб. 2, использование ошибки классификации приводит к ухудшению результатов по обоим критериям во всех проведенных экспериментах. Эти результаты отличаются от результатов, полученных в [2], где авторам удалось добиться повышения точности. Возможная причина различий может заключаться в использовании другой базы данных (в [2] использовалась ImageNet [5]), ImageNet в качестве источников признаков дает значительно более общие и полезные для улучшения признаки, чем признаки cifar10.

Интересно отметить, что в случае обучения сети-реконструктора удалению Гауссова размытия качество классификации оказалось выше, чем у единственной сети классификатора, обученной на размытых изображениях. При обучении шумоподавлению ни один из рассмотренных вариантов не смог достичь точности классификации, полученной при обучении единственного классификатора на зашумленных изображениях. Возможная причина заключается в том, что при восстановлении в условиях шума теряется информация о интенсивности в каждом пикселе изображения, которая может быть полезна для классификации. При этом для размытия использовалось универсальное ядро, а значит задача реставрации в этом случае является принципиально более простой. Этот результат является важным, на основании него можно заключить, что некоторые простые искажения целесообразно исправлять «вне» классификатора, а некоторые «внутри» классификатора.

В дальнейших экспериментах ошибка классификации не использовалась.

В таб. 3 и таб. 4 приведены результаты при использовании ошибки восприятия независимо и вместе с ошибкой реконструкции для задачи удаления размытия и задачи удаления шума. Заметим, что максимальная точность классификации для обоих факторов деградации достигается при использовании суммы ошибки реконструкции и ошибки восприятия с признаками второго уровня. Эти результаты являются наилучшими для всех проведенных экспериментов, когда на вход классификатора подавалось восстановленное изображение.

Метрика, основанная на пиковом отношении сигнал-шум, плохо подходит для оценки визуальных свойств изображения. Из-за неустойчивости к смещению яркости и изменению контраста эта оценка часто противоречит визуальному восприятию. Тем не менее, для полноты мы приводим оценку PSNR для экспериментов, проведенных с ошибкой восприятия в таб. 5.

Таблица 3

Использование ошибки восприятия на основе resNet для решения задачи классификации при наложении шума

Уровень признаков	L_P	$L_P + L_R$
0	87.52	87.91
1	87.68	88.30
2	87.76	88.42
3	87.44	88.35

Таблица 4

Использование ошибки восприятия на основе resNet и реконструкции для решения задачи классификации при размытии изображений

Уровень признаков	L_P	$L_P + L_R$
0	90.33	90.75
1	90.42	90.94
2	90.46	90.97
3	90.08	90.81

Таблица 5

PSNR восстановленных изображений в разных экспериментах

Уровень признаков	Шум		Размытие	
	L_P	$L_P + L_R$	L_P	$L_P + L_R$
0	28.88	30.60	35.29	37.89
1	28.24	30.07	31.85	33.60
2	27.58	28.88	30.20	32.42
3	27.04	28.10	28.43	29.24

Из таб. 3, 4, 5 следует, что чем глубже извлекаются признаки из сети классификатора, тем ниже PSNR при восстановлении, однако точность классификации ведет себя иначе: чем глубже признаки, тем выше точность классификации вплоть до второго слоя извлечения признаков, однако на третьем качество снова падает. Признаки в середине сети содержат наиболее общие свойства объектов, в начале сети извлечённые признаки слишком просты, а в конце – слишком абстрактны.

Заключение

Был исследован метод, основанный на каскаде нейронных сетей выполняющих задачу улучшения изображений и проведены эксперименты, направленные на поиск оптимальной функции потерь для достижения максимальной точности классификации. Исследовалась трехкомпонентная функция потерь, учитывающая: ошибку классификации, ошибку реконструкции и ошибку восприятия.

Впервые исследовано влияние комбинации всех этих ошибок для различных типов деградации изображений на восстановление и точность распознавания по сравнению с использованием единственного классификатора, обученного в условиях воздействия искажающих факторов.

В рамках проведенных экспериментов использование ошибки классификации приводило к ухудшению результатов по обоим критериям во всех проведенных экспериментах.

Максимальная точность классификации может быть достигнута при обучении классификатора распознаванию зашумленных изображений без использования шумоподавляющей сети, в то время как сеть-классификатор на основе resNet не может эффективно справляться с классификацией размытых изображений и использование сети-реконструктора позволяет значительно повысить качество решения высокоуровневой задачи.

Подавить шум при условии неизвестной его интенсивности является более сложной задачей по сравнению с задачей классификации изображений в таких же условиях. В то же время для размытия изображений применялось универсальное ядро Гаусса. Известно, что такое искажение является более простым, однако классификатор resNet20 не может справиться с размытием также эффективно, как каскад сетей.

Даже в условиях неизвестности размера окна гауссова размытия для сети реконструктора оказалось проще подавить его чем классификатору обучиться работать с размытыми картинками. Этот результат является важным, на основании него можно заключить, что некоторые простые искажения целесообразно исправлять «вне» классификатора, а некоторые «внутри» классификатора.

Максимальное соотношение сигнала к шуму достигается в экспериментах с ошибкой реконструкции без использования ошибки восприятия и ошибки классификации. Это соответствует стандартному обучению сетей реконструкторов.

Исследуемая модель во время обучения из-за необходимости восстанавливать признаки объектов присущих определенным классам проигрывает в качестве восстановления всего изображения, с точки зрения PSNR, однако эти признаки оказываются полезными для последующей классификации, и каскадная модель, обученная с ошибкой реконструкции и ошибкой восприятия на втором слое, обходит по качеству классификации модель только с ошибкой реконструкции.

Литература

1. Lucas A., Lopez-Tapia S., Molina R., et al. Generative adversarial networks and perceptual losses for video super-resolution // IEEE Transactions on Image Processing. 2019. PP. 3312-3327.
2. Ding L., Bihan W. Connecting image denoising and high-level vision tasks via deep learning. URL: <https://arxiv.org/pdf/1809.01826.pdf> (accessed: 01.07.2020).
3. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention 2015. P. 234-241.
4. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, et al. Deep Residual Learning for Image Recognition // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 27-30 June, 2016. USA, Las Vegas. P. 9.
5. Russakovsky O., Deng J., Su H., Krause J. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. 2015. URL: <https://arxiv.org/pdf/1409.0575.pdf> (accessed: 01.07.2020).

Фадеев Максим Алексеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

студент группы №V42051,

направление подготовки: 12.04.03 – Квантовые технологии в коммуникациях,

e-mail: wertsam2011@gmail.com

Егоров Владимир Ильич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет фотоники и оптоинформатики,

к.ф.-м.н., зам. директора национального центра квантового интернета,

e-mail: viegorov@itmo.ru

УДК 535.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ
КОГЕРЕНТНОГО ПРИЕМА ДЛЯ СИСТЕМЫ КВАНТОВОЙ
КОММУНИКАЦИИ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ**

М.А. Фадеев

Научный руководитель – к.ф.-м.н., зам. директора В.И. Егоров

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

Аннотация

В данной работе предлагается экспериментальная реализация методов когерентного детектирования для системы квантовой коммуникации на боковых частотах. Необходимость разработки методов когерентного приема обусловлена использованием дорогих и громоздких детекторов одиночных фотонов. При когерентном приеме используется балансный детектор, построенный на основе классических фотодиодов, которые гораздо компактнее, не требуют особых условий эксплуатации и значительно дешевле.

Ключевые слова

Квантовая коммуникация, когерентное детектирование, гомодинное детектирование, 90-градусный оптический гибрид, балансный детектор.

В настоящее время системы квантового распределения ключа (КРК) активно развиваются и внедряются в существующую инфраструктуру. Появляются квантовые сети, разрабатываются системы для передачи ключа на дальние расстояния, реализуется передача ключа по открытому пространству, появляются эксперименты по созданию спутниковой квантовой связи. На данный момент предложено большое число различных протоколов КРК, каждый из которых имеет определенные преимущества и недостатки. Протоколы КРК могут различаться по типу сигнальных состояний, которые несут информацию в квантовом канале, информация может быть закодирована в фазу или поляризацию [1] одиночного фотона или когерентного состояния. Сигнальные состояния могут быть распределены на поднесущих частотах в результате фазовой модуляции [2] (так называемая система квантового распределения ключа на боковых частотах (КРКБЧ)).

Во всех протоколах, описанных выше, подразумевается использование детектора одиночных фотонов, такие протоколы называются протоколами на дискретных переменных (ДП КРК). Особым классом протоколов являются протоколы квантовой коммуникации на непрерывных переменных (НП КРК), их основной особенностью является возможность использования классических когерентных детекторов вместо детекторов одиночных фотонов, что значительно снижает стоимость системы КРК и упрощает ее интеграцию в существующие сети связи.

В данной работе рассматривается экспериментальная реализация известной системы КРКБЧ с различными типами когерентных детекторов. Особенности КРКБЧ позволяют реализовать оригинальные типы когерентного приема, которые используют классические балансные детекторы и позволяют извлечь информацию о фазе и амплитуде квантового сигнала. Экспериментальные стенды КРКБЧ с когерентным приемом являются заделом для реализации полноценного протокола КРКБЧ на непрерывных переменных (рис. 1).

Гомодинное детектирование

Схема гомодинного детектирования [3, 4] представлена на рисунке ниже:

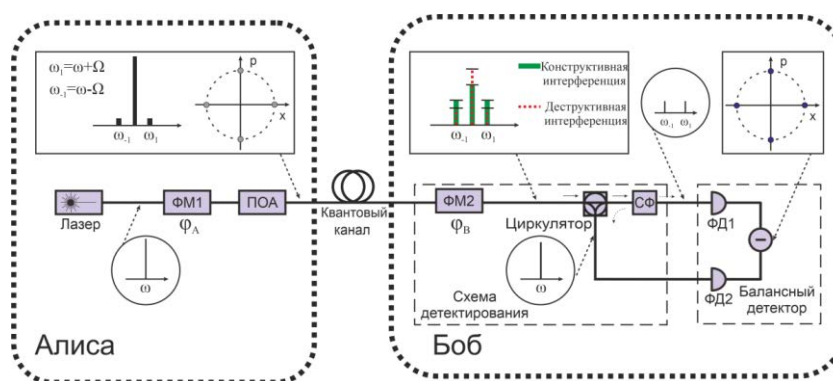


Рис. 1. Система квантовой коммуникации на боковых частотах с использованием гомодинного детектирования

Моделирование гомодинного детектирования для системы квантовой коммуникации на боковых частотах

Моделирование производилось в среде моделирования OptiSystems для волоконных линий связи. Ниже приведена схема системы квантового распределения ключа на поднесущих частотах с гомодинным детектированием (рис. 2).

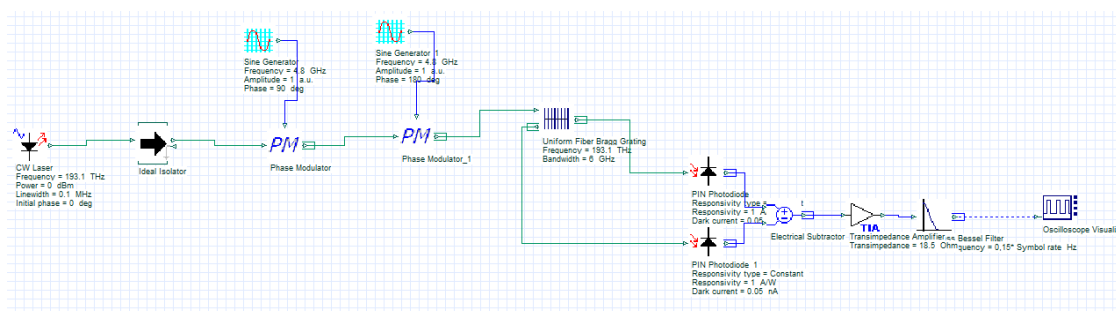


Рис. 2. Схема гомодинного детектирования для системы квантовой коммуникации на боковых частотах

Параметры установки, использованные при моделировании: центральная длина волны лазера 1550 нм, частота модуляции 4.8 ГГц, ширина спектрального фильтра 6 ГГц, чувствительность фотодиодов 1 А/Вт.

Результатом детектирования данной схемы будет уровень напряжения, полярность и величина которого будет зависеть от разности фаз между Алисой и Бобом (рис. 3).

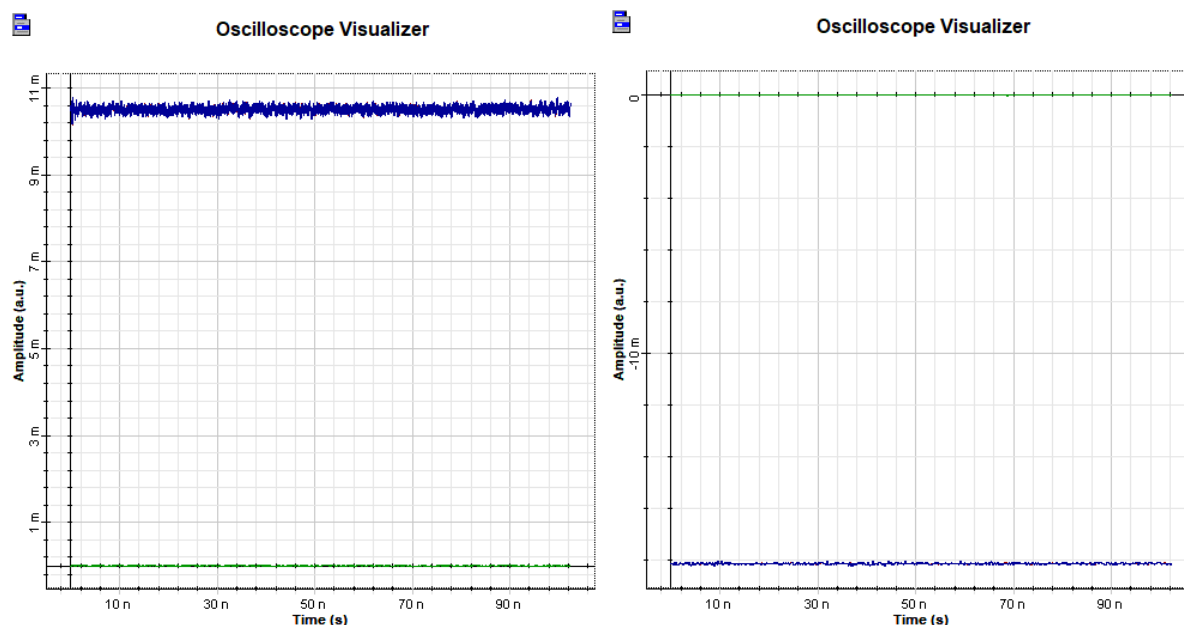


Рис. 3. Результаты детектирования гомодинного приемника при конструктивной и деструктивной интерференции Алисы и Боба

Синим цветом обозначен уровень напряжения. На первой половине изображен результат детектирования конструктивной интерференции, на второй – деструктивной. На выходе балансного детектора будет наблюдаться положительное или отрицательное напряжение соответственно.

Для подтверждения работоспособности гомодинного метода приема был проведен эксперимент.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка состояла из блоков «Алиса» и «Боб» и балансного детектора. Параметры установки: центральная длина волны 1550 нм, частота модуляции 4.8 ГГц, частота смены фаз 100 МГц, ширина спектрального фильтра 8 ГГц.

Результаты эксперимента

В данном эксперименте Алиса посылала 4 фазовых состояния от 0 до 360 градусов с шагом 90 градусов, длительностью каждого 80 нс. Фаза Боба фиксирована и равна 0 градусов (рис. 4).

Результатом является напряжение, полярность которого зависит от разности фаз между Алисой и Бобом. Положительное напряжение наблюдалось в случае совпадения фаз между блоками. Отрицательное – при разности фаз равной 180. Уровень шумов наблюдается в случаях несовпадения базисов измерений.

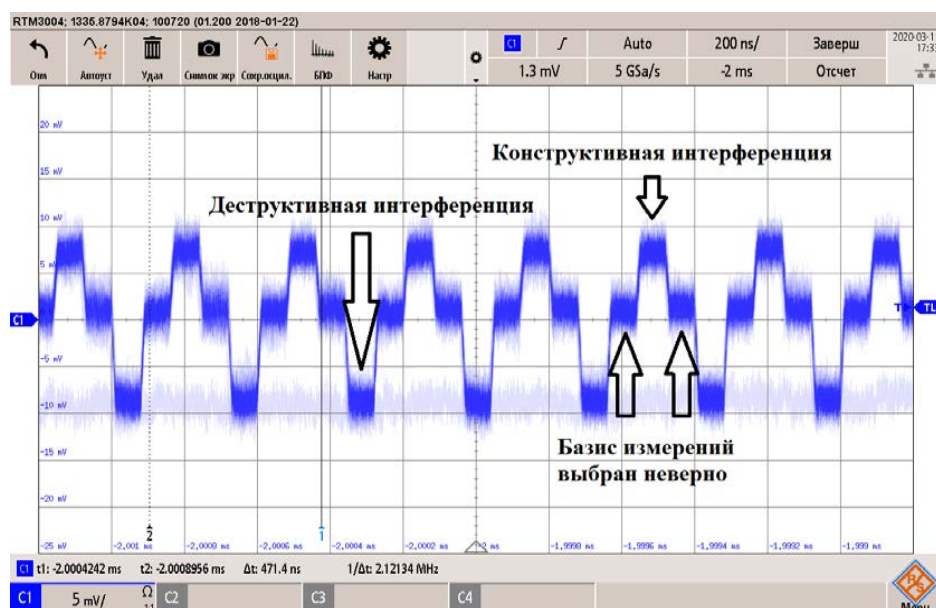


Рис. 4. Осциллограмма выхода балансного детектора при использовании гомодинного детектирования

Применение 90-градусного оптического гибрида для системы квантовой коммуникации на боковых частотах

Данный метод является развитием когерентного детектирования с тем отличием, что пришедший сигнал разделяется пополам и эти части измеряются одновременно в двух базисах. В том плече, где базисы измерений Алисы и Боба совпали, будет наблюдаться конструктивная или деструктивная интерференция, в другом же - уровень шумов. Данная схема позволяет получать последовательность бит, не прибегая к процедуре просеивания. Схема данного метода приведена ниже [3, 4] (рис. 5).

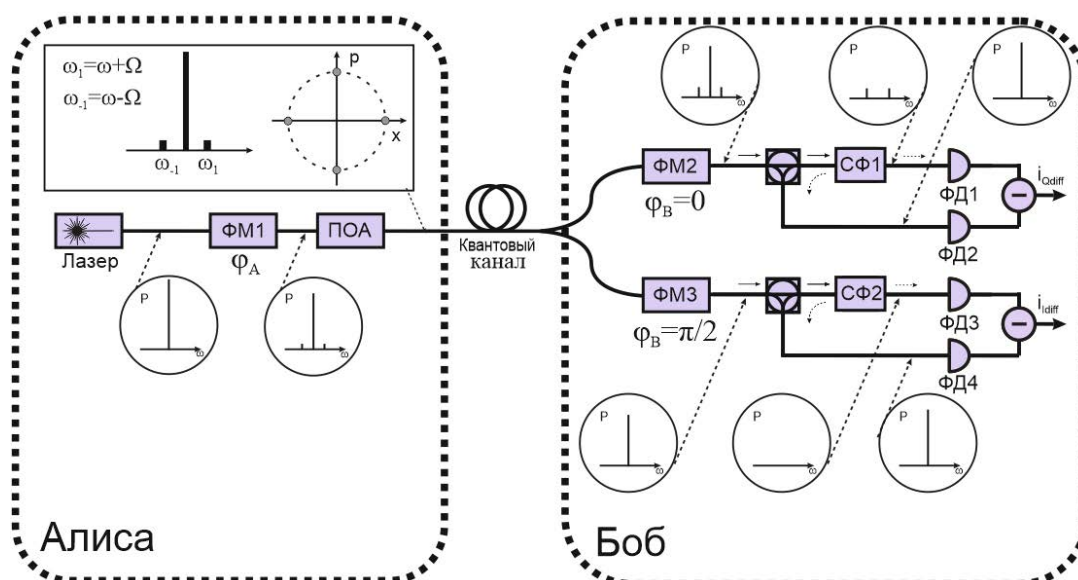


Рис. 5. Схема системы квантовой коммуникации на боковых частотах с использованием 90 градусного оптического гибрида

Для данной схемы был проведен эксперимент с целью проверки работоспособности схемы с использованием 90-градусного оптического гибрида.

Результаты эксперимента

В данном эксперименте Алиса посылала 4 фазовых состояния от 0 до 360 градусов с шагом 90 градусов, длительностью каждого 80 нс. Фаза Боба была зафиксирована в двух значениях: для первого случая 0 градусов, для второго – 90 (рис. 6, 7).

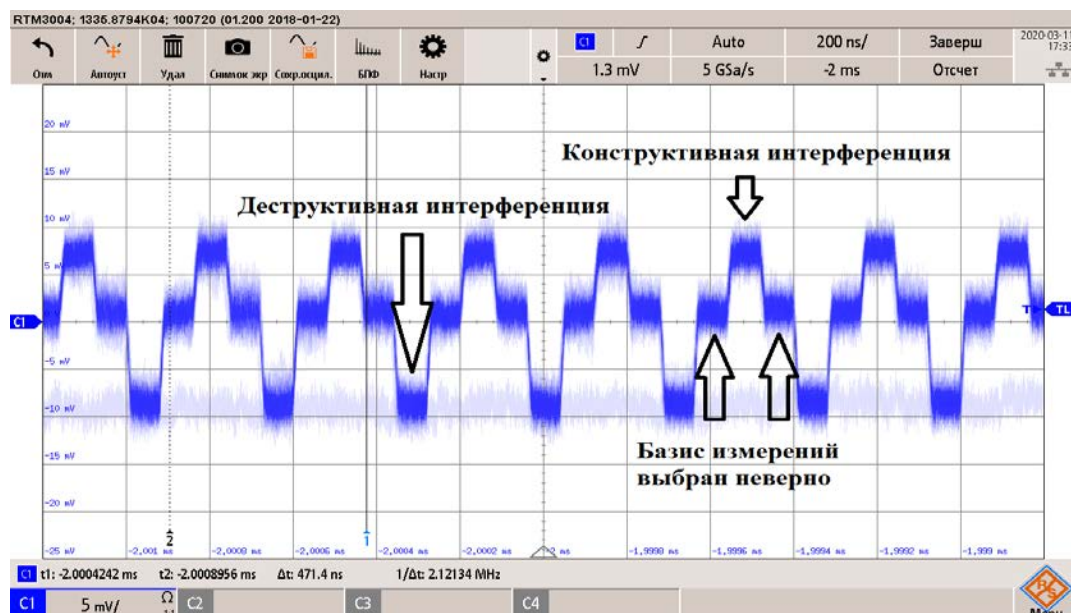


Рис. 6. Результаты детектирования в первом плече 90 градусного оптического гибрида, фаза Боба фиксирована и равна нулю

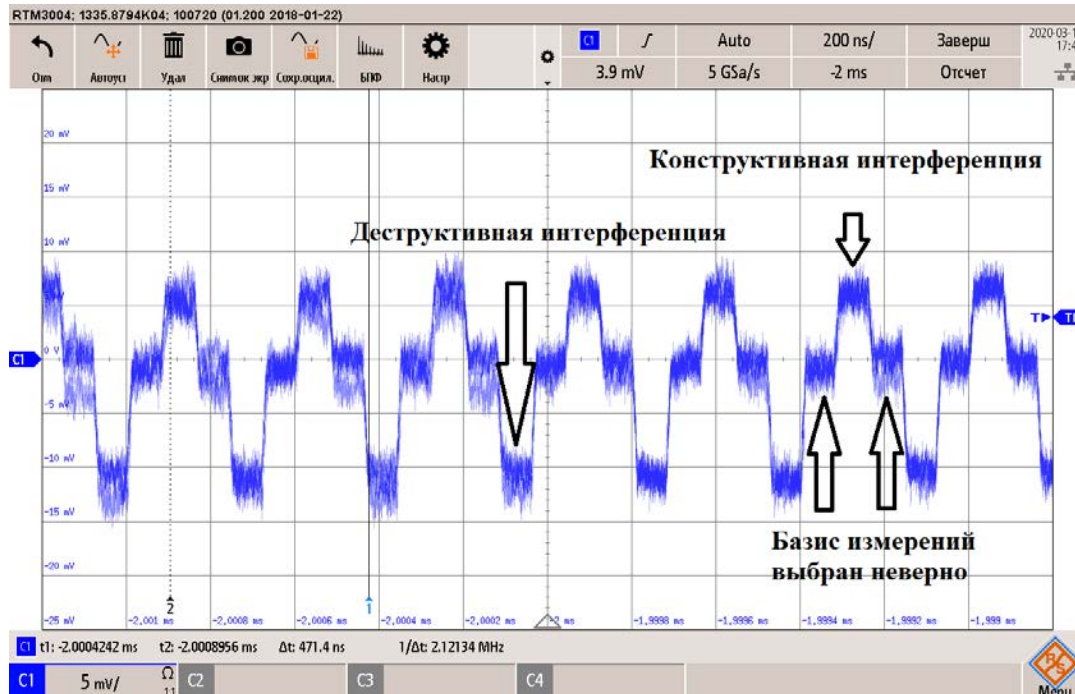


Рис. 7. Результаты детектирования в первом плече 90 градусного оптического гибрида, фаза Боба фиксирована и равна 90 градусам

В результате детектирования будет так же наблюдаться напряжение, которое зависит от разности фаз. Но это будет наблюдаться только в том плече, в котором базисы измерений совпали.

Выводы

Была продемонстрирована модель и экспериментальная реализация методов когерентного приема для системы квантовой коммуникации на боковых частотах. Показана работоспособность рассмотренных схем детектирования, которые в дальнейшем могут быть внедрены в существующую телекоммуникационную инфраструктуру.

Литература

1. Bennett C.H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing // Theoretical Computer Science. 2014. Vol. 560. P. 7–11.
2. Gleim A.V. et al. Secure polarization-independent subcarrier quantum key distribution in optical fiber channel using BB84 protocol with a strong reference // Optic Express. 2016. Vol. 24. № 3. P. 2619.
3. Samsonov E., et al. Subcarrier wave continuous variable quantum key distribution with discrete modulation: mathematical model and finite-key analysis. // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. P. 10034.
4. Samsonov E.O. et al. Coherent detection schemes for subcarrier wave continuous variable quantum key distribution system // arXiv:2006.16543 [quant-ph]. 2020.

Фомин Дмитрий Игоревич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

студент группы № В42081,

направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,

e-mail: dfomin53@gmail.com

Мараев Антон Андреевич

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет прикладной оптики,

к.т.н., ассистент,

e-mail: aamaraev@itmo.ru

УДК 629.052.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Д.И. Фомин

Научный руководитель – к.т.н., ассистент А.А. Мараев

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование и разработка системы ориентации беспилотных летательных аппаратов».

Аннотация

В данной работе будет рассмотрен метод автоматического управления квадрокоптерами при помощи дальномера и линейного КМОП-сенсора, для упрощения алгоритмов поиска препятствий. Предложенный алгоритм позволит избежать необходимости использования систем компьютерного зрения для автоматического поиска препятствий. Таким образом предложенный метод позволит использовать малогабаритные дроны без ограничения по дальности действия связи с базовым блоком для обработки видео с бортовых камер.

Ключевые слова

Квадрокоптеры, автоматизация, дальномеры, управление, обнаружение препятствий, оптимизация управления.

Введение

Все большую популярность получают беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в виде квадрокоптеров. Для автономной работы БПЛА необходима система обнаружения препятствий на пути их следования. Для облета мелких препятствий используются в основном камеры, для которой требуется большие вычислительные мощности, организованные на ресурсах базовой станции [1, 2]. Таким образом требуется постоянная связь с базовым модулем, что ограничивает дистанцию полетов дрона.

В данной работе рассмотрен более простой метод обнаружения препятствий, для обработки которого достаточно базовых вычислительных мощностей самого дрона. Разрабатываемый алгоритм основан на использовании двух типов приемников – высокочастотного и линейного КМОП-сенсора, а так же источника освещения. Источник излучения посылает высокочастотные импульсы, с частотой большей частотой кадра на КМОП-сенсоре, но с достаточной, для высокочастотного приемника.

Таким образом высокочастотный приемник позволит определить дальность до препятствия, по времени прохождения импульса по трассе; а линейные сенсор – определить угловое положение препятствия относительно дрона.

Анализ сценариев реагирования на различные конфигурации препятствий

Для упрощения алгоритмов действия по обнаружению препятствий необходимо рассмотреть возможные конфигурации препятствий, учитывая выбранный метод обнаружения. С учетом возможности определять дистанцию только до одного препятствия, а значит и однозначно возможно определить положение препятствия только если это единственное препятствие в зоне видимости. Тогда необходимо рассмотреть несколько конфигураций препятствий:

1. Наличие только одного препятствия.
2. Наличие нескольких препятствий на разном расстоянии от дрона.
3. Наличие нескольких препятствий на одном расстоянии от дрона.

Рассмотрим подробнее каждую конфигурацию. В случае одного препятствия можно однозначно определить положение препятствия относительно дрона по двум параметрам – угловому положению (с помощью линейного сенсора) и дистанции до препятствия (с помощью дальномера). В данной конфигурации препятствий необходимо просто повернуть на необходимый угол, в противоположенную от препятствия сторону (рис. 1).

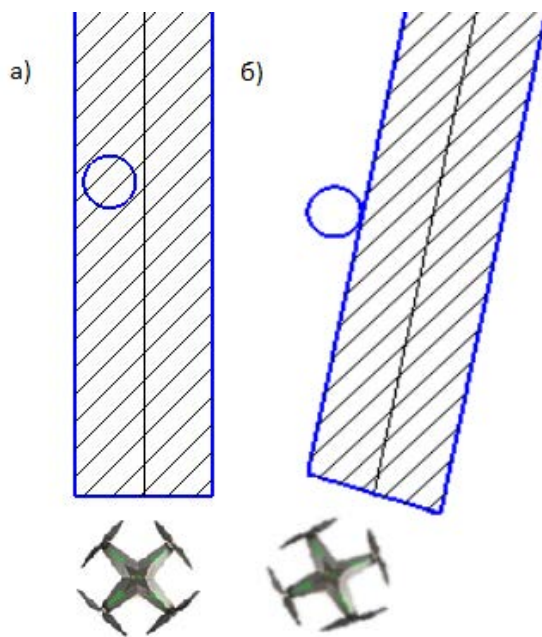


Рис. 1. Одно препятствие

В случае нескольких пиков на линейке приемника показания дальномера не позволят однозначно определить расстояние до каждого из них. В этом случае можно уменьшить интенсивность источника (рис 2). Таким образом, дистанция обзора снизится, а значит, в поле зрения останутся объекты, находящиеся на меньшем расстоянии. Если такой объект будет единственным, то алгоритм облета препятствий сведется к предыдущему. Снижать интенсивность можно до определенного порога, такого чтобы либо дистанция обзора была определена габаритными размерами дрона или груза, что больше (переход к следующему алгоритму), либо отраженный сигнал был различим относительно фона и шума на обоих приемниках.

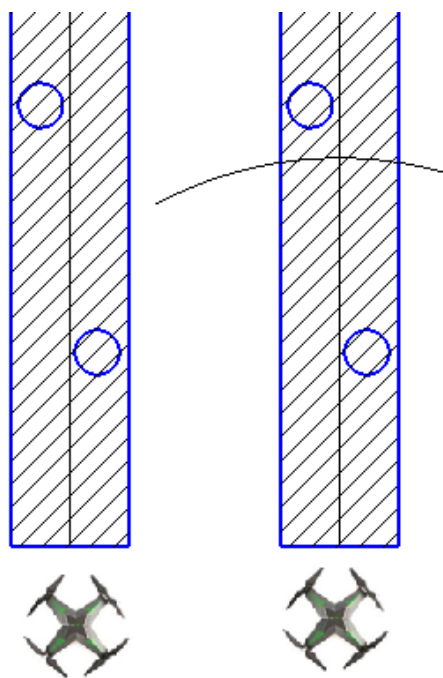


Рис. 2. Несколько препятствий на разном удалении

В случае если предельное снижение интенсивности не принесло результатов, то происходит переключение на более точный алгоритм маневрирования. Интенсивность подсветки обзора в таком случае выберется в пределах от одного до двух габаритных размеров дрона или груза. При переходе на этот алгоритм дрон прекращает движение по маршруту и маневрирует в направлении, параллельном препятствиям, так чтобы найти положение, при котором не будет препятствий в безопасной зоне (рис. 3), после обнаружения такого положения дрон пролетает мимо препятствий вне безопасной зоны.

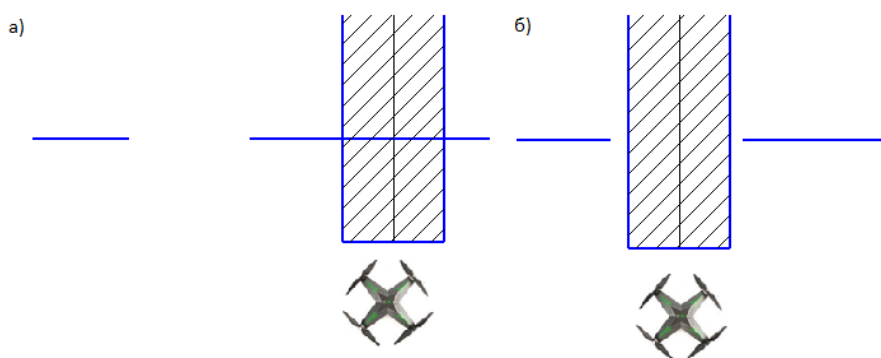


Рис. 3. Несколько протяженных препятствий

Таким образом можно для автономного полета в системе обнаружения препятствий так же должно быть предусмотрена возможность изменять интенсивность подсветки, и известная зависимость необходимой подсветки от требуемой дистанции обзора; а так же подключаемый обзор на 360° , для маневрирования в стороны.

Определения углового положения препятствия

Метод автоматического определения углового положения по сигналу яркости линейки приемников основан на нахождении номера пикселя с наибольшей освещенностью, по времени между началом кадра и моментом пикового сигнала в видеосигнале с линейки. Далее необходимо рассчитать сектор обзора каждого пикселя линейного сенсора (рис. 4).

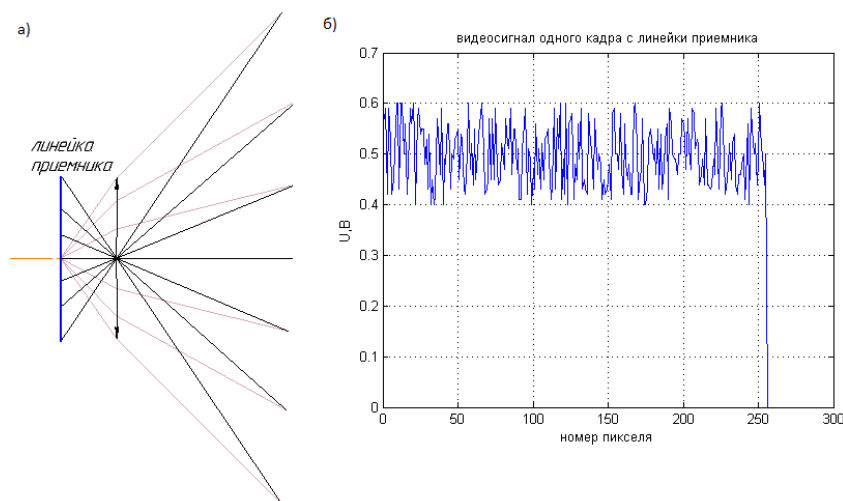


Рис. 4. Сектора обзора на линейке приемников а) засветка части приемника в зависимости от направления на объект, б) полученный сигнал

Тогда зависимость номера пикселя от сектора обзора примет линейный вид. И появление препятствия в поле зрения будет соответствовать пику принятого излучения на пикселе соответствующего сектора, по которому можно определить угол θ по формуле (1):

$$\theta = n\Omega/N, \quad (1)$$

где n – номер выбранного пикселя, N – количество пикселей в линейке, Ω – полный угол обзора.

Определение дистанции до препятствия

Для определения дистанции до препятствия используется импульсный дальномер [3], который измеряя время между отправленным и принятым импульсом определяет дистанцию до препятствия.

При постоянной скорости распространения электромагнитного излучения в слое среды дальность до объекта рассчитывается по формуле (2) (при этом учитывается, что излучение проходит двойное расстояние):

$$L = ct/2n, \quad (2)$$

где L – измеряемое расстояние, c – скорость света в вакууме, t – время прохождения импульса, n – отношение скорости света в вакууме к скорости света в среде, в которой распространяется излучение.

Пример обнаружения препятствий по полученному сигналу обоих приемников

На рис. 5 приведены график зависимости светимости источника от времени, а также график сигнала полученного приемником, с временной задержкой Δt .

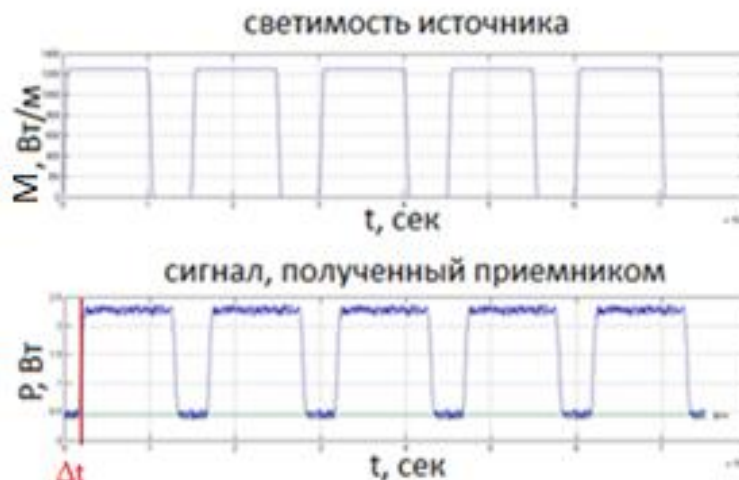


Рис. 5. К расчету дистанции до препятствия

По временному смещению Δt по формуле (2) можно рассчитать дальность до препятствия. Временное смещение рассчитывается как разность между временем начала подачи напряжения на источник и временем, когда напряжение, полученное приемником стало выше пороговой чувствительности.

На приведенном примере время, через которое сигнал на приемнике станет выше порогового равно 110нс и по формуле (2)

$$L = \frac{ct}{2n} = \frac{3 * 10^8 * 110 * 10^{-9}}{2 * 1,0003} = 16,5 \text{ м}$$

На рис. 6 показан сигнал яркости телевизионного сигнала с синхронизирующими импульсами, которые являются точками начала отсчета для расчета положения пика. В данном случае уровень фона был задан случайным образом в пределах от 0,4 до 0,6 В (рис. 6).

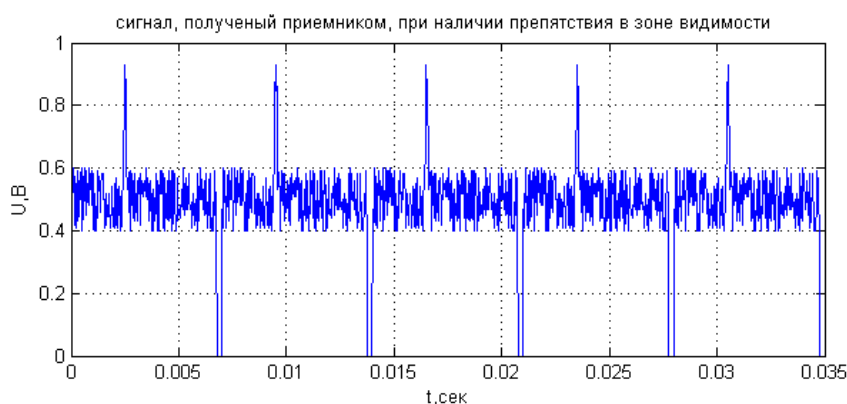


Рис. 6. К расчету направления на препятствие

В выбранной линейке приемников частота кадров равна $f=128$ Гц и имеет $N=256$ пикселей, а также синхронизирующий импульс, соответствующий $n=8$ пикселям, тогда скорость считывания пикселя может быть рассчитана по формуле

$$V_{px} = f \cdot (N + n) = 128 \cdot (256 + 8) = 128 \cdot 264 = 36571 \frac{\text{пикс}}{\text{с}}$$

На приведенном графике видеосигнала (рис. 6) пик принятого излучения, показывающий наличие препятствия, отстоит от начала кадра на 0,0027 с, тогда по формуле (2.10) положение искомого пикселя на линейке равно

$$X_{из} = V_{px} t = 36571 \cdot 0,027 = 99 \text{ пикс}$$

Тогда, отраженный от препятствия сигнал приходится на 99-й пиксель, что по формуле (1) соответствует

$$\theta = \frac{n\Omega}{N} = \frac{99 \cdot 90}{256} = 35^\circ$$

Таким образом, в рассмотренном примере расстояние до препятствия $L=16,5$ метров, а направление на препятствие $\theta=35^\circ$, что позволяет однозначно задать положение препятствия в пространстве относительно дрона.

Расчет необходимой дистанции работы

Для автоматического полета дрона необходимо обнаруживать препятствия на пути следования, а также боковой и задний обзор, для детектирования подвижных препятствий, движущихся в направлении дрона, и кругового обзора препятствий в условиях ограниченного пространства. Таким образом, для корректной работы системы управления необходим обзор в 360° , который может быть обеспечен 4 элементами обнаружения препятствий, один из которых (направленный вперед) должен иметь возможность изменять максимальную дистанцию обзора в диапазоне от двух габаритных размеров дрона до 10 метров (рис. 7).



Рис. 7. Расположения дальномеров на квадрокоптере

Каждый дальномер показывает расстояние от дрона до препятствия [4]. Если не получает обратный сигнал, то в этом направлении нет препятствий в зоне действия дальномера. При обнаружении препятствия в направлении следования сигнал передается на блок управления БПЛА, который в свою очередь изменяет направление движения, в зависимости от заданного курса и информации с остальных модулей.

Дистанция работы системы обзора зависит от алгоритма реагирования, рассмотренного ниже. Режим по умолчанию предполагает, в случае обнаружения препятствий, отклонение от траектории движения такое, чтобы облететь препятствие.

Угол отклонения в таком случае зависит от расстояния до препятствия и его углового положения относительно центра дрона. Когда речь идет о стационарных препятствиях, расстояние до препятствия, в момент его обнаружения, равно максимальной дистанции обзора, зависимость дистанции от угла поворота приведена в формуле (3)

$$S = \frac{h/2}{\operatorname{tg}(\alpha)} \quad (3)$$

где S —дистанция обзора, h —размер безопасной зоны, равный удвоенному размеру квадрокоптера, α - максимальный угол поворота.

Максимальная скорость наиболее распространенных на рынке дронов не превышает 70км/ч, но обычно скорость полета около 40 км/ч, или 11 м/с. Скорость поворота дрона приведена на графике (рис. 8).

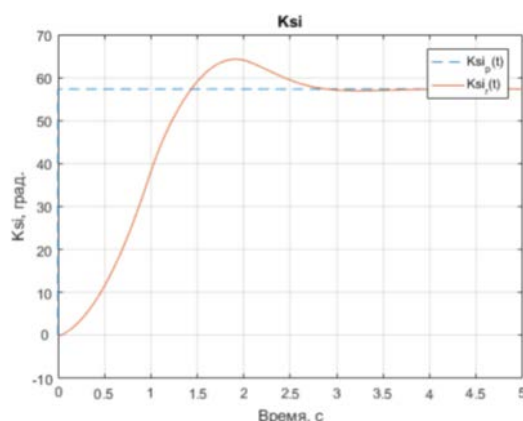


Рис. 8. График скорости поворота квадрокоптера вокруг вертикальной оси [4]

Каждой дистанции по формуле (3) соответствует угол поворота при облете препятствия, находящегося в безопасной зоне. Исходя из графика скорости поворота (рис. 5), можно найти время поворота в зависимости от необходимого угла. Тогда максимальная скорость полета дрона равна

$$U=S/t$$

где U - скорость полета дрона, S - дистанция обзора, t -время, за которое совершается поворот.

Ниже приведен график зависимости скорости дрона от минимальной дистанции обзора для этой скорости (рис. 9).

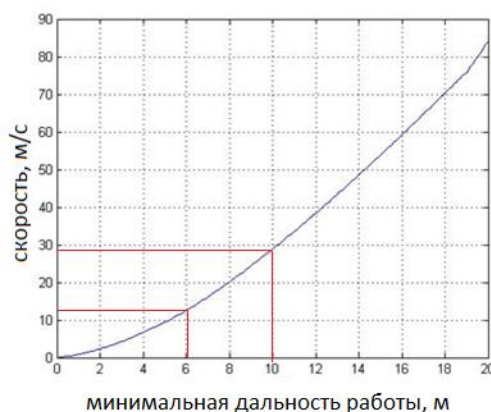


Рис. 9. Зависимость необходимой дистанции обзора от скорости полета

На графике (рис. 6) видно, что для выбранной скорости в стандартном режиме полета, равной 11 м/с, дистанция обзора равна 6 метрам. Но учитывая, что максимальная скорость полета базовых моделей дронов достигает 70 км/ч, или 20 м/сек; а также, учитывая возможные неблагоприятные погодные условия (туман, ветер, повышенная фоновая засветка) и просто ошибки электроники, возьмем дистанцию обзора с запасом тогда $h=10$ метров.

Кроме того, необходимо так же рассчитать минимальную скорость полета дрона в случае нескольких препятствий в зоне видимости. Дистанция обзора, с учетом выбранных квадрокоптеров с размером рамы не превышающим 750мм, реальный габаритный размер квадрокоптера превышает размер рамы примерно на треть, за счет винтов, выступающих за раму. Примем минимальную дистанцию обзора равной двум габаритным размерам дрона, то есть 2 метрам. Тогда согласно рисунку 6 максимальная скорость полета равна 2,3 м/с.

Заключение

В данной работе были рассмотрены существующие методы автоматического управления беспилотными летательными аппаратами, на основе различных методов, и приведены положительные и отрицательные стороны каждого из методов. Был предложен метод разработан автоматического управления на основе двух устройств – импульсного дальномера и видеокамеры с линейной матрицей приемника, и разработан алгоритм реагирования на наличие препятствий и их различные конфигурации.

Определено, что метод, основанный на двух типах приемников (высокочастотном и линейном сенсоре), может быть реализован на вычислительных мощностях самого дрона. Так же способен работать в таких условиях, где неприменимы рассмотренные методы.

Литература

1. Корнилов В.А. Система управления мультикоптером / Корнилов В.А., Молодяков Д.С., Синявская Ю.А. М. 2012. 512 с.
2. Петров В.Ф., Барунин А.А., Терентьев А.И. Модель системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом // Известия ТулГУ. Технические науки. № 12. 2014.
3. Бокшанский В.Б., Бондаренко Д.А., Вязовых М.В., Животовский И.В., Сахаров А.А., Семенов В.П. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие /; под ред. В.Е. Карасика. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 92 с.
4. Кузьмин А.А. Исследование системы управления квадрокоптером с учетом динамики приводов: Магистерская диссертация. СПб. 2017. 51 с.

Чурбанова Александра Валерьевна

Год рождения: 1996 год

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42772,

направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,

e-mail: sashachurbanova@mail.ru

Федоров Алексей Владимирович

Год рождения: 1962 год

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н.,

e-mail: avfedorov@itmo.ru

УДК 53.082.4; 620.192.63

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛЬНОГО
ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

А.В. Чурбанова

Научный руководитель – д.т.н. А.В. Федоров

Аннотация

В работе рассмотрено применение математических методов фильтрации и повышения качества изображений для обработки результатов ультразвукового контроля с целью повышения качества и увеличения скорости контроля объектов сложной формы. Приведены результаты апробации разработанных алгоритмов обработки и визуального отображения результатов контроля объектов сложной формы на иммерсионном стенде.

Ключевые слова

Ультразвуковой контроль, А-скан, В-скан, акустическое изображение, дефект, визуализация.

Качество изготовления изделий сложной формы невозможно обеспечить без применения современных методов неразрушающего контроля, наиболее распространенным среди которых является ультразвуковая дефектоскопия. При данном методе контроля дефектация выполняется по акустическим изображениям и возлагается на человека. С увеличением сложности формы узлов и конструктивных элементов, увеличивается сложность и время контроля, а также повышается количество ошибок.

Целью работы являлось повышение качества контроля объектов сложной формы за счёт применения математических алгоритмов обработки и визуализации результатов ультразвукового контроля.

Базовым представлением данных ультразвукового сигнала является А-скан (рис. 1), или отображение формы волны, на котором по вертикальной оси откладывается амплитуда эхо-сигнала, а по горизонтальной оси – время. Другой формой отображения данных является В-скан (рис. 2). В-скан – изображение сигналов в плоскости сечения объекта контроля, перпендикулярной поверхности ввода и параллельной плоскости падения волны, на котором амплитуда А-сканов представлена цветом пикселя [1].

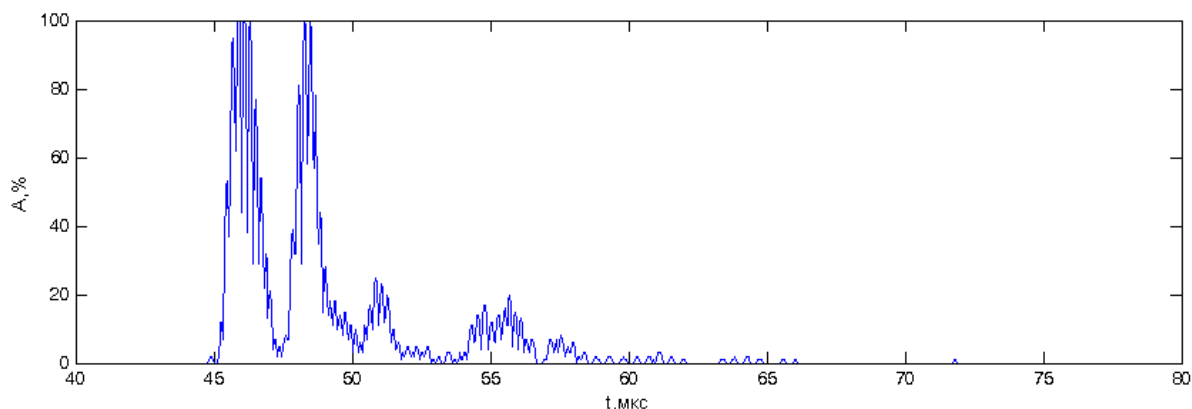


Рис. 1. Пример графика А-скана

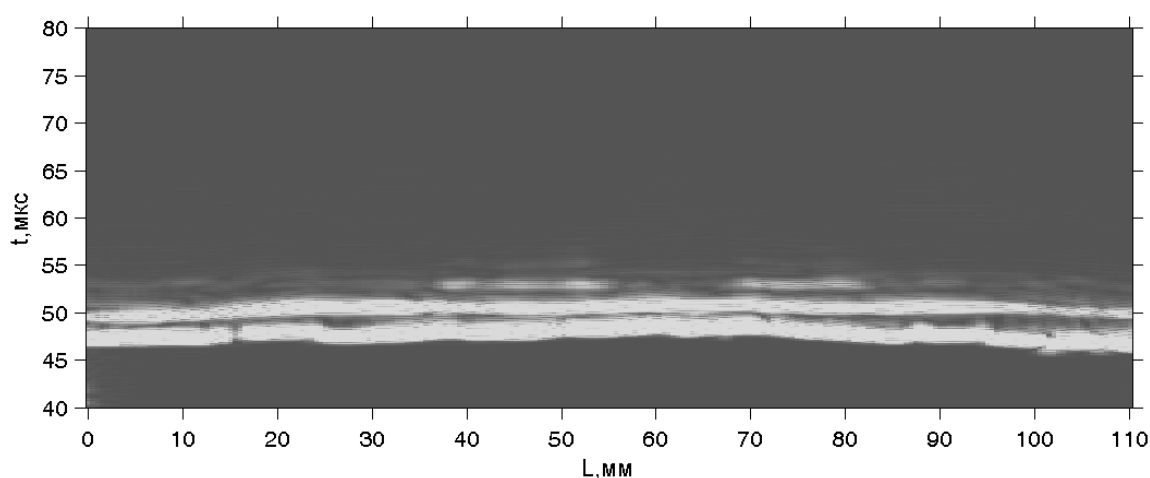


Рис. 2. Пример изображения В-скана

Как правило, в исследуемом дефектоскопистом акустическом изображении имеются визуальные недостатки: искажения, шумы, нечёткость акустических изображений, нечёткость сигналов от дефектов на акустических изображениях, плохо различимые мелкие детали и т.д. Устранение данных недостатков акустических изображений и повышение их визуального качества выполнялось в системе МАТЛАВ с помощью методов коррекции и фильтрации изображений: получение равномерного фона, улучшение контраста, применение фильтров Прюитта для обострения границ и разностного фильтра, а также фильтра, повышающего резкость изображения и усредняющего низкочастотного фильтра для сглаживания шумов [2].

В качестве объекта контроля сложной формы выступал приемный блок гидроакустической антенны, который представляет собой набор гидроакустических преобразователей, помещенных в оболочку, заполненную наполнителем [1] (поперечное сечение представлено на рис. 3).

В процессе производства при заполнении формы наполнителем в последнем могут образовываться одиночные дефекты (поры), которые влияют на работоспособность изделия [1]. Поэтому при ультразвуковом контроле качества изготовления приемных блоков гидроакустической антенны необходимо выявлять данный тип дефектов, критерием наличия которых является превышение амплитуды сигнала заданного уровня (уровня строка). Однако поскольку объект контроля является гибким, то установить одинаковое положение строка (сигнала заданного уровня),

соответствующее по времени прохождения сигнала расстоянию до наполнителя для всех А-сканов не представляется возможным.

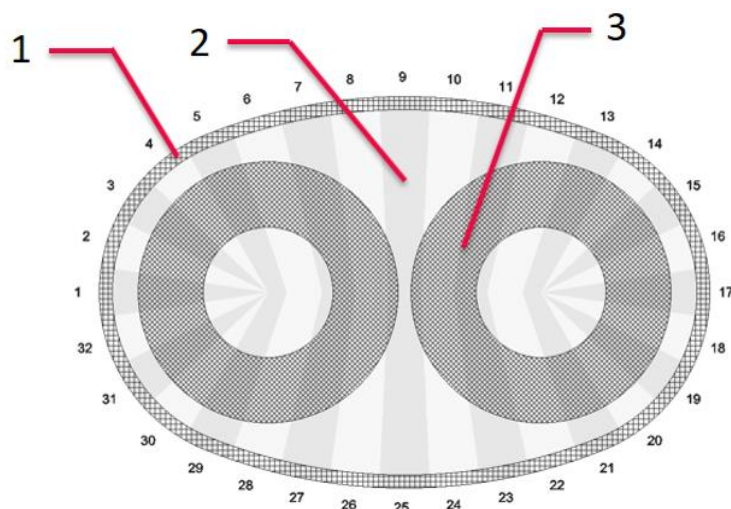


Рис. 3. Поперечное сечение объекта контроля:

1 – наружная оболочка, 2 – наполнитель, 3 – пьезокерамический преобразователь

Существующий алгоритм контроля предполагает поиск сигнала от границы оболочки объекта контроля (на рис. 4 вертикальная линия зеленого цвета) и расположение строба относительно него (на рис. 4 горизонтальная линия красного цвета) для каждого А-скана в отдельности. Сигнал от границы оболочки определяется по превышению заданного значения уровня (на рис. 4 горизонтальная линия зеленого цвета). Однако амплитуда сигнала от границы оболочки не постоянна и иногда возникают ситуации, когда она не превышает заданный уровень, в этом случае строб располагается относительно начала А-скана (нижний рис. 4).

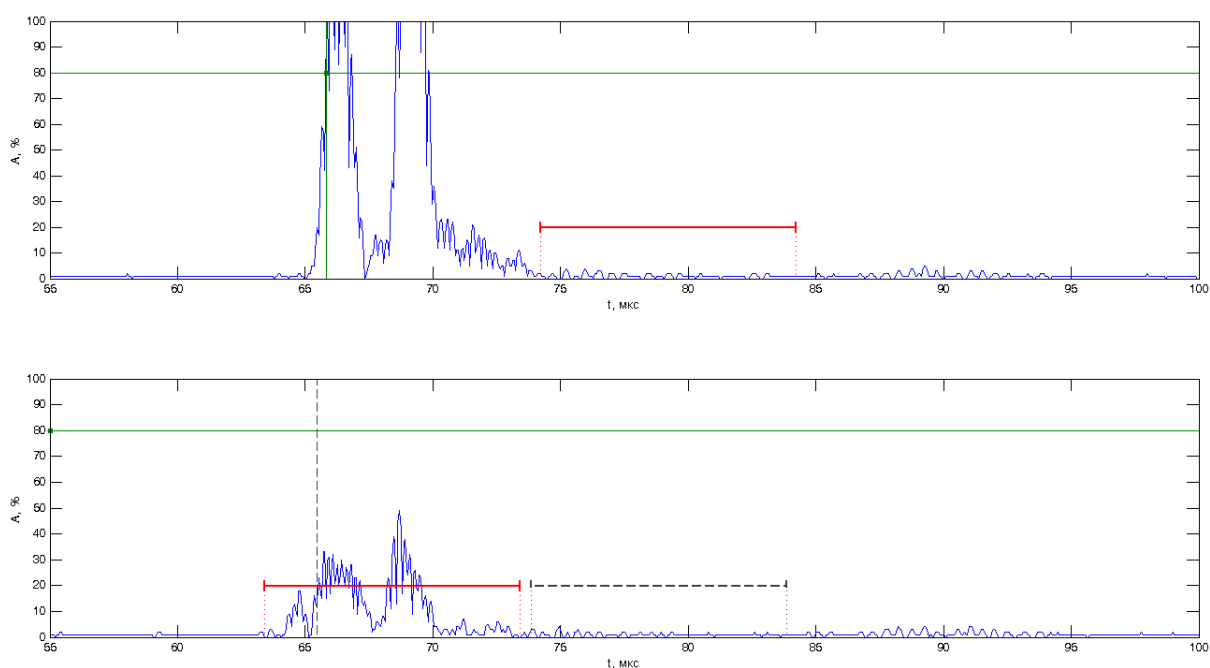


Рис. 4. Графики А-сканов:

горизонтальная линия зеленого цвета – уровень определения границы,
линия красного цвета – уровень строба

Ситуация усугубляется тем, что металлическая сетка, которой армирована оболочка объекта контроля, являясь хорошим отражателем ультразвуковой волны, дает сигнал с амплитудой выше, чем уровень сигнала от дефекта (нижний рис. 4), поэтому при попадании в строб сигнал от оболочки будет выделен цветом как сигнал от дефекта (рис. 5), а сигнал от дефекта (при его наличии) не попавший в строб выделен не будет (рис. 7).

В работе предложено дополнить существующий алгоритм выделения сигналов от дефектов фильтрацией значений границы оболочки объекта контроля для того, чтобы заменить отсутствующие для А-сканов с низкой амплитудой сигнала от границы значения на расчетные.

Для корректировки определения границы оболочки антенны, были рассмотрены следующие фильтры:

- КИХ фильтр;
- фильтр нижних частот;
- фильтр Калмана;
- фильтр скользящего среднего;
- усреднение результатов применения двух фильтров скользящего среднего;
- усреднение результатов применения фильтра Калмана к сигналам от границы оболочки объекта контроля в порядке регистрации А-сканов и в обратном порядке.

Лучший результат показало среднее арифметическое результатов применения фильтра Калмана к сигналам от границы оболочки объекта контроля в порядке регистрации А-сканов и в обратном порядке.

Апробация разработанных алгоритмов выполнялась в системе МАТЛАВ на результатах контроля объектов сложной формы, полученных на иммерсионном стенде.

На рис. 5 представлено изображение В-скана результатов контроля одного из секторов настроечного образца с выделенными желтым цветом сигналами от дефектов без применения дополнительной обработки. Из-за слабого сигнала от оболочки граница не обнаруживается, что в свою очередь приводит к тому, что оболочка выделяется цветом как дефект. В данном случае бездефектное изделие было идентифицировано как дефектное, т.е. возникла ошибка первого рода.

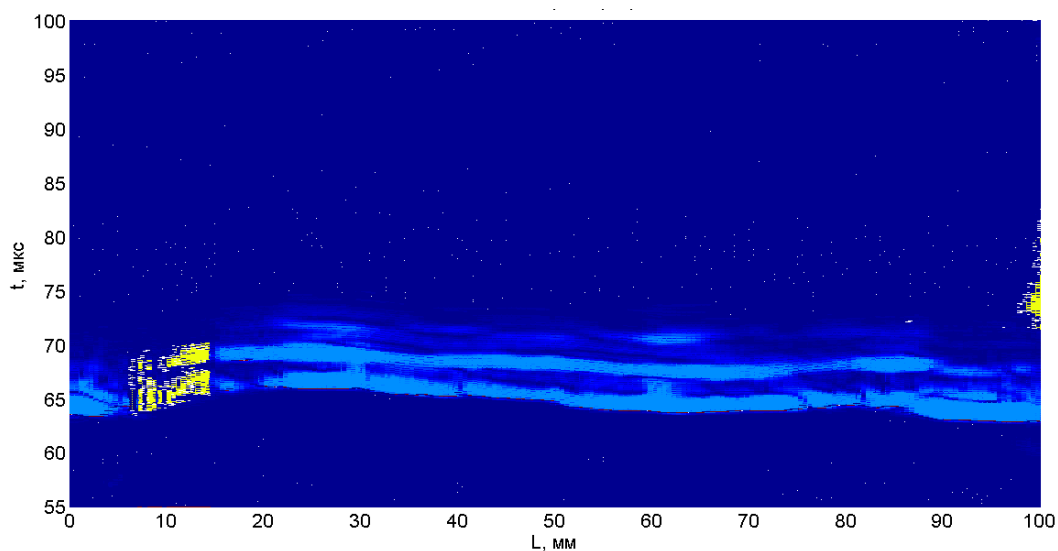


Рис. 5. Изображение В-скана настроечного образца с выделенными желтым цветом сигналами от дефектов без применения алгоритмов обработки

Результат применения разработанных алгоритмов представлен на рис. 6. Граница оболочки выровнялась, ложное выделение цветом сигналов от дефектов исчезло. Таким образом, применение разработанных алгоритмов помогло исключить ошибку первого рода.

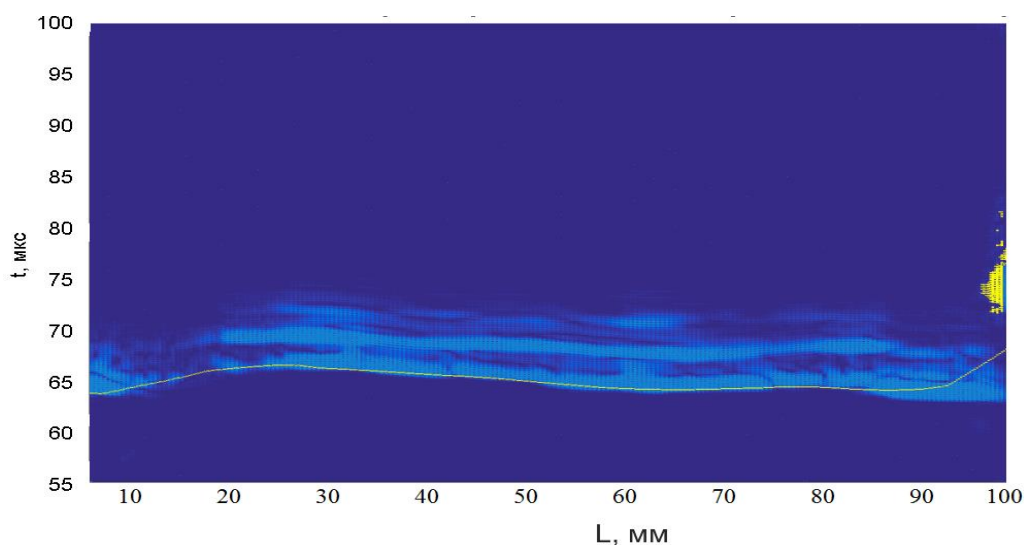


Рис. 6. Изображение В-скана настроечного образца с выделенными желтым цветом сигналами от дефектов с применением алгоритмов обработки

На рис. 7 представлено изображение В-скана результатов контроля одного из секторов объекта контроля с выделенными желтым цветом сигналами от дефектов без применения дополнительной обработки. Из-за слабого сигнала от оболочки объекта контроля ее граница не обнаруживается, что в свою очередь приводит к тому, что сигналы от дефектов в данной области не попадают в строб и не выделяются цветом. В данном случае дефектное изделие было идентифицировано как бездефектное, т.е. возникла ошибка второго рода.

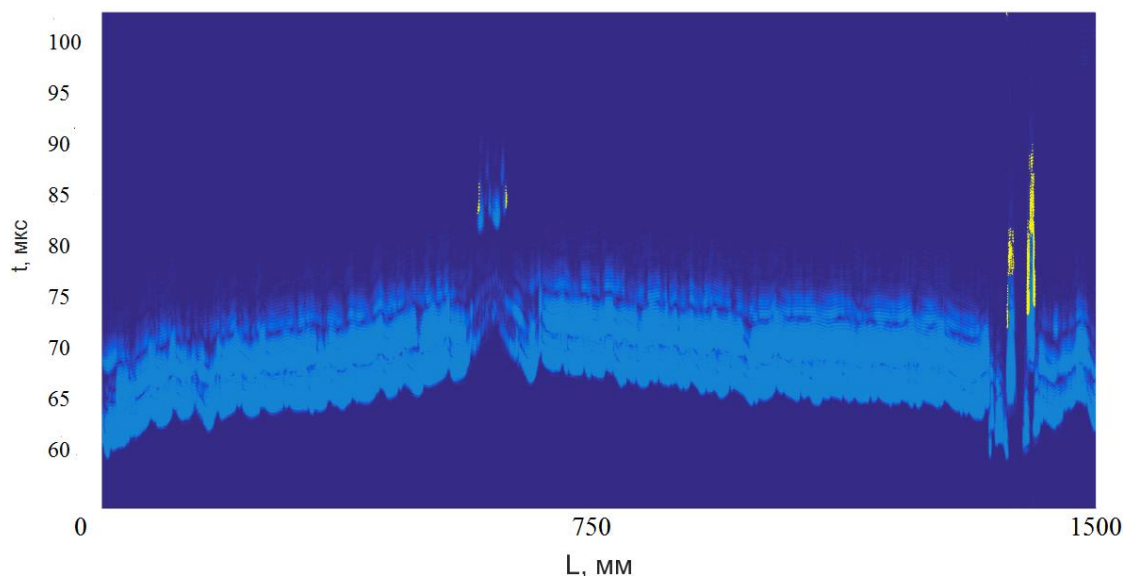


Рис. 7. Изображение В-скана объекта контроля с выделенными желтым цветом сигналами от дефектов без применения алгоритмов обработки

Результат применения разработанных алгоритмов представлен на рис. 8. Граница оболочки выровнялась, все сигналы от дефектов были выделены цветом. Таким образом, применение разработанных алгоритмов помогло исключить ошибку второго рода.

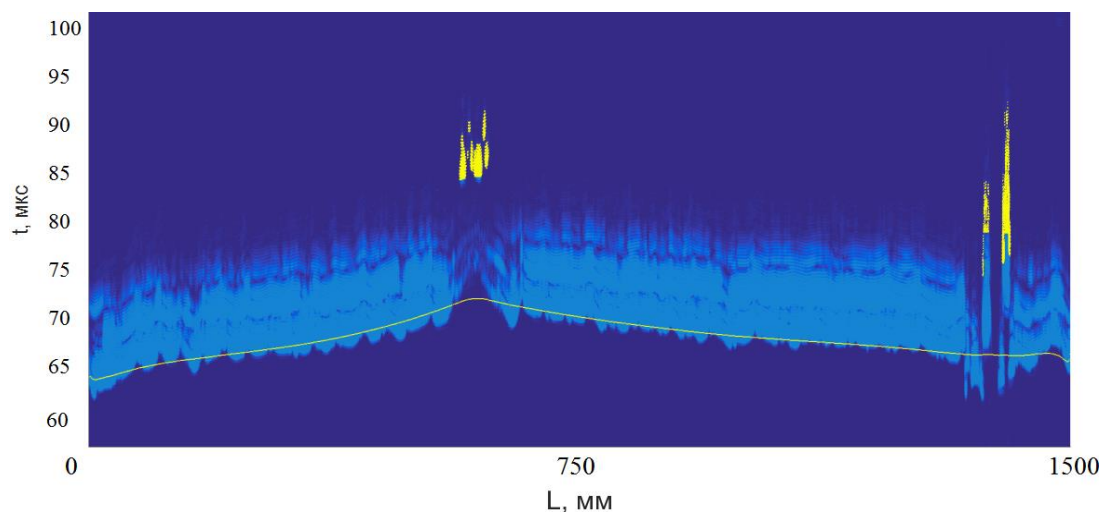


Рис. 8. Изображение В-скана объекта контроля с выделенными желтым цветом сигналами от дефектов с применением разработанных алгоритмов обработки

Следует отметить, что разработанное программное обеспечение, реализующее предложенные математические алгоритмы обработки и визуального отображения результатов ультразвукового контроля, позволит повысить качество и скорость контроля объектов сложной формы в различных отраслях промышленности: аэрокосмонавтике, электронике, автомобилестроении, машиностроении и т.д.

Литература

1. Федоров А.В., Быченко В.А., Кормильцева М.Ф., Сергеев Д.С., Ткачева Н.В., Батанов К.А., Гаринков А.В. Ультразвуковой контроль качества гидроакустических антенн // Журнал Дефектоскопия. 2009. № 2. С. 36–42.
2. Сергеева А.О., Володина Ю.И. Технологии повышения качества изображений и видео // Молодежная наука в развитии регионов. 2019. Т. 1. С. 25–28.

Шаккуф Али

Год рождения: 1994

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42332,

направление подготовки: 15.03.06 – Интеллектуальные технологии в робототехнике,

e-mail: ali.sha8ouf.itmo@gmail.com

Громов Владислав Сергеевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н.,

e-mail: gromov@itmo.ru.

УДК 681.5.015

**СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ
ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ С НЕИЗВЕСТНЫМИ
ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПАТТЕРНАМИ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ
АЛГОРИТМА DREM**

А. Шаккуф

Научный руководитель – к.т.н. В.С. Громов

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Исследование системы технического зрения для слежения за подвижными объектами/ StudyonDesigningComputerVisionSystemforMovingObjectsTracking».

Аннотация

В данном исследовании мы предлагаем новый подход к отслеживанию объектов и прогнозированию будущей траектории движения этих объектов. Основная идея состоит в том, чтобы наблюдать объект в течение примерно 15 секунд, это дает нам часть движущегося паттерна, затем алгоритм “динамического расширения регрессора и смешивания (DREM)” используется для оценки основных частот, участвующих в обнаруженном паттерне движения. Расчетные частоты используются для прогнозирования будущей траектории движения объекта. Точность этого метода была проверена с помощью 5dof манипулятор, который пытается захватить объект в каждый момент его будущей траектории. Исследования, проведенные на виртуальный объект, предназначенный в “vredit” в MATLAB. Объект перемещается по LCD экрану. Результаты были представлены в виде разницы между предсказанной траекторией и реальной будущей траекторией. Результаты показывают, что погрешность слежения за перемещением шара по экрану для различных движущихся узоров составляет менее 1 см, где экран стоит на расстоянии 500 мм от манипулятора.

Ключевые слова

Система компьютерного зрения, DREM, отслеживание объектов, оценка частоты, манипулятор KUKA youBot, оценка траектории движения.

Отслеживание движущихся объектов в настоящее время является чрезвычайно широкой областью научных исследований. Отслеживание используется в системах видеонаблюдения, взаимодействия человека и компьютера, сборочных линиях и навигации роботов ...и т.д. Отслеживание также может быть частью некоторых

исследований, например отслеживание автомобилей на протяжении длительного периода времени, затем анализ их траекторий, чтобы найти основные причины аварий автомобилей, а затем попытаться устранить эту причину эффективным способом. С одной стороны, существует огромное количество разработанных и быстродействующих алгоритмов слежения за движущимися объектами. С другой стороны, существует не так уж много исследований по предсказанию будущей траектории движущихся объектов.

Системы слежения различаются по сложности и принципу их использования. Sang (2013) описывает систему видения для обнаружения движущихся объектов на конвейерной ленте. здесь используется стационарная камера. задача обнаружения решается путем вычитания двух последовательных кадров. скорость измеряется путем деления пройденного расстояния на время, необходимое для его прохождения. Erokhin (2017) разработал систему обнаружения/слежения для использования на беспилотных летательных аппаратах. Его математическая модель предполагает, что любой приобретенный кадр является сверткой между изображением объекта и фоновым изображением. Затем задача отслеживания выполняется на основе графика траектории без какой-либо исходной информации о отслеживаемых объектах. и Sang, и Erokhin не имеют дела с будущей траекторией отслеживаемых объектов.

Wiest (2012) проводит исследование по прогнозированию будущей траектории движения автомобилей на несколько секунд вперед. Цель этого исследования состоит в том, чтобы помочь системам помощи водителям максимально избежать несчастных случаев. Используется разложение Чебышева и коэффициенты полученного полинома используются в качестве входных данных для вероятностной модели, которая используется для прогнозирования будущей траектории [1-5].

Постановка Задачи

Дан объект, который движется с периодическим рисунком формы:

$$g(t) = \sum_{i=1}^k a_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t) \quad (1)$$

Можем ли мы предсказать будущую траекторию этого объекта, если он был доступен для наблюдения в течение примерно 15 секунд с помощью датчика зрения?

Основная идея предлагаемого решения / подхода основана на теореме, сформулированной французским математиком Жозефом Фурье: “любая периодическая функция, какой бы тривиальной или сложной она ни была, может быть выражена в терминах сходящихся рядов комбинаций синусов и/или косинусов”, известных как ряды Фурье.

Используя теорему Фурье, постановка задачи может быть сформулирована следующим образом: можем ли мы оценить частоты, участвующие в обнаруженной схеме движения, и использовать эту оценку для прогнозирования будущей траектории?

Описание реализуемой системы

Поскольку в лаборатории довольно сложно иметь реальный объект, который движется с движущимися паттернами, объединенными несколькими периодическими сигналами, мы решили создать этот объект в Simulink. Для создания объекта использовался редактор виртуальной реальности в среде MATLAB. Объект – это белый шар, движущийся по LCD экрану. Датчик зрения представляет собой веб-камеру "Logitech c170".

Точность и эффективность реализованной системы проверяется путем

принуждения конечного эффектора манипулятора находиться на как можно меньшем расстоянии от шарика, как будто он собирается захватить шарик в каждый момент траектории. Используемый манипулятор – это "KUKA youBotmanipulator". Камера крепится к последнему звену манипулятора (рис. 1). Расстояние между youBot и экраном неизвестно. Он оценивается с помощью метода калибровки камеры.



Рис. 1. Оборудование системы

Как функционирует система?

Сначала мы помещаем манипулятор и жидкокристаллический экран на плоскую поверхность (стол) так, чтобы они были обращены друг к другу. Помните, что расстояние между ними должно быть в пределах, за которые манипулятор может получить доступ к каждой точке экрана. Не нужно измерять это расстояние. Кроме того, нет необходимости знать ориентацию экрана.

Рис. 3 представляет собой системную блок-схему, которая может быть описана следующим образом:

1. Выберите шаблон шахматной доски с четным числом квадратов в столбце и нечетным числом квадратов в строке. Отобразите этот шаблон на LCD экране.
2. Откройте калибратор MATLAB. Приобретайте кадры для калибровочной схемы (не менее двух, для оптимизации и получения хороших результатов возьмите 15 кадров).
3. Откройте модель шарика в Simulink. Выберите функцию движения и запустите симуляцию. Затем вызывается список функций, каждая из которых выполняет определенную задачу:
4. Функция "observe()". Эта функция обнаруживает движущийся паттерн шарика. Это занимает кадр каждые 100 мс. Для каждого кадра обнаруживается шарик. При обнаружении шарика его координаты и время кадра сохраняются в виде пары <время, координаты>. Если в каком-то кадре объект не обнаруживается, его координаты сохраняются как NaN.
5. Функция "math_model()". Эта функция возвращает однородное преобразование между базой youBot и системой координат экрана (рис. 2).

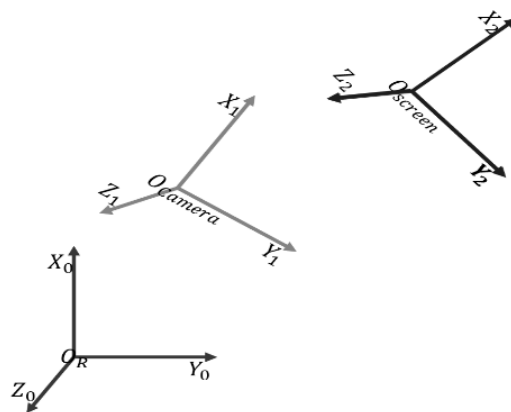


Рис. 2. Система координат кадров

6. Функции “enhance()”. Эта функция подготавливает обнаруженный паттерн к хорошему входному сигналу для DREM.

7. Функция "DREM()". Эта функция принимает в качестве входных данных расширенный паттерн и возвращает оцененные частоты, существовавшие в этом паттерне.

8. Функция "tracking()". Эта функция вычисляет (в реальном времени) координаты шарика на экране относительно базовой системы координат youBot, а затем начинает следовать за ней.

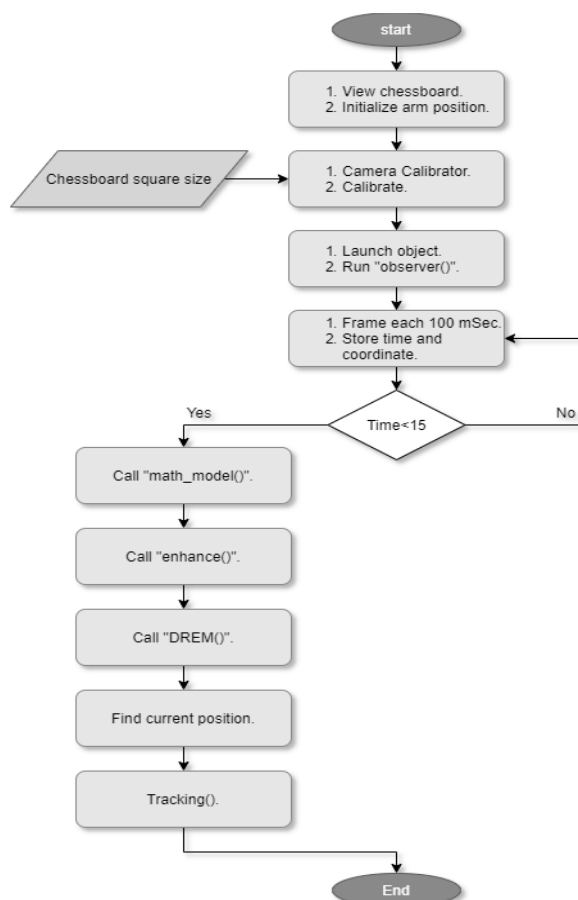


Рис. 3. блок-схема системы

Алгоритм DREM

Мы называем паттерн, обнаруженный камерой, $\hat{g}(t)$, который является входным сигналом для DREM. Отфильтруйте сигнал с помощью фильтра Гурвица вида:

$$\xi(t) = \frac{\lambda^{2l}}{(p + \lambda)^{2l}} \hat{g}(t) \quad (2)$$

l это число частот, существующих во входном сигнале. Далее построим следующую линейную регрессионную модель:

$$\xi^{(2l)}(t) = v^T(t)\vartheta + \varepsilon(t) \quad (3),$$

где:

$$v^T(t) = [\xi^{(2l-2)}(t) \quad \dots \quad \xi^{(2)}(t) \quad \xi(t)] \quad (4)$$

$$\vartheta^T = [\bar{\theta}_1 \quad \dots \quad \bar{\theta}_{l-1} \quad \bar{\theta}_l] \quad (5)$$

Элементы ϑ^T связаны со следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \bar{\theta}_1 = \theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_l \\ \bar{\theta}_2 = -\theta_1\theta_2 - \theta_2\theta_3 - \dots - \theta_{l-1}\theta_l \\ \vdots \\ \bar{\theta}_l = (-1)^{l+1}\theta_1\theta_2 \dots \theta_l \end{cases} \quad (6)$$

далее мы следуем шагам, упомянутым в Aranovski [2017], чтобы получить закон оценки в виде:

$$\dot{\hat{\vartheta}}_i(t) = \gamma_i \cdot \psi_\phi(t) (\Xi_i(t) - \psi_\phi(t)\hat{\vartheta}(t)) \quad (7)$$

Реальные эксперименты по предложенному подходу

В этом разделе мы представляем результаты двух экспериментов, проведенных в лаборатории. Каждый эксперимент относится к различным моделям движения следующим образом:

$$\begin{aligned} g_1(t) &= 2.66(\sin(0.19t) + \sin(1.69t))g_2(t) = \\ &= 0.66(\sin(0.19t) + \sin(0.09t) + \sin(0.39t) + 0.2 \sin(1.69t)) \end{aligned}$$

Для каждого эксперимента мы приводим четыре фигуры (рис. 4, 5):

(a) – обнаруженный паттерн: это траектория, по которой двигался объект. Эта картина была обнаружена камерой.

(b) – оценка дрем: это оценка частот, вовлеченных в обнаруженный паттерн.

(c) – реальный против предсказанного паттерна: здесь представлены две траектории; непрерывная линия — это реальная траектория, генерируемая объектом. Пунктирная линия — это расчетная траектория.

(d) – ошибка оценки траектории: это разница между реальной и расчетной (прогнозируемой) траекториями.

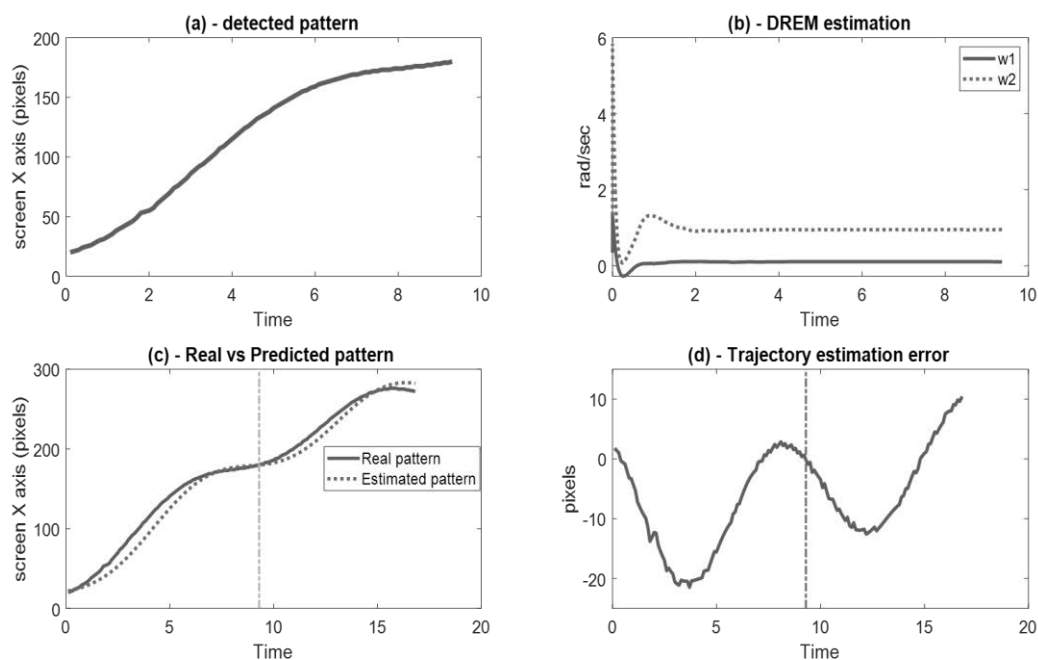


Рис. 4. Результаты эксперимента 1

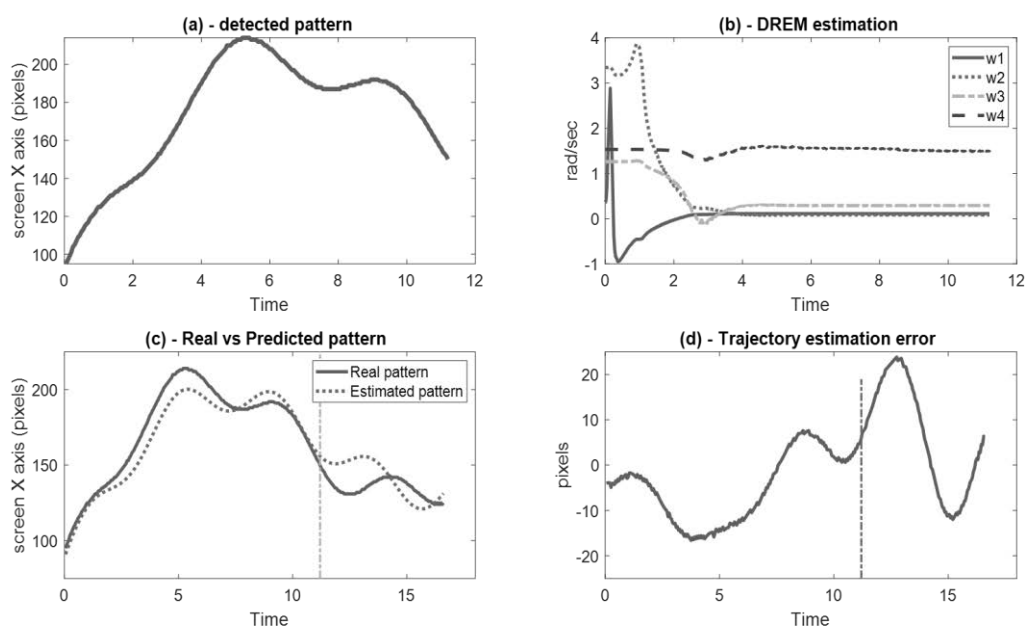


Рис. 5. Результаты эксперимента 2

Заключение

В этом исследовании был представлен и обсужден новый подход к отслеживанию объектов и прогнозированию будущих траекторий. Эффективность этого метода была проверена в лаборатории на мишени, которая движется с периодическими движущимися паттернами. Результаты и ошибки отслеживания показывают, что ошибка отслеживания относительно невелика. Это исследование может быть расширено будущими работами (особенно в области дискретной обработки сигналов) и использовано для отслеживания объектов, движущихся с непериодическими движущимися паттернами (рис. 4, 5).

Литература

1. Erokhin D. & Feldman A. & Korepanov. DETECTION AND TRACKING OF MOVING OBJECTS WITH REAL-TIME ONBOARD VISION SYSTEM. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-2/W4. 67-71. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W4-67-2017.
2. Sang, Ik & Nam, Sang-Hyun & Yu, Hyun & Roberts, Rodney & Moon, Seungbin. (2006). Conveyor visual tracking using robot vision. FCRAR.
3. Wiest A., Höffken M., Kreßel U. and Dietmayer K., "Probabilistic trajectory prediction with Gaussian mixture models," 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Alcala de Henares. 2012. pp. 141-146. doi: 10.1109/IVS.2012.6232277.
4. Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R. and Pyrkin A., "Performance Enhancement of Parameter Estimators via Dynamic Regressor Extension and Mixing*," in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 62, no. 7. pp. 3546-3550. July 2017.
5. Колюбин С.А., Динамика робототехнических систем. Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО. 2017. 117 с.

Юрьев Родион Николаевич

Год рождения: 1979

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

студент группы № С42202,

направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: rodion@juryev.ru

Суров Илья Алексеевич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

национальный центр когнитивных разработок,

к.ф.-м.н., с.н.с., доцент,

e-mail: ilya.a.surov@itmo.ru

УДК 004.81

**ВЫЯВЛЕНИЕ СОГЛАСОВАННОГО ПОВЕДЕНИЯ
УЧАСТНИКОВ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК С ПОМОЩЬЮ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ**

Р.Н. Юрьев

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент И.А. Суров

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы практического применения математического аппарата квантовой теории для решения задачи государственного управления в сфере публичных закупок, в частности, для выявления согласованного поведения участников государственных закупок. Показана практическая перспективность использования на практике алгоритмов для автоматизированного выявления сговоров на торгах с использованием алгоритмов распознавания спутанного состояния двух элементарных частиц.

Ключевые слова

Математический аппарат квантовой теории, государственные закупки, согласованное поведение участников, спутанное состояние элементарных частиц, выявление сговора.

Основной задачей работы являлось практическое применение математического аппарата квантовой теории к прикладным задачам государственного управления, в частности, в сфере выявления сговоров на торгах для государственных и муниципальных нужд. Актуальность исследования обусловлена текущим состоянием системы государственных закупок, требующей непрерывного контроля в ручном режиме. Необходимость такого рода исследований отмечается в профессиональной литературе и обсуждается на специализированных форумах, волнует как государственные органы, так и общество, а также добросовестных участников закупок [1]. С другой стороны, математический аппарат квантовой теории показывал хорошие результаты при обработке данных в социогуманитарной сфере [2].

Поведение участников государственных закупок, пытающихся обмануть систему публичных торгов, является очень сложным с точки зрения выявления сговора. Ушли в прошлое схемы, при которых участники возглавлялись одним и тем же директором, имели одинаковый адрес и одинаковых учредителей. Теперь правонарушители стараются скрывать связи между собой, используют разных учредителей, разные адреса, заходят на торги с разных компьютеров, потому что правоохранительные

органы отслеживают IP-адреса. Однако остаётся одна характеристика, без которой они не могут обойтись, – это похожесть поведения. Как бы ни пытались они скрывать свою взаимосвязь, они остаются участниками договорённости действовать совместно, имеют общую цель, общие инструменты достижения этой цели, согласовывают своё поведение и в результате выдают себя именно им.

В своё время вопросы распознавания характеристик человека были глубоко разработаны в рамках такого направления как бихевиоризм. Несмотря на значительные недостатки этого направления в психологии, достижения учёных того периода являются полезными с точки зрения распознавания скрытых взаимосвязей между исследуемыми объектами, особенно в ситуации, когда других источников данных на этом этапе исследования у нас нет и не может быть.

Но для того, чтобы по поведению, то есть по внешне проявляемым признакам внутреннего процесса, определять сам процесс, состояние или иные характеристики исследуемого объекта, необходимы сложные вычисления, которые позволяют восстановить исходную картину по последствиям. Решение такого рода задач всегда представляли трудности и в некоторых случаях даже считаются неразрешимыми.

Тем не менее в рамках квантовой теории именно такие задачи давно и успешно решаются. Так, запутанное состояние элементарных частиц предполагает наличие взаимосвязи между двумя частицами, которое влечёт за собой их одинаковое поведение при определённых условиях и определить его возможно только по результатам экспериментов. Среди прочих способов выявления этого состояния особенно эффективным считается метод concurrence [3]. Характерно, что выявление этого состояния запутанности осуществляется именно по поведению, что в целом схоже с основными постулатами бихевиоризма.

За основу настоящей работы была взята гипотеза о возможности использования механизма concurrence для вычисления наличия согласованного поведения между участниками государственных закупок. В общем виде формула параметра concurrence представлена определяется как:

$$C = | \langle \psi | \hat{\sigma}_y \otimes \hat{\sigma}_y | \psi \rangle |, \quad 0 \leq C \leq 1 \quad (1)$$

Параметр ψ определяется как запутанное состояние, а $\hat{\sigma}_y$ представляют собой матрицы Паули.

В рамках работы был предложен ряд решений в плане оптимизации вычислений, а также проведено сравнительное исследование библиотек квантовых вычислений, в том числе для квантовых компьютеров. По итогам оценки скорости вычисления параметра concurrence оптимальной библиотекой признана библиотека Quiskit от фирмы IBM. В рамках этой библиотеки для вычисления параметра concurrence используется формула:

$$C(\rho) = \max\{0, \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3 - \lambda_4\} \quad (2)$$

где λ_i – квадратные корни из собственных значений $\rho\tilde{\rho}$ по убыванию. Здесь $\tilde{\rho}$ – это результат операции переворачивания спина к ρ :

$$\tilde{\rho} = (\sigma_y \otimes \sigma_y) \rho (\sigma_y \otimes \sigma_y) \quad (3)$$

Подробнее формулы разбираются в работе [4].

Для целей экспертной оценки результатов была разработана шкала оценки согласованности поведения участников. Для того, чтобы эта оценка проводилась максимально объективно, максимальный балл выставлялся только тем участникам,

которые обвинялись в сговоре в публикациях в прессе либо в соответствующих решениях Федеральной антимонопольной службы РФ. Данные брались из официального источника – из базы данных Единой информационной системы в сфере закупок – и представляли собой таблицу, содержащую уникальные номера закупок и уникальные идентификационные номера участников каждой закупки. Таким образом удалось свести информацию о закупках к бинарным данным для последующей обработки (таблица).

Таблица

Исходные данные для анализа

Уникальный номер закупки	Участник ИНН 1659079438	Участник ИНН 1659083882
0111300044614000004	Не участвовал	Участвовал
0311200046114000041	Участвовал	Не участвовал

Результатом вычислений стали значения параметра *concurrency* в промежутке от 0,001 до 0,31. Распределение результатов вычислений показано на рисунке.

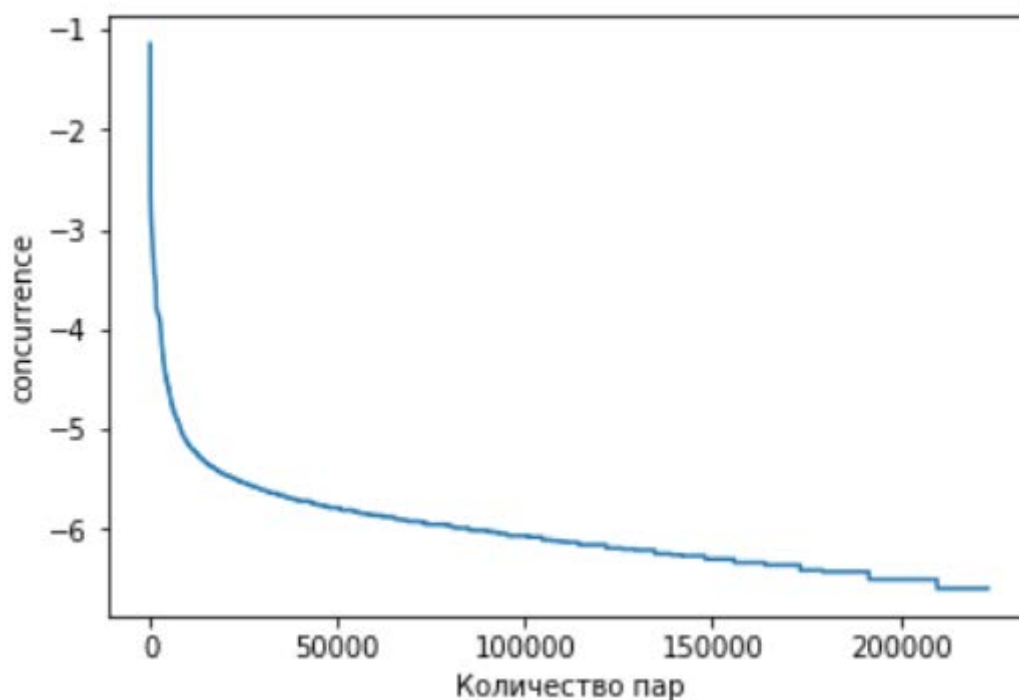


Рисунок. Распределение значений *concurrency* между парами участников торгов (логарифм)

Параметр *concurrency* оказался настолько надёжным критерием оценки, что все участники, получившие максимальные значения этого параметра оказались так иначе замешанными в разного рода скандалах вокруг сговоров на торгах в разных регионах (и получили максимальные баллы при экспертной оценке). При этом коэффициент корреляции Пирсона между экспертной оценкой и результатами вычисления параметра *concurrency* составил 0,85, что указывает на достаточно надёжную связь между этими оценками. Конечно, само по себе высокое значение параметра *concurrency* не является основанием для подозрений в противоправной деятельности, кроме того, при использовании большей вычислительной мощности результаты могут быть скорректированы, тем не менее, можно с уверенностью сказать, что в рамках работы

предложен один из рабочих инструментов для выявления сговоров на любых публичных торгах, как в Российской Федерации, так и за её пределами. Дополнительно следует отметить, что наряду с основной темой работы был разработан прототип программного обеспечения, на основе которого можно будет разрабатывать полноценные программные обеспечения для оперативного отслеживания торгов. В перспективе необходимо рассмотреть возможность выявления с помощью проработанных методов многосоставных сговоров, когда согласованно действуют не двое, а больше участников торгов. Возможность применения параметра concurrence для распознавания запутанности многих частиц обсуждается в [5].

Литература

1. Назарова Д.С. Мошенничество в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных или муниципальных нужд: особенности совершения и защита от рисков // Вопросы современной юриспруденции: сб. ст. по матер. LVII междунар. науч.-практ. конф. № 1(53). Новосибирск: СибАК. 2016.
2. Khrennikov A. Quantum-like modeling of cognition // Front. Phys. 2015. Т. 3. № 77. С. 1-17.
3. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. М.: Постмаркет. 2002. 376 с.
4. Bennett C.H. et al. Mixed-state entanglement and quantum error correction // Phys. Rev. A – At. Mol. Opt. Phys. 1996.
5. Bhaskara V.S., Panigrahi P.K. Generalized concurrence measure for faithful quantification of multiparticle pure state entanglement using Lagrange's identity and wedge product. Quantum Inf Process 16, 118 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11128-017-1568-0>.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	5
Арефина И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ОТКЛИКОВ КОЛЛОИДНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА.....	6
Беген П.Н. ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО УЧАСТИЯ.....	13
Иванов Л.В. КРИОГЕННАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ СПГ ДЛЯ РЕЧНЫХ ТАНКЕРОВ-ГАЗОВОЗОВ.....	19
Капитонова Е.А. ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ТОЧЕК ПРИТЯЖЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ.....	27
Королева А.В. THE CHUSO-POLYANA MEADOW 2.0:RELOCATION OF RARE PLANT SPECIES TO A GALLERY SPACE.....	33
Овчаров А.О. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНО ЗАВИСИМЫМИ КОМПОНЕНТАМИ РЕГРЕССОРА НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	39
ЛАУРЕАТЫ I СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	46
Вавилова А.С. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	47
Данилюк М.А. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ.....	52
Елховская Л.О. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПАЦИЕНТАМ С ХРОНИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ.....	59
Забелкин А.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОМНЫХ ПЕРЕСТРОЕК.....	66

Леженникова К.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАДИОЧАСТОТНОЙ КАТУШКИ ДЛЯ МРТ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО МАГНИТНОГО ЭКРАНА.....	73
Цымбал С.А. МЕХАНИЗМЫ ГИБЕЛИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ПРИ КОМБИНИРОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ И N-АЦЕТИЛЦИСТЕИНА.....	79
Ширяев Д.С. РАЗРАБОТКА ПЕРЕДАТЧИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ RGBW СВЕТОДИОДОВ.....	85
Яркеев А.С. ПОИСК ИМЕНОВАННЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СУЩНОСТЕЙ.....	91
ЛАУРЕАТЫ II СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	97
Bugakova D.S. FABRICATION OF A MICROFLUIDIC PLATFORM FOR VISUAL DETECTION OF E.COLI BACTERIA.....	98
Бурым Н.С. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ.....	103
Герасименко Н.Д. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕГРАЛЬНОГО СВЕТОДЕЛИТЕЛЯ С МАЛЫМИ ПОТЕРЯМИ ДЛЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	109
Зименко К.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ВИЖЕНИЯ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ.....	116
Кунту Д.В. СВЕРХБЫСТРОЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЕ РАЗМАГНИЧИВАНИЕ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ГАЛФЕНОЛА.....	123
Мурадова М.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ РАСТЕНИЙ <i>LINUMUSITATISSIMUM</i> L. И <i>SALVIA HISPANICA</i> L.....	129
Невежин Е.Е. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОПОТОКЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И КАЛИБРОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МОДЕЛЯХ.....	136
Пихота Н.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АВТОКОЛЛИМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С АНАМОРФОТНЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА СКРУЧИВАНИЯ ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ.....	141
Сулова А.Д. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОСНОВНЫХ УЧАСТНИКОВ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА.....	148

ЛАУРЕАТЫ III СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	154
Беляков Н.А. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ VLC.....	155
Бойко А.А. МЕТОД ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТАЛОННЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ УЛУЧШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ.....	161
Гусейнова И.В. ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ.....	167
Морозова О.В. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ОВСЯНЫМ ЭКСТРАКТОМ В КАЧЕСТВЕ СТАБИЛИЗАТОРА.....	174
Пилясова Д.Д. АНАЛИЗ ДАННЫХ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ ГОРОДА В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ И КУЛЬТУРЫ.....	180
Сидорова С.И. ФИЗАРУМ–ПРЕДСКАЗАТЕЛЬ: МИСТИФИКАЦИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ.....	187
Сундквист Я.В. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОТЕЗИРОВАНИЯ КИСТЕЙ РУК.....	192
Tsvetkova S.A. STUDY OF THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF COLANIC ACID – AN EXOPOLYSACCHARIDE OF BACTERIA OF THE <i>ENTEROBACTERIACEAE</i> FAMILY.....	199
Цветков В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УЗЛАХ СТУПЕНИ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА.....	206
Эмем О.Ч. SUSTAINABLE MANAGEMENT OF DECOMMISSIONED PHOTOVOLTAIC MODULES IN THE ECOWAS REGION.....	215
УЧАСТНИКИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	222
Agembo E. THE USE OF ULTRASOUND AND FULVIC ACID IN THE TECHNOLOGY OF EXTRACTING PROTEIN FROM SUNFLOWER MEAL.....	223
Аверьянов В.А. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СПЕКТРОМЕТРА БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЧЕЛИНОГО МЕДА.....	229

Алексеев Д.С. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ.....	235
Арутюнян М.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТ ВЕРОЯТНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПЕШЕХОДАМИ УЛИЦ.....	241
Ашихмина М.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ, В ПРОЦЕССАХ ФЕРМЕНТАЦИИ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ.....	245
Гнездилова Е.А. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.....	250
Гожальский Д.И. ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И НАГРЕВ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdSe В ЛАЗЕРНОМ СКАНИРУЮЩЕМ МИКРОСКОПЕ.....	257
Гусарова Т.И. КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА.....	264
Давыденко М.И. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОГРУЖНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С КРИОГЕННЫМ ГИДРОПРИВОДОМ ПРИ ОТГРУЗКЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА ИЗ КРУПНОТОННАЖНЫХ ХРАНИЛИЩ.....	270
Дубовиченко М.В. РАЗРАБОТКА ДНК-НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ СПЕЦИФИЧНЫХ РНК ДЛЯ ТЕРАПИИ РАКА.....	277
Землянная А.С. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ EDUCATIONAL-МАРКЕТИНГА.....	284
Кагиян О.А. РАЗВИТИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	290
Кирсанов Н.Ю. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМИ И СРЕДНИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ LEAN-КОНЦЕПЦИИ.....	296
Коблов А.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ПРОТОКОЛОВ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ.....	302
Кондратьев П.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СЪЕДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЦЕСС ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ.....	309
Коробова Е.А. МЕТОДЫ ФИНАНСОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	314
Котосов С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ.....	321

Кузнецова Е.А. СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	328
Кузнецова К.Г., Молодкина Н.Р. ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПОСТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ.....	334
Лимар И.А. АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛОЖНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ В СРЕДНЕМ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ С КОВАРИАЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ ГАУССОВСКОГО ТИПА.....	342
Валаа О. НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВСЕНАПРАВЛЕННОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА.....	349
Попов А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ.....	354
Послянова О.Н., Юльметова О.С. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ УЗЛОВ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ.....	361
Румянцева М.Ю. АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ КАМНЕЙ В ПОТОКЕ НА КОНВЕЙЕРЕ ПО ВИДЕО.....	368
Рысьева И.А. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ 360 ГРАДУСОВ.....	374
Савостин Д.А. УПРАВЛЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМ ОПЫТОМ ПОКОЛЕНИЯ Z НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО МАРКЕТИНГА.....	379
Старкова П.С. МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ КЛОНАЛЬНЫХ ЛИНИЙ <i>KLEBSIELLA PNEUMONIAE</i> В ОНКОЛОГИЧЕСКОМ СТАЦИОНАРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	386
Тарасенко Т.Д. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ «УВЕДОМЛЕНИЕ ПАЦИЕНТА» РЕГИОНАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ЕДИНО ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	394
Титаренко М.А. МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫСОКОУРОВНЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	401
Фадеев М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОГЕРЕНТНОГО ПРИЕМА ДЛЯ СИСТЕМЫ КВАНТОВОЙ КОММУНИКАЦИИ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ.....	408
Фомин Д.И. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	414

Чурбанова А.В.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛЬНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ.....	422
--	-----

Шаккуф А.

СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПАТТЕРНАМИ ДВИЖЕНИЯ-НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА DREM.....	428
---	-----

Юрьев Р.Н.

ВЫЯВЛЕНИЕ СОГЛАСОВАННОГО ПОВЕДЕНИЯ УЧАСТНИКОВ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ.....	435
--	-----

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

Сборник трудов

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Вёрстка

Я.Я. Платунова

Подписано к печати 24.12.2020

Заказ № 4375 от 24.12.2020

Тираж 100 экз.

Печатается в авторской редакции