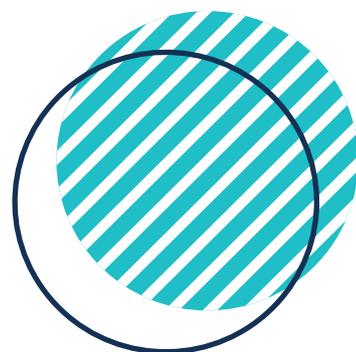




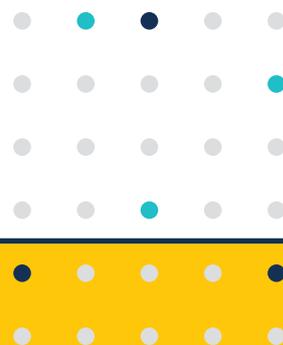
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

АННОТИРОВАННЫЙ СБОРНИК НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

МАГИСТРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ



2021



ITMO.RU



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
(Университет ИТМО)**

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

Сборник трудов



Санкт-Петербург
2022

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров и специалистов Университета ИТМО / под ред. к.ф.-м.н. Н.Р. Белашенкова. Сборник трудов. СПб.: Университет ИТМО. 2022. 854 с.

В сборнике представлены лучшие научно-исследовательские выпускные квалификационные работы магистров и специалистов 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 (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). Представлен в мировом ТОП-200 по телекоммуникационным технологиям (Telecommunication engineering), а также в ТОП-300 по нанонаукам и нанотехнологиям (Nanoscience & Nanotechnology) ARWU. Входит в ТОП-200 по инженерным наукам (Engineering and Technology), в ТОП-300 по физике и астрономии (Physics & Astronomy), наукам о материалах (Materials Sciences), а также по машиностроению, аэрокосмической и промышленной инженерии (Mechanical, Aeronautical & Manufacturing Engineering) рейтинга QS. Лидер проекта «Приоритет – 2030».

©Университет ИТМО, 2022

© Авторы, 2022

ВВЕДЕНИЕ

«Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров и специалистов Университета ИТМО» опубликован по результатам конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу (НИВКР) среди магистров и специалистов 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 2009–2021 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 – 17 магистров и 1 специалист, лауреатами III степени – 15 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 и специалистов в Конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители различных степеней
I	Конкурс факультетов/институтов/кластеров	145	49
II	Конкурс мегафакультетов	14	4
III	Конкурс университета	6	6

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

В конкурсе на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу» участвовало 144 магистра и 1 специалист.

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:

1. актуальность научного исследования.
2. степень самостоятельности и качество выполненной работы.
3. оригинальность предложенных решений.
4. качество оформления (в том числе соблюдение ГОСТов).
5. логичность изложения, стиль изложения.
6. стадия доведения проекта (частичная реализация; законченный проект; программный продукт, который может быть «внедрен» и т.п.).
7. выполнение НИР в качестве соисполнителя.
8. наличие выигранных грантов, стипендий Президента и Правительства Российской Федерации.
9. выступления с докладами по данной тематике на научных конференциях, семинарах, конкурсах, выставках и олимпиадах всех уровней (международных, всероссийских, региональных).
10. наличие наград, полученных на всероссийских, региональных и городских конкурсах, патентов, заявок на объекты интеллектуальной собственности.
11. 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 №2258-уч от 07.09.2021 года.

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

Заединов Андрей Валерьевич

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42472,

направление подготовки: 38.04.01 – Экономика,

e-mail: zaedin.and@gmail.com

Гагулина Наталья Львовна

Год рождения: 1970

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.ф.-м.н., доцент, профессор практики,

e-mail: nata_c@bk.ru

Янова Елена Алексеевна

Год рождения: 1977

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н, доцент,

e-mail: yanova.ea@itmo.ru

УДК 338.4

**ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ
ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

А.В. Заединов

Научные руководители:

к.ф.-м.н., доцент, профессор практики Н.Л. Гагулина;

к.э.н., доцент Е.А. Янова

Аннотация

Работа посвящена оценке экономической эффективности различных мероприятий по продлению срока службы трубопроводов тепловых сетей, в том числе инновационных. Оценка статических и динамических показателей экономической эффективности выполнена на примере трех альтернативных проектов, основанных на разных технологиях, применительно к тепловой сети квартальной котельной в Санкт-Петербурге. Проведена экспертная оценка эффективности и привлекательности проектов. По результатам выполненных оценок сделаны выводы о преимуществах и недостатках каждого проекта, а также дано заключение о приоритетности их рассмотрения к реализации.

Ключевые слова

Экономическая эффективность, тепловые сети, реконструкция трубопроводов, внутритрубная диагностика, санация, инновации.

Тепловые сети – один из важнейших основных фондов любой теплоснабжающей организации. Через них осуществляется передача тепловой энергии от источника к потребителям. Это один из главных элементов в цепочке стоимости данного продукта. Соответственно, состояние трубопроводов тепловых сетей и эффективность их работы напрямую влияют на цену, которую платят потребители за тепловую энергию. На данный момент российское теплоснабжение сложно назвать эффективной и

привлекательной отраслью, так как оно в целом убыточно [1], основные фонды изношены, а жесткий государственный контроль ценообразования, определяемый в том числе платежеспособностью населения, не дает теплоснабжающим компаниям больших возможностей для заработка.

Теплоснабжающие организации сильно ограничены в средствах, и для осуществления различных мероприятий по модернизации, реконструкции и развитию своих основных фондов им зачастую требуется бюджетная поддержка. В такой ситуации особенно важной и актуальной является задача грамотной оценки эффективности любых проектов, рассматриваемых к реализации в данной отрасли, чтобы иметь возможность при оптимальном объеме инвестиций получить максимальную надежность, а также экономический и социальный эффект. Для решения поставленной задачи была выдвинута рабочая гипотеза исследования, согласно которой следует рассмотреть три основные альтернативы продления срока службы трубопроводов тепловых сетей и выполнить оценку их экономической эффективности. Условно данные альтернативы, основанные на различных технологиях, обозначены: Проект №1, Проект №2 и Проект №3.

Проект №1 заключается в реконструкции, то есть полной замене всех устаревших трубопроводов. Это дает возможность продлить срок службы труб на 25 лет.

Проект №2 подразумевает проведение внутритрубной диагностики на всех устаревших участках. По результатам исследования принимается решение о немедленной реконструкции 40% обследованных трубопроводов, локальном ремонте 30% труб с последующей заменой через 5 лет и продлении срока службы на 3 года без выполнения каких-либо работ после прохождения экспертизы промышленной безопасности оставшихся 30% трубопроводов, после чего также следует их полная замена.

Проект №3 является наиболее инновационным – это санация. На внутреннюю поверхность устаревших трубопроводов наносится специальное защитное покрытие, которое позволяет продлить их срок службы на 5 лет, после чего следует их полная замена.

Исходную базу проектирования составили данные по тепловой сети квартальной котельной, принадлежащей одной из теплоснабжающих компаний Санкт-Петербурга. Котельная обеспечивает теплотой более 200 абонентов, в том числе образовательные и медицинские учреждения. Исходная информация по техническому состоянию трубопроводов тепловой сети, а также все данные, необходимые для выполнения расчета экономической эффективности проектов, были предоставлены теплоснабжающей организацией, эксплуатирующей исследуемый объект.

Так как протяженность рассматриваемой тепловой сети сравнительно небольшая, было принято решение о принятии к восстановлению всех трубопроводов со сроком службы от 20 лет. Их общая протяженность составила 30,6% от всей тепловой сети. Основные характеристики трубопроводов тепловой сети представлены в табл. 1.

Техническая сторона исследования представлена описанием используемых в проектах технологий и рядом условных допущений, например, в части возможного снижения тепловых потерь после восстановления тепловой сети. Основу работы составляет оценка экономической эффективности и привлекательности проектов по сформулированной автором методике: сначала рассчитываются показатели экономической эффективности для каждого проекта и выполняется их сравнение, затем проводится экспертная оценка проектов по предложенным критериям.

Оценка экономической эффективности всех проектов выполнена по двум группам показателей: статические и динамические. Рассматриваемый период времени составил 25 лет. К этому моменту для Проекта №1 и Проекта №2 снова встанет вопрос о замене реконструированных участков, а у Проекта №3 еще будет в запасе 5 лет.

Таблица 1

Основные характеристики трубопроводов

Показатель	Вся тепловая сеть	Выбранные к восстановлению трубопроводы
Общая протяженность, м	17815,81	5451,91
Средневзвешенный диаметр, мм	144,71	105,44
Средневзвешенный срок службы, лет	16,45	30,98

Основу анализа доходной части проектов составили данные по выручке котельной от реализации тепловой энергии, а также экономии от сокращения тепловых потерь в тепловой сети за счет ее обновления. В расходной части учтены все затраты на производство и передачу тепловой энергии, а также изменение налоговых отчислений в случае приобретения новых трубопроводов. Капитальные вложения (или инвестиции) составляют расходы на реализацию каждого из проектов.

При оценке инвестиционных проектов с помощью статических методов все денежные средства (притоки или оттоки), имеющие место в разные моменты времени, принимаются как равноценные. То есть изменение покупательной способности денежных средств с течением времени не учитывается. Результаты расчетов статических показателей эффективности всех проектов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Статические показатели экономической эффективности проектов

Показатель	Обозначение	Проект №1	Проект №2	Проект №3
Удельные затраты	с, тыс. руб./Гкал	1,12	1,28	1,30
Годовая прибыль	CF _t , тыс. руб.	37809,87	36784,19	36816,76
Бухгалтерская рентабельность инвестиций	ROI	1,61	1,40	1,38
Простой срок окупаемости	PB, лет	0,16	0,19	0,19

По статическим показателям сложно выявить наиболее привлекательный проект. Проект №1 обладает наименьшими удельными затратами и наибольшей бухгалтерской рентабельностью инвестиций и лидирует по готовой прибыли и простому сроку окупаемости.

Статические показатели не дают точного представления о реальной экономической эффективности проектов, рассматриваемых на таком длинном промежутке времени. За 25 лет временной фактор оказывает решающее влияние. Кроме того, немаловажно то, что в Проектах №2 и №3 инвестиции осуществляются не только в начале реализации, но и в последующие года.

Однако, главный вывод, который можно сделать по полученным результатам заключается в том, что все проекты являются достаточно эффективными, различаются незначительно, и дальнейшее их рассмотрение целесообразно. В пользу этого говорит рентабельность инвестиций, которая во всех случаях больше 1, и короткий срок окупаемости – 0,16-0,19 лет.

Динамические методы оценки эффективности инвестиционных проектов основаны на определении денежных потоков. Денежный поток инвестиционного проекта – это зависимость от времени поступлений и платежей при реализации проекта, определяемая для всего расчетного периода [2].

Расчет экономической эффективности проектов по продлению срока службы трубопроводов тепловых сетей выполнялся в соответствии с методикой, представленной в работе [3]. Итоговые результаты расчетов на момент окончания расчетного периода (25 лет) представлены в табл. 3. Проекты в целом довольно близки по эффективности, однако явным лидером по экономической эффективности является Проект №3. За 25 лет он обладает наивысшими индексами доходности, а также принесет наибольший доход – почти 203 миллиона рублей.

Таблица 3

Динамические показатели экономической эффективности проектов

Показатель	Обозначение	Проект №1	Проект №2	Проект №3
Чистая приведенная стоимость	NPV, тыс. руб.	156674,06	166858,62	202717,61
Индекс доходности затрат	PI _с , руб./руб.	1,139	1,136	1,138
Индекс доходности инвестиций	PI, руб./руб.	2,033	2,221	2,935
Индекс скорости удельного прироста стоимости	IS	1,033	1,221	1,935
Внутренняя норма рентабельности	IRR	10%	21%	127%

Проект №3 также имеет некорректное значение IRR. Это обуславливается тем, что данный проект с первого же года показывает положительную чистую приведенную стоимость (NPV) ввиду небольшого значения первоначальных инвестиций и в последующем этот показатель не становится отрицательным. Внутренняя норма доходности Проекта №1 составила 10%, что немногим ниже принятой ставки в 11,2%. Это означает, что для инвестора существует значительный риск получения от этого проекта меньшего дохода, чем планировалось. IRR для Проекта №2 составила 21%, что показывает, что доходность проекта будет выше установленной инвестором желаемой ставки.

Сопоставление графиков изменения NPV во времени на протяжении расчетного периода показывает, что по анализируемому критерию: чистой приведенной стоимости, проекты расположились в следующем порядке: самый эффективный – Проект №3, средний по эффективности – Проект №2, наименее эффективный – Проект №1. (см. рисунок).

Анализ представленных на рисунке графиков позволяет получить оценки дисконтированного срока окупаемости проектов. Это точка пересечения графика NPV с осью абсцисс. Так, Проект №1 окупится ровно к шестому году реализации, Проект №2 окупится ближе к третьему году, а Проект №3 – сразу в течение первого года реализации.

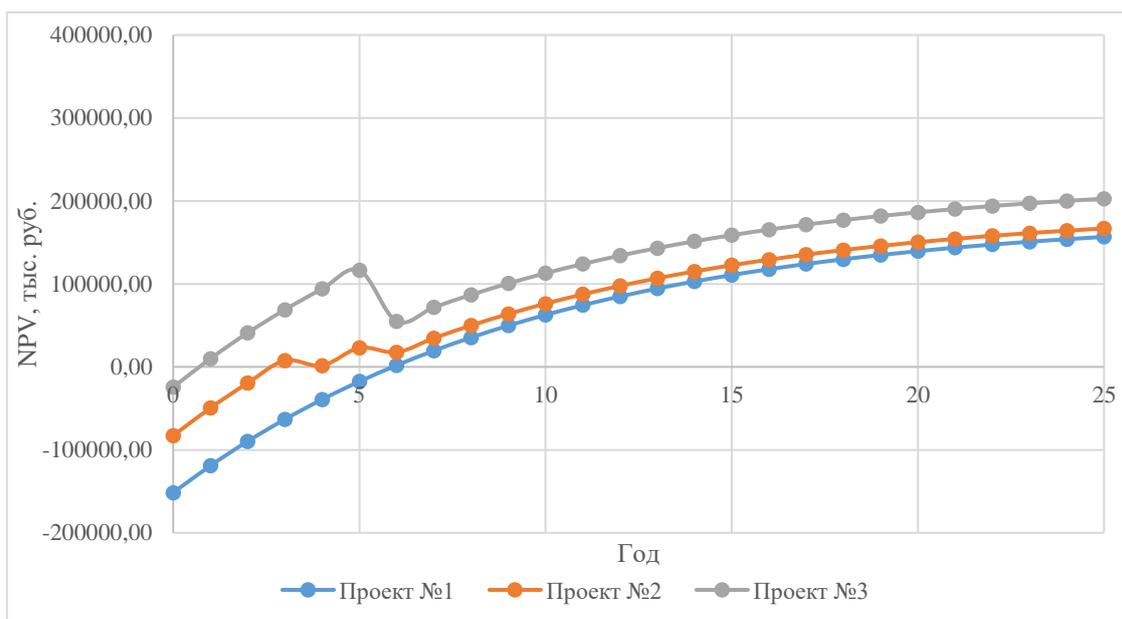


Рисунок. График изменения NPV рассматриваемых проектов в течение расчетного периода

График NPV Проекта №3 лежит выше двух других проектов. Это отражает его наибольшую доходность. Очевидно, главным преимуществом этого проекта является наименьшая величина первоначальных вложений. Однако, этот вариант связан с новым, а значит более рискованным техническим решением – санацией трубопроводов.

Второе место по показателю NPV занимает Проект №2. При этом стоит отметить, что такой вариант позволяет наиболее равномерно распределить инвестиционные вложения в течение периода реализации. Это может быть существенным преимуществом для ограниченной в средствах теплоснабжающей компании.

Проект №1 можно считать самым простым и надежным, так как он подразумевает полное обновление выбранных трубопроводов в первый же год. Однако, такое решение сопровождается наибольшими инвестиционными вложениями, часть из которых может быть нецелесообразно, так как некоторые участки, несмотря на срок службы, могут находиться в хорошем состоянии и не нуждаться в замене.

Далее была выполнена экспертная оценка эффективности и привлекательности проектов по следующим девяти критериям: надежность, реализуемость, влияние рисков, экономическая эффективность, скорость реализации проекта, величина капитальных вложений, новизна, социальный эффект и экологический эффект. Значимость критериев определялась аналитически, на основе ранжирования, выполненного экспертами.

Экспертная оценка проводилась посредством анонимного опроса с помощью онлайн сервиса Google Формы. В опросе приняли участие представители теплоснабжающей организации, регулирующих органов и научного сообщества, компетентные в сфере экономики или теплоснабжения.

Обработка результатов опроса была выполнена по аналогии с методикой, описанной А.В. Жаданом [4]. В конечном итоге было получено суммарное значение баллов, набранное каждым проектом по всем критериям. В результате экспертной оценки лучшим был признан Проект №2, набравший 209,33 балла. Второе место занял Проект №1, получивший 206,48 балла. На последнем месте оказался Проект №3 с результатом 195,43 балла.

По результатам экспертной оценки Проект №2 можно назвать наиболее сбалансированным. Он не стал лидером даже по абсолютному большинству критериев, но в итоге получил наивысшую суммарную оценку. Можно предположить, что для

экспертной группы ключевое значение имел тот факт, что технология внутритрубной диагностики, будучи достаточно новой, уже реализуется на рынке, то есть уже доказывает свою целесообразность на практике. Этот же проект показал достаточно высокие результаты оценки экономической эффективности на предыдущем этапе исследования.

Таким образом, к практической реализации целесообразно рекомендовать Проект №2, так как он показал достаточно высокие результаты оценки экономической эффективности: NPV более 166,8 миллионов рублей, PI = 2,221, IRR = 21%, окупаемость в течение первых трех лет реализации. Кроме того, этот проект признан лучшим по результатам экспертной оценки, то есть считается достаточно надежным, привлекательным, эффективным и целесообразным, по мнению участвовавших в опросе экспертов. Достаточно новая технология внутритрубной диагностики все же уже доказала свою эффективность и надежность в деле. Поэтапный частичный ремонт трубопроводов позволяет достаточно равномерно распределить во времени осуществляемые капитальные вложения, вместо значительных единовременных затрат. Это является значительным преимуществом для ограниченных в средствах теплоснабжающих организаций.

Тем не менее, применение санации трубопроводов тепловых сетей, по мнению автора, также является весьма перспективным, ввиду очень низких капитальных вложений. Уже сейчас при определенных условиях применение санации может быть вполне целесообразным. Дальнейшее развитие и тестирование данной технологии должно позволить достичь более высоких показателей надежности, а также увеличить предполагаемое продление срока службы трубопроводов, что будет делать такие мероприятия еще более эффективными и привлекательными.

Литература

1. Доклад о состоянии сферы теплоэнергетики и теплоснабжения в Российской Федерации за 2015-2016 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/10850>. (Дата обращения 25.03.2021).
2. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Староверова Г.С., Медведев А.Ю., Сорокина И.В. М.: КНОРУС. 2006. 312 с.
3. Заединов А.В., Гагулина Н.Л. Об экономической эффективности технологий реконструкции тепловых сетей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 4(43). С. 59-69.
4. Жадан А.В., Петрова А.В. Оценка эффекта от улучшения системы менеджмента качества с помощью экспертных методов оценки неколичественных показателей. Сборник научных работ серии «Экономика». 2019. 1(13):43-51.

Кучур Полина Дмитриевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

студент группы А42421,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: chesnokova@scamt-itmo.ru

Комиссаров Алексей Сергеевич

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

к.б.н., в.н.с.,

e-mail: komissarov@scamt-itmo.ru

УДК 579.25

**АНАЛИЗ ГЕНОВ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА СИНТЕЗ
СОМАТИЧЕСКИХ АНТИГЕНОВ В ГЕНОМАХ БАКТЕРИЙ**

П.Д. Кучур

Научный руководитель – к.б.н., в.н.с А.С. Комиссаров

Работа выполнена в рамках НИР-ФУНД №620156 «Разработка инновационных подходов к диагностике и терапии заболеваний на основе технологий геномики, иммунологии, микробиологии и наноинжиниринга».

Аннотация

О-антиген – дистальный компонент липополисахаридов, локализованных во внешней мембране бактерий. В связи с расположением этот компонент опосредует взаимоотношения между бактерией и окружающей средой. В данной работе проверяется гипотеза о связи образа жизни бактерии с геномным составом и структурой оперонов ее О-антигена на примере бактерий рода *Herbaspirillum*.

Ключевые слова

О-антиген, соматический антиген, бактериальный геном, пайплайн, образ жизни бактерий, инвертированный оперон.

Оболочка бактериальной клетки имеет сложный мультикомпонентный состав. Наружная мембрана содержит большое число липополисахаридов (ЛПС), состоящих из трех компонентов: липида А, коровой части и О-антигена. Против этого дистального компонента ЛПС развивается иммунный ответ организма хозяина, с которым взаимодействует бактерия. Наряду с этим вклад в изменчивость вносят эпигенетические модификации О-единиц (остатков сахаров) и воздействие на клетку бактериофагов. По этим причинам О-антигены бактерий становятся чрезвычайно вариабельными и с трудом поддаются идентификации. Изучение их состава может пролить свет на направление эволюции бактерий, а также существенно упростить разработку эффективных гликоконъюгатных вакцин и систем детекции патогенных бактерий в образцах среды. Разнообразие О-антигенов также лежит в основе классификации бактерий – выделении серотипов и серогрупп [1].

Бактерий чрезвычайно много, и с появлением секвенирования накапливается все больше геномных данных. Возникает простор для изучения изменчивости бактерий. Внимание ученых, с одной стороны, фокусируется на модельных объектах, потому что

о их биологии уже многое известно. А с другой, исследователей привлекают бактерии, вызывающие массовые вспышки инфекций, поскольку с ними приходится оперативно бороться – уметь детектировать и уничтожать в кратчайшие сроки. Из-за изучения бактерий с опорой на единичных представителей упускается большая часть сравнительного геномного анализа.

В общедоступных базах до сих пор нет свидетельств о сравнительном анализе различий О-антигенов бактерий из одного рода, но обитающих в разных экологических нишах. Внутри рода могут быть одновременно представлены как симбиотические, условно-патогенные и патогенные, так и не ассоциированные с хозяином штаммы бактерий. Изучение патогенных свойств бактерий и причин их возникновения, как правило, проводится на конкретных видах или штаммах бактерий, но не в контексте сравнительного геномного анализа. Исследователей преимущественно интересуют патогены человека такие, как бактерии рода *Salmonella* и кишечная палочка (*Escherichia coli*). Внимание к ним, как отмечалось ранее, было привлечено в результате массовых вспышек инфекции.

В течение последних двух лет всё чаще публикуются статьи, подтверждающие связь между составом и структурой соматического антигена бактерии и образом её жизни. Так, в 2021 году был опубликован систематический анализ О-антигенов фитопатогенных бактерий из рода *Dickeya* [2]. В нём рассмотрена структурная организация капсул четвертой группы, О-антигена и энтеробактериального общего антигена у более чем пятидесяти штаммов *Dickeya*. Исследователи отметили вариабельность структуры и состава О-антигена и связали её с изменчивостью структуры бактериальной оболочки.

Зачем нужен сравнительный анализ О-антигенов бактерий? Во-первых, с его помощью можно обнаружить новые способы детекции бактерий в исследуемых образцах. Во-вторых, сделать предположение об образе жизни бактерии, исходя из композиции ее О-антигена в данных секвенирования. И, наконец, оценить степень консервативности этой структуры, что может быть полезно при подборе компонентов гликоконъюгатных вакцин. Удобнее всего проводить подобный анализ на филогенетически близких видах с разными экологическими нишами (степень изменчивости должна быть ниже, чем у филогенетически далеких организмов), поэтому для данной работы были взяты представители рода *Herbaspirillum*. Этот род включает симбиотов и условных патогенов растений, а также свободноживущие виды и патогены человека. Нами уже были изучены симбионты морских животных – мшанок [3]. Эти знания послужили формированию гипотезы о механизмах межорганизменных взаимоотношений, рассматриваемой в этом проекте.

Изначально гербаспириллы – это свободноживущие и симбиотические бактерии, которые образуют симбиотические взаимоотношения с растениями. С течением времени стало известно, что взаимодействия этих бактерии с окружением не всегда нейтральны или положительны. В частности, они могут вызывать преждевременную потерю листьев и замедление скорости роста растений. Второе наблюдение связано с обнаружением гербаспирилл в образцах крови пациентов, больных пневмонией или хроническими заболеваниями. Для формирования детального представления о природе бактериальных инфекций, мы рассмотрели свыше трехсот существующих публикаций, часть которых легла в основу ревью о генетических и иммунологических аспектах пневмонии [3].

Для сравнительного анализа были получены геномы бактерий рода *Herbaspirillum* из семейства *Oxalobacteraceae* из расчета минимум одна полногеномная сборка на один вид гербаспирилл либо не менее двух сборок более низкого качества на один вид бактерии. Предпочтение отдавалось полногеномным сборкам, так как они представляют собой сборку в одну хромосому и не содержат ошибок секвенирования. Оценка качества исходных данных идентифицировала высокий уровень их гетерогенности. Возникла

необходимость фильтрации и улучшения качества сборок. Улучшить качество *de novo* путем пересборки оказалось невозможным (не для всех бактерий присутствуют сырые данные секвенирования, риды), поэтому был выбран вариант улучшения качества генома путем его выравнивания на референс.

Референс был выбран среди представителей гербаспирилл, имеющих полногеномные сборки. Выбор референса основан на следующих критериях: отсутствие плазмид в геноме, наиболее полно аннотированный и неизменный O-антиген, филогенетическое родство и высокое качество сборки. Согласно ревью доступной литературы [4, 5] наиболее изученным, «модельным» представителем рода *Herbaspirillum* является *H. seropedicae* SmR. Это симбиотический вид, принадлежащий к группе ризобактерий, способствующих росту растений (plant growth-promoting rhizobacteria). Следовательно, O-антиген такого организма не должен претерпевать изменений в связи с переходом к другому образу жизни, например, патогенному. Геном этой гербаспириллы представлен одной хромосомой с показателями длины и N50 = 5513887, L50 = 1. Иными словами, *H. seropedicae* SmR удовлетворяет всем критериям референсного организма.

O-антиген референсной гербаспириллы состоит из пяти оперонов, два из которых локализованы последовательно (рис. 1). Первый оперон отвечает за основной путь биосинтеза O-антигена (*wzx/wzy*), определение его длины и экспорт полисахаридов. Второй представляет собой варибельную часть O-антигена. Он содержит кластер генов *wbp*, кодирующих синтез O-единиц. Следующая группа оперонов необходима для синтеза и изомеризации сахарных остатков O-антигена таких, как L-рамноза и галактоза. Последний оперон кодирует эпимеразу O-антигена и систему экспорта. Таким образом, в *H. seropedicae* SmR1 идентифицированы все опероны O-антигена, которые должны присутствовать для корректного синтеза этой структуры.

Для эффективного поиска оперонов O-антигена в остальных бактериях разработан конвейер, включающий несколько этапов анализа. На первом этапе осуществляется оценка качества исходных данных и ее улучшение путем выравнивания на референсный геном. Второй этап анализа включает аннотацию сборки тремя инструментами – Prokka, EggNOG и PGAP. Эти аннотаторы выбраны ввиду разного подхода к поиску генов и их продуктов, а также в связи с опорой на разные базы данных. Для сведения результатов этих инструментов в единый словарь создан авторский скрипт, где основой является аннотация EggNOG, как наиболее полная и качественная. Если ни один из аннотаторов не может установить ни ген, ни его белковый продукт, такая последовательность вносится в отдельный файл fasta-формата и аннотируется BLASTP. Таким образом количество неаннотированных последовательностей сводится к минимуму. На третьем этапе каждый аннотированный геном делится на опероны – группы генов, вовлеченных в общий процесс – с помощью веб-инструмента Oregon-mapreg. Установленные границы оперонов дополнительно проверяются поиском промоторов и терминаторов в BPRM и FindTerm. После проверки информация о положении границ оперонов и их составе вносится в словарь с аннотациями геномных сборок. Поиск оперонов O-антигена ведется по ключевым генам его биосинтеза, в том числе по генам, кодирующим синтез и модификацию O-единиц, регуляторы длины цепи O-антигена и систему транспорта этой структуры после её синтеза. Визуализация оперонов осуществляется авторским скриптом на основе библиотеки Dna Features Viewer.

Как упоминалось выше, предварительная оценка качества исходных сборок указала на высокий уровень неоднородности данных, поэтому сборки, характеризующиеся средним или низким качеством, были скорректированы с помощью инструмента RagTag. RagTag осуществляет выравнивание исходной сборки на эталонную. Среди трех доступных опций выравнивания была выбрана опция скаффолда. В этом случае последовательности исходной геномной сборки не меняются структурно,

только упорядочиваются. Промежутки между упорядоченными последовательностями заполняются поли-*N* последовательностями.

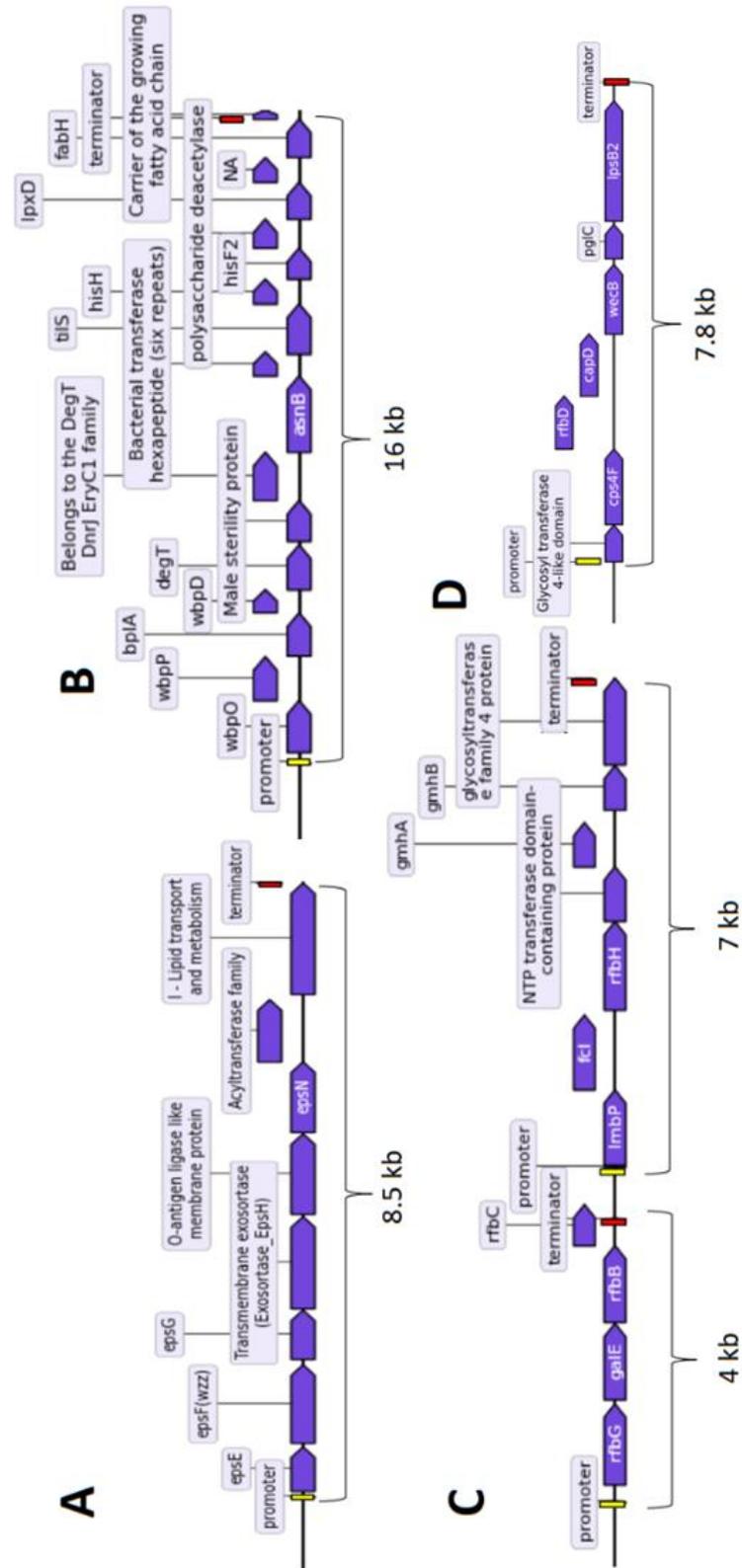


Рис. 1. Состав и структура оперонов O-антигена референсной гербаспириллы *H. seropedicae* SmR1

Сравнительный анализ бактерий рода *Herbaspirillum* разного образа жизни показал, что каждая бактерия обладает уникальной композицией О-антигена. Тем не менее в структуре его оперонов прослеживаются некоторые закономерности. Так, у всех гербаспирилл кроме симбиотических был обнаружен инвертированный оперон, содержащий белок M1-734. Например, оперон такого состава можно наблюдать у *H. rubrisubalbicans M1* (рис. 2) – бактерии, вызывающей преждевременную потерю листьев и замедление роста растений. Фенотипическое проявление болезни у сахарного тростника заключается в появлении пятнистых полос, а у сорго – красных. Согласно базе данных EggNOG M1-734 является фрагментом генома *Bacillus polymyxa*, аннотируемый как регулятор активности 1,3-бета-глюкансинтазы и белок первичного иммунитета в системах бактериальных токсинов. Тем не менее BLASTP не выявляет сходство последовательностей этих белков. Поиск аналогий в Uniprot выявил 50,5% сходство последовательностей белка M1-734 только с неохарактеризованным белком *Crenobacter cavernae*, поэтому его происхождение и предполагаемая функция пока остаются неизвестны.

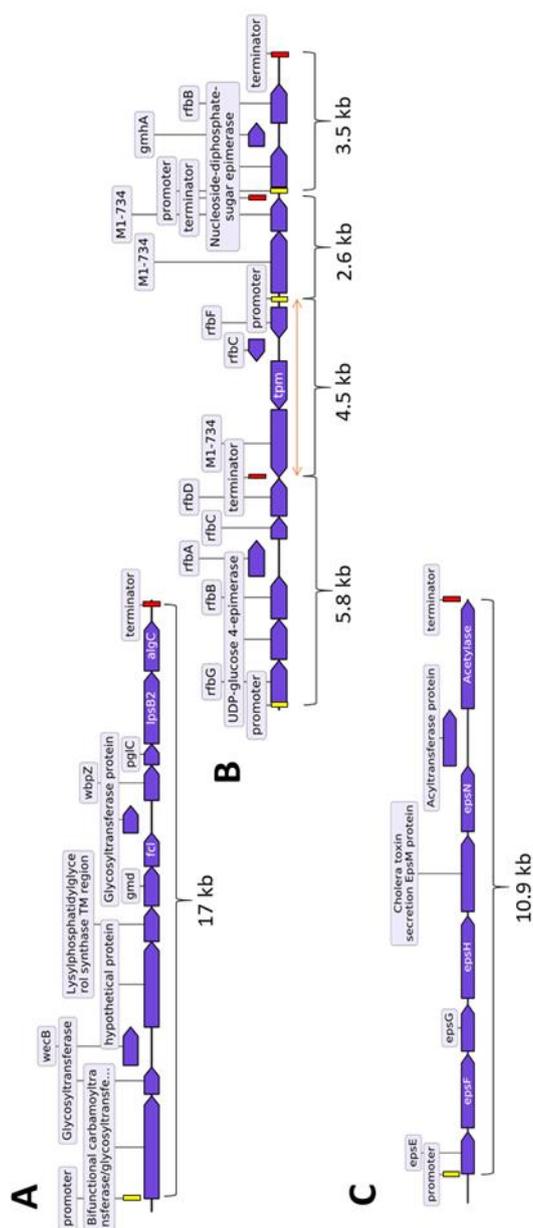


Рис. 2. Состав и структура оперонов О-антигена условно-патогенной бактерии *H. rubrisubalbicans M1*

Только у условно-патогенных и патогенных штаммов инвертированный оперон фланкируется опероном, включающим гены *gmhA* и *rfbB*, связанными с образованием D-седогептулозо-7-фосфат-изомеразы и dTDP-глюкозо-4,6-дегидратазы, соответственно. Эти белки участвуют в образовании O-единиц антигена. Таким образом, положение и окружение инвертированного оперона является диагностическим признаком для определения образа жизни бактерии на основе данных секвенирования.

В итоге, каждая бактерия из рода *Herbaspirillum* имеет уникальный состав оперонов O-антигена. Несмотря на эту уникальность, в нем прослеживается ряд закономерностей. Так, впервые был идентифицирован инвертированный оперон, который присутствует во всех геномных сборках гербаспирилл, кроме бактерий, способствующих росту и развитию растений. Только у видов, вызывающих заболевания у растений и животных, этот оперон фланкирован генами *gmhA* и *rfbB*. Эту особенность можно использовать для обнаружения патогенов в секвенированных образцах. Сохраняется ли эта закономерность у представителей других родов, будет исследовано более подробно в случае поддержки гранта РФФИ для малых научных групп.

Наряду с идентификацией нового диагностического признака был создан уникальный пайплайн для обнаружения оперонов O-антигена в бактериальных геномах. Пайплайн может быть применен не только для изучения O-антигенов, но и для поиска любых оперонных структур бактерий.

На данный момент по материалам исследования опубликована статья в *International Journal of Biological Macromolecules*, подана статья в журнал *Plant and Soil*, описывающая генный и оперонный состав O-антигена *H. lusitanum P6-12*, и готовится драфт публикации о сравнительном анализе O-антигенов гербаспирилл. Промежуточные результаты были представлены на восьми конференциях международного и всероссийского уровня. Подан грант в роли руководителя проекта РФФИ для малых научных групп по сравнительному анализу O-антигенов бактерий из семейств *Oxalobacteraceae* и *Morganellaceae*.

Литература

1. Velichko N.S., Kokoulin M.S., Sigida E.N., Kuchur P.D., Komissarov A.S., Kovtunov E.A., Fedonenko Y.P., «Structural and genetic characterization of the colitose-containing O-specific polysaccharide from the lipopolysaccharide of *Herbaspirillum frisingense* GSF30T» // *Int. J. Biol. Macromol.* 2020. Vol. 161. P. 891–897.
2. Ranjan M. et al. Genomic diversity and organization of complex polysaccharide biosynthesis clusters in the genus *Dickeya* // *PloS one.* 2021. Vol. 16, no. 2. P. 1–18.
3. Rayko, M., Komissarov, A., Kwan, J. C., Lim-Fong, G., Rhodes, A. C., Kliver, S., Kuchur P., O'Brien, S, Lopez, J. V. «Draft genome of *Bugula neritina*, a colonial animal packing powerful symbionts and potential medicines» // *Scientific data.* 2020. Vol. 7. no. 1. P. 1-5.
4. Dukhinova M., Kokinos E., Kuchur P., Komissarov A., Shtro A., «Macrophage-derived cytokines in pneumonia: linking cellular immunology and genetics» // *Cytokine & Growth Factor Reviews.* 2020. Vol. 59. P. 46–61.
5. Pankievicz V.C.S., Camilios-Neto D., Bonato P. et al., «RNA-seq transcriptional profiling of *Herbaspirillum seropedicae* colonizing wheat (*Triticum aestivum*) roots» // *Plant Mol Biol.* 2016. Vol. 90. P. 589–603.

Муратова Ульяна Дмитриевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42142,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: ulyafka.muratova@mail.ru

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н., доцент,

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ЧАТ-БОТА

У.Д. Муратова

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

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

Аннотация

В данной работе были изучены различные аналоги существующих диалоговых систем и систем распознавания речи, были сформированы обязательные требования для корпоративного чат-бота, выбрана оптимальная система распознавания речи для использования в мобильном чат-боте. Затем по сформированным требованиям был разработан чат-бот. Затем было проведено исследование различных существующих нейронных сетей, выбрана наиболее подходящая под заданные требования и интегрирована в полученный чат-бот. Впоследствии эта нейронная сеть была переобучена на собственных подготовленных наборах данных, и было проведено полное тестирование полученного чат-бота. В заключении на основе проведенного исследования были сформированы рекомендации по использованию выбранных инструментов.

Ключевые слова

Чат-боты, голосовые ассистенты, разработка, тестирование, системы распознавания речи, нейронные сети, интеграция, переобучение.

Последние несколько лет в мире прослеживается тенденция автоматизации рутинных действий, особенно это заметно в сфере технологий и обслуживания. Все чаще при звонке на горячую линию, общении с компаниями в мессенджерах человеку отвечает не человек, а специально созданная программа, все больше человек использует голосовое управление какой-либо техникой. Это обусловлено простотой и удобством использования, увеличением производительности: например, если в call-центре использовать робота, который будет автоматически принимать звонки и решать основные задачи, только в особых случаях переводя звонок на оператора, загрузку на людей, работающих в таком call-центре, и вообще количество людей можно будет сократить.

Актуальность

На сегодняшний день огромное количество компаний пытаются внедрить чат-ботов и голосовых ассистентов в различные сферы своего бизнеса. Это и общение с клиентами (в том числе различные колл-центры, и простые боты, как, например, бот «Салют», которого только недавно запустила компания «Сбер»), и различные внутренние чат-боты (ярких примеров нет, так как они являются чаще всего корпоративной тайной). Однако не все компании являются такими же многопрофильными, как Сбербанк или Яндекс, и не могут позволить себе большой штат программистов. Также не всегда у клиентов или работников (особенно это актуально в больших городах, например, в Санкт-Петербурге) есть возможность лично прийти в офис или в банк, например, по причине пандемии, и поток звонков и сообщений в техническую поддержку возрастает в разы. В таком случае обработкой основных вопросов может заняться чат-бот.

Проблематика

Также корпоративные чат-боты должны настраиваться под нужды и требования каждой конкретной компании, и на рынке не существует универсального готового решения. Соответственно, необходимо писать бота с нуля, что требует больших денежных и человеческих затрат, либо воспользоваться вспомогательными инструментами.

Гипотеза

На основе данных рассуждений была сформулирована следующая гипотеза: один программист способен с нуля с помощью готовых вспомогательных технологий, подготовленных рекомендаций и документации создать и настроить чат-бот для своих нужд. На основе данной гипотезы была поставлена цель: упрощение выбора и использования инструментов при реализации чат-бота.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучить различные аналоги существующих диалоговых систем.
2. Разработать чат-бот для смартфона.
3. Встроить в чат-бот систему распознавания речи.
4. Встроить в чат-бот нейронную сеть.
5. Обучить нейронную сеть, используя подготовленные специализированные дата-сеты.
6. Провести тестирование и валидацию полученного чат-бота.
7. Сформировать рекомендации по использованию выбранных в работе инструментов.

Область исследования

Данное исследование проводится в области искусственного интеллекта, что включает в себя создание и изучение чат-ботов (голосовых помощников) и нейронных сетей.

Объект исследования

Объектами исследования являются чат-боты, нейронные сети и системы распознавания речи.

Предмет исследования

Предметом исследования является область пересечения трех объектов исследования, то есть процесс интеграции чат-бота с нейронной сетью и системой распознавания речи (рис. 1).

Научная новизна исследования

В результате исследования в данной работе было выполнено сравнение различных чат-ботов, систем распознавания речи и готовых приложений с нейронными сетями, а также разработаны рекомендации по использованию полученного чат-бота и модулей, которые в него были встроены (рис. 1).



Рис. 1. Предмет исследования

Практическая значимость исследования

Результаты данной работы могут быть использованы различными организациями разного размера от стартапа до большой корпорации, если им требуется разработать корпоративный чат-бот, потратив на него минимальное количество сил и времени.

Допустимо полностью разработать своего чат-бота с нуля, пользуясь исследованиями и рекомендациями, приведенными в данной работе, либо кастомизировать бота, который был уже разработан в ходе данного исследования.

Анализ чат-ботов и систем распознавания речи

Для изучения были выбраны и проанализированы аналоги различных чат-ботов и систем распознавания речи с целью сравнения данных аналогов и получения основных характеристик чат-ботов, а также поиска лучшего варианта из доступных на данный момент систем распознавания речи. Критерии сравнения можно увидеть в табл. 1 и 2 [1, 2].

Таблица 1

Сводная таблица характеристик чат-ботов и диалоговых систем

Критерии	Чат-боты ВК	Чат-боты Telegram	Яндекс.Алиса	Google Assistant	Siri
Количество фраз, которые программа способна понимать	до 10	до 200	не ограничено	не ограничено	не ограничено
Количество ответов	до 10	до 50	не ограничено	не ограничено	не ограничено
Использование ASR	-	-	+	+	+
Простые действия	до 5	до 20	более 100	более 100	более 100
Интеграция со сторонними программами	-	-	+	+	+
Самостоятельное приложение	-	-	+	+	-
Добавление навыков сторонними разработчиками	-	-	+	+	+
Модуль синтеза речи	-	-	+	+	+

Таблица 2

Сводная таблица характеристик выбранных ASR

Критерии	Kaldi	DeepSpeech	Sphinx	RWTH ASR	Julius
WER ¹ , %	6,5	7,2	21,4	15,5	23,1
SF ²	0,6	4,3	0,5	3,8	1,3
Язык	C++	Python	C/Java	C++	C
Структура	Модульная	Модульная	Модульная	Модульная	Модульная
Поддерживаемые ОС	Linux, Windows, FreeBSD	Linux, Mac OS, Windows, Android	Linux, Mac OS, Windows, Android	Linux, Mac OS	Linux, Windows, FreeBSD, Mac OS
Интерфейс	Консольный	Консольный	Консольный, API	Консольный	Консольный, API
Языки	Английский	Английский	Множество языков, в том числе экзотические	Английский	Японский, Английский
Исследование распознавания речи	Предназначена	Нужно писать модули в случае необходимости			

Для реализации способности бота общаться есть два различных подхода – создание базы данных ответов либо встраивание нейронной сети. Первый способ упрощает логику программы, однако появляются несколько проблем – при поддержке приложения будет регулярно увеличиваться объем данных, словаря, в котором хранятся вопросы и ответы,

¹ Word Error Rate (WER) – показатель точности распознавания речи. Чем ближе к нулю значение WER, тем выше качество распознавания.

² Speed Factor (SF) - показатель отношения времени распознавания к длительности распознаваемого сигнала [2].

что прямо пропорционально увеличивает время работы программы (так как требуется время на поиск вопроса и соответствующего ответа). Еще одной проблемой становятся нестандартные фразы, возможные ошибки, на которые чат-бот не способен будет реагировать. Эти проблемы решаются с помощью нейронной сети, однако в таком случае резко увеличивается сложность разработки приложения.

Использование системы распознавания речи может стать полезной функцией для сохранения времени пользователя. Это возможно по той причине, что для набора текста на клавиатуре пользователь тратит значительно больше времени, чем если бы он произносил требуемую фразу голосом. Именно поэтому было решено использовать в данном проекте ASR.

Так как одна из возможных сфер использования бота – корпоративная, стоит задуматься о том, чтобы ботом можно было пользоваться независимо от остальных программ. Так как большинство современных голосовых помощников являются интегрированными в различные сопутствующие программы вроде браузера, отдельное приложение будет явным преимуществом для разрабатываемого бота.

На основе сравнительного анализа и поставленных перед ботом задач был сформирован список обязательных условий, которые бот должен будет выполнить:

- чат-бот должен иметь в словаре более 200 фраз-вопросов и более 50 фраз-ответов либо должна быть встроена нейронная сеть;
- в чат-бот должна быть интегрирована ASR;
- чат-бот должен быть самостоятельным приложением.

На основе сравнительного анализа различных систем распознавания речи была выбрана ASR CMU Sphinx по следующим причинам:

- система Julius не подходит по причине самого высокого процента ошибок;
- система DeepSpeech дольше всего распознает фразу, поэтому также не подходит;
- из оставшихся ASR лишь CMU Sphinx способна работать на русском, а также имеет модель для встраивания в мобильное приложение.

Для уменьшения объема словаря и увеличения разнообразия ответов чат-бота можно использовать нейронную сеть, интегрируемую в разрабатываемый чат-бот, которая сможет повысить разнообразие понимаемых запросов пользователя и вариантов ответа самого чат-бота.

На данный момент существует огромное количество различных нейронных сетей, как относительно простых, так и более сложных.

Из множества вариантов необходимо выбрать только один, наиболее подходящий по своим характеристикам для интеграции с чат-ботом. Так как основная цель чат-бота – ведение диалога с человеком, при выборе нейросети необходимо опираться на то, что для речи и диалога очень важны последовательность и контекст: человек подбирает слова и выбирает действия, основываясь на том, что было сказано ранее в предыдущем предложении или даже абзаце. Поэтому по своим характеристикам более всего подходит сеть LSTM (англ. Long short-term memory). У нее есть важная функция – возможность контролировать состояние ячеек, которые могут быть стабильными или изменяться при необходимости. Таким образом, информация о цепочке не будет потеряна, что важно для обработки естественного языка [3].

Обучение чат-ботов для более содержательного общения – это не только использование нейронных сетей, зачастую требуется предварительная обработка речи. Это делается с помощью NLP (Natural Language Processing) – технологии обработки естественного языка. На данный момент уже существуют различные готовые конструкторы и системы, предоставляющие возможность собрать своего чат-бота или встроить в готового чат-бота нейронную сеть типа LSTM и предобработку языка (NLP). К сожалению, большинство из них используют только английский язык либо являются

проприетарным ПО, а некоторые в принципе невозможно интегрировать в собственное приложение.

К счастью, был найден фреймворк DeepPavlov. Это система с открытым исходным кодом для работы с искусственным интеллектом, которую можно встроить в собственное ПО, его также можно использовать для различных коммерческих проектов.

В результате разработки был получен чат-бот, в который были встроены система распознавания речи и нейронная сеть, переобученная на собственных дата-сетах.

Для переобучения использовались различные внутренние документы университета и статьи с Википедии.

Использование данных технологий позволило получить чат-бот, способный понимать устную речь человека, а также достаточно разнообразно, хоть и не всегда точно, отвечать на запросы пользователя (рис. 2).

Также было проведено изучение процесса обучения нейронной сети и составлен подробный пошаговый алгоритм переобучения сети DeepPavlov.

Кроме того, проведено итоговое тестирование чат-бота. Был написан чек-лист, по которому проводилось тестирование. Результаты первичного и итогового тестирования приведены на рис. 3.

Заключение

В ходе исследования в данной работе были изучены несколько различных технологий, таких как: чат-боты и голосовые ассистенты (помощники), системы распознавания речи, а также нейронные сети.

В ходе работы была подтверждена гипотеза о том, что один программист способен с нуля с помощью готовых вспомогательных технологий, подготовленных рекомендаций и документации создать и настроить чат-бот для своих нужд.

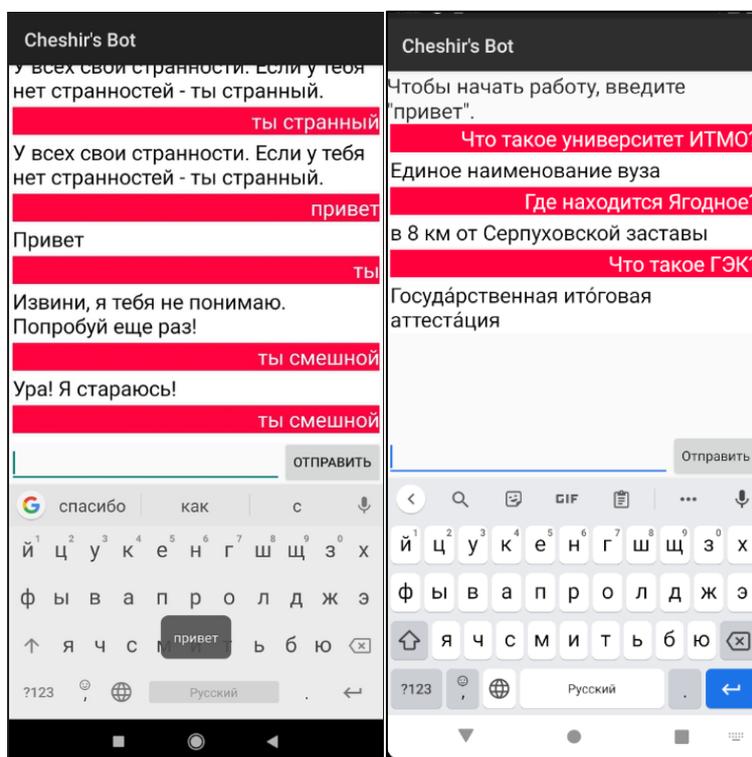


Рис. 2. Пример работы чат-бота



Рис. 3. Результаты тестирования

Для достижения цели необходимо было сформулировать основные рекомендации по использованию выбранных технологий. Для того, чтобы сформировать рекомендации, были подробно проанализированы все процессы изучения, разработки и тестирования и на основе полученных результатов были сформированы 7 пунктов, цель которых – помочь программисту, который планирует разработать собственный или доработать для своей компании разработанный в данной работе чат-бот.

Литература

1. Беленко М.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом / Беленко М.В., Балакшин П.В.// Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №4 (58).
2. Карпов А.А. Методология оценивания работы систем автоматического распознавания речи / Карпов А.А., Кипяткова И.С. // Известия высших учебных заведений. 2012. №11.
3. Korobov M. Morphological Analyzer and Generator for Russian and Ukrainian Languages [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1503.07283v1.pdf> (дата обращения: 16.03.2020).

Новохацкая Есения Антоновна

Университет ИТМО,
институт международного развития и партнерства,
студентка группы D42423,
направление подготовки: 45.04.04 – Интеллектуальные
системы в гуманитарной сфере,
e-mail: eseniia.novokhatskaia@gmail.com

Пучковская Антонина Алексеевна

Университет ИТМО,
институт международного развития и партнерства,
канд. культурологии, ординарный доцент,
e-mail: aapuchkovskaya@itmo.ru

УДК 009

**STUDIES ON ST. PETERSBURG MONUMENTS:
MAPPING HISTORICAL MEMORY**

Е.А. Новохацкая

Научный руководитель –канд. культурологии, доцент

А.А. Пучковская

Работа выполнена в рамках темы НИР №620163 «Практики взаимодействия в трансдисциплинарном пространстве».

Аннотация

The research focuses on the digital representation of monuments and the context that can be brought to the issue via online sources. The paper highlights the potential problems the unacknowledged memorial conflicts could provoke and makes a suggestion on methodology of how to work with monumental past before society faces the problem itself.

Ключевые слова

Monuments, historical memory, mapping, local history.

The 21st century proved to be the era of rethinking society's perception of the past. Multiple countries face monuments destruction issues and general memorial conflicts, and most of the time the community does not know how to construct a productive discussion. The right response to this era is preventive – to start the discussion over historical memory before the conflict arises. In this study, we consider monuments of St. Petersburg in Russia, the process of their establishment, their location and commemorative topics. The study is site-based, focusing on the interpretation of sites of memory. The research focuses on heritage places with memorial aspects, including those with divergent and controversial interpretations, and on the issues around the international recognition of sites of memory.

One of the crucial theoretical frameworks for this research is the theory of sites of memory (or realms of memory) introduced by a French historian Pierre Nora [1]. In 1984-1993 together with the other French scientists he developed an ontology of sites of memory in France, as a part of French national identity research. Sites of memory (*lieux de mémoire*), the central term of Nora's work, are an embodiment of ideology, «extremely ideological, full of nationalism, and far from being neutral or free of value judgements» [2]. Nora observed that most of the sites of memory were created solely for the purpose of indoctrination and serving the government in its goal of uniting the nation. He defined a site of memory as any significant entity, whether material or non-material in nature, which by dint of human will or the work of

time has become a symbolic element of the community's memorial heritage [1]. Sites of memory, in his view, could include: places such as museums, cathedrals, mosques, temples, palaces, cemeteries, archives and memorials; concepts and practices such as commemorations, mottos, and all rituals; objects such as inherited property, commemorative monuments, manuals, emblems, basic texts, and symbols. In such a definition, sites of memory can have both a positive aspect, through an anthropological approach and consideration of the (past and present) context, or a negative aspect in the form of a nationalist or particularistic approach, not open to external or divergent views [1].

There has been a recent upsurge of interest in collective memory, especially as it relates to the experience of two world wars. Historians have begun to trace the origins of a new, more democratic, style of war memorial, which iconographically moved away from the commemoration of generals or rulers to the acknowledgement of the role of ordinary soldiers and armies in the war effort [3].

Considering the specifics of the modern era, especially the level of virtual communication within the community, it is important for the discussion to become digital as well, due to the necessity of being accessible to as many people as possible. Thus, any materials which are supposed to help society to come to an agreement have to be digital as well. This means that any project related to historical memory representation in the present times needs to be fully digital or have digital options. Taking into account the complicated nature of monuments it is important to find a way for their representation in a public discourse. The tool used for this kind of task needs to be available for the general public (both being accessible technically and understandable for people without specific knowledge), inclusive (taking into account all of the monuments equally, despite their location or them being recognisable and famous), and flexible (being able to change with the public discourse state).

Tools for monument representation can vary from a simple database to physical museums or exhibitions. The choice of the tool for this research, however, is a digital interactive map. According to Bodenhamer, people are inherently spatial beings, they “live in a physical world and routinely use spatial concepts of distance and direction to navigate our way through it” [4]. GIS (Geographic Information System) technology usage is widely spread among the humanities specifically because it helps society to understand accumulated knowledge better and see it in a context of space. Bodenhamer introduces a deep map term, which is described as a “new creative space”. Deep maps are visual, time-based and structurally open, combining multiple data layers and media, introducing a background for “negotiation between insiders and outsiders, experts and contributors, over what is represented and how” [4]. Deep mapping is a necessity for historical memory projects, being the conversation openers and common background providers.

Considering the criteria of accessibility, the digital interactive map covers all the necessities listed above. Digital map is available for the general public – it does not require a physical presence of the person, it is simplified to the visual representation of monuments' locations and stories attached to them. It does not contain any specific knowledge which would require deep research and academic skills. The only issue with accessibility of a digital map is connected to the access to the Internet. However, the choice of a digital map was made to bring the Internet requirements to middle and low connection speed. Interactivity of the map is fully optional.

Digital map is also inclusive – technologies allow massive data to be stored in a map and be represented by request. The project does not need to value some monuments more than others to fit the information to limits of a physical map, for example. All monuments can be represented equally. The digital map is a modern way of creating a deep map Bodenhamer was talking about – it has an ability to store multiple layers of data visualisation and have them accessible by the request. Finally, a digital map is flexible. If a monument is destroyed or a new monument is established, the new data can be easily added to the dataset that the map is based

on, and it will appear on the map. It does not require the map to be redrawn. The project does not need to be shut down and redone, minor fixes are planned and possible.

Considering the public presentation of the project, the final form should be based on full understanding of the goal, the audience and the story the project needs to communicate. The primary goal of the project is to show the importance of historical monuments in the city and the message they send to the public. Monuments are one of the most effective things to tell people about local and national history, but also they are very effective in translating propaganda and historical myths. The main audience is people who live in St. Petersburg, because this is their context of living – they interact and see these monuments on an everyday basis. Also, the narrow target group of the project would be people around 18-50 years old. One of the crucial historical events which influenced historical memory a lot – World War II, personally touched the private memory of people as well. In each family the events of World War II were interpreted through the lenses of personal trauma, loss and grief. With each iteration of retelling the story, it evolves into a new form commemoration – current generation tells the next generation about the war without ever seeing it. People between 18 and 50 know about the war through the lenses of their parents and grandparents. Some historical accuracy could get lost in the process of retelling stories. At the same time, personal memory gets into conflict with the general narrative of the state about World War II, which is mostly celebratory. Clarifications of historical commemoration are needed primarily for current and future generation not to lose historical accuracy and not to lose the prior forms of commemoration.

The story the project needs to communicate is built on the base of “then and now” narrative and circles around the idea of what happens when we don’t know history well. Briefly, the storyline of the project is how society through its history commemorated its past and how it struggles to rethink the monumental commemoration objects due to high level of attachment.

The main source of open data for the research is the St. Petersburg Open Data website³. Most of the datasets contained data on museums and buildings. A few of them contained mostly data on the public transport routes, so the word monument appeared in the search due to some bus stops named after the monument nearby. As a result, following datasets with most relevant data were taken as the base for the research: “Объекты культурного наследия на территории Санкт-Петербурга” – 84 entries on monuments; “Достопримечательности” – 268 entries; “Объектно-адресная система Санкт-Петербурга” – 24 entries⁴. Three initial datasets are messy and structured differently. All of them have a variety of issues, so a large part of the work was to clean them and to bring them to a common structure. Three major steps of managing the data were: working out the structure of the main dataset, combining three datasets into one through code, manual cleaning of the data. Also, to check the missing data two additional sources were used: OpenStreetMap data and Encyclopaedia of St. Petersburg website data.

The structure of the main dataset has to contain both data on the monument and on its meaning. This data should be divided as clearly as possible for the analysis to be comprehensive. We have parameters like date, story and picture. All of these parameters exist twice: once for the monuments (object), once for the subject. Parameters name, address (as well as longitude and latitude), material, type, author and inscription describe the monument as an object. Parameters commemoration topic and commemoration subtopic provide additional description of the monument’s meaning.

The structure of the dataset is derived from several important questions and issues we need to review when interpreting a site of memory. First of all, we need to understand whom do we commemorate in a form of monuments, thus we need names of the monuments, dates of commemoration and of the event connected to the monument and history of the monument and

³ Website: <https://data.gov.spb.ru>

⁴ Open data is regularly updated. The date of datasets download is 26.10.2020

the event behind it. Second of all, we need to understand the spread of monuments in urban space, thus we need geolocations. And, finally, we need to understand more about what monuments look like generally in urban space to highlight specific patterns of commemoration in St. Petersburg which could presumably line up with patterns in other regions in potential future comparisons.

The initial open data, supposedly being collected mostly manually, could not be fully processed by code. After the code merging and initial cleaning, the manual cleaning step began. The list of major changes done by hand: date of monument's establishment limited to one year (data review according to the rules of the parameter listed above) and date of the meaning is manually created (none of the datasets highlight this data); sculptures with no historical or memorial meaning are taken away from the dataset (some of them were coded as monuments in the "Достопримечательности" dataset); the column description is manually separated into *material*, *type*, *author*, *inscription*, *monument story* and *subject story* (partially data is missing due to not all monuments have extensive description). Additionally, through manual cleaning the mistake of geolocation data was discovered, so the dataset was run through the longitude latitude data extraction code once again.

After collecting the data into one dataset and finalising all the preparations, visualisation process begin – the map creation. For the sake of the project aim, which is primarily to communicate the importance of monuments and their history to the society, the data was put in a form of interactive map, created using Tableau Public resource. The map primarily answers a question of where we commemorate our past. The visualisation helps us to connect the data we collected and processed with the geographical location of monuments we know. There are several things that we can see on the map and that can potentially be included into the discourse over monumental commemoration in the urban space.

1. Spread of the monuments in the urban space

As fig. 1 clearly shows, monuments most of the time are tied to city centres. On the example of St. Petersburg we can not only see it in terms of the historical center, however it is also visible in the suburbs which were historically separate towns, but now belong to the St. Petersburg municipality, i.e. Pushkin, Kronshtadt, etc. Monuments were erected in places close to the majority of the group related to the commemoration. If we look closely at monuments in Kronstadt, for example, a navy city, which was closed till 1996, all people, organisations and events commemorated there are tied with naval memory. Pushkin, at the same time, being an emperor's residency in the 18th century, had a completely different local memorial stamp. Monuments there are primarily dedicated to the royal dynasty of Russia and people close to the family or highly valued by the emperor at the time. St. Petersburg center, however, being multilayered in terms of memorial tendencies cannot be called homogenous in this case. Moreover, we see that the further we go from the center, the more modern monuments there are. The space for commemoration grew slowly with the city.

2. Commemoration topic

As fig. 1 shows, there are specific tendencies in commemoration topics that we can find on the map of St. Petersburg monuments. For example, the *person* category is far more prevalent than any other category, meaning that mostly St. Petersburg landscape features monuments dedicated to people. If we look closely on this category, fig. 2, we can find topics that are popular within the city monuments. As it was already mentioned, Kronstadt is popular for heroes of the navy. The center of the city, as we can see, is occupied by monuments to artists of different kinds – writers, musicians, painters, etc. We cannot forget, however, about the mistake in visualisation. Some monuments are usually united into clusters, for example Moskovsky Victory Park would be primarily a military commemoration topic, but it is not displayed due to the coordinates issue. This visualisation is only partly representative.

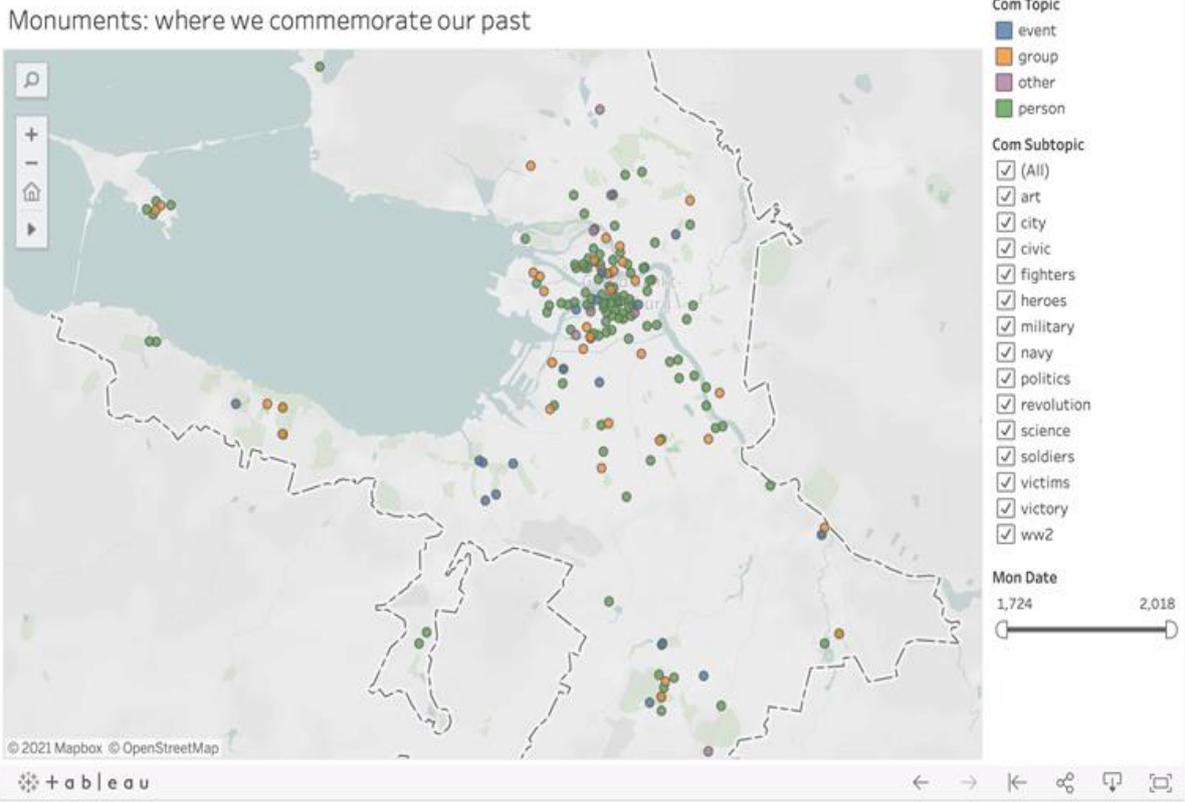


Fig. 1. Overall picture

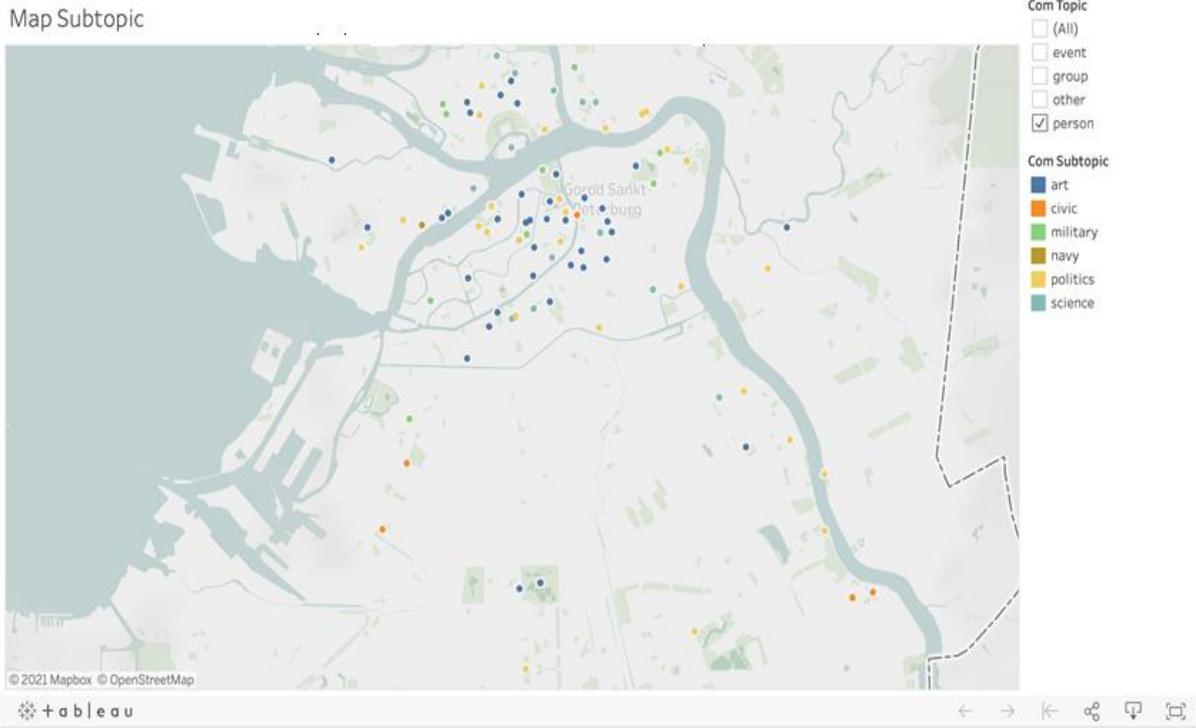


Fig. 2. Subset by person category

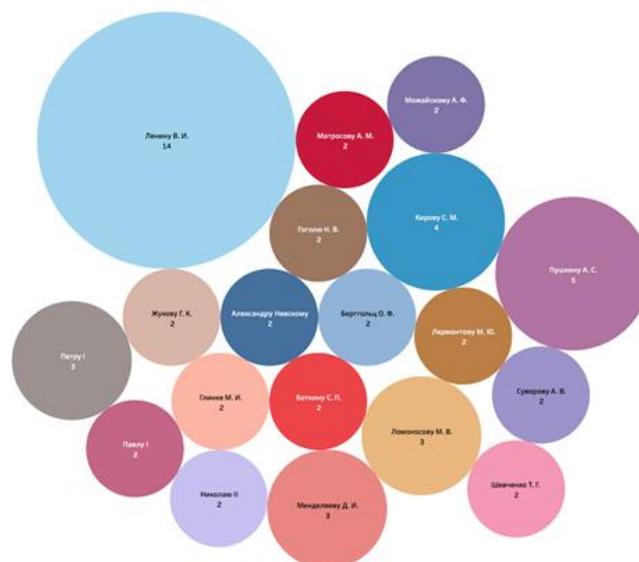


Fig. 3. Name Statistics

3. Repetitive monuments

Browsing the map, we can find a tendency of repetitive monuments. If we look closely at the name statistics featured in memorials, we see the following picture (fig. 3). The filter is set to show only those who are commemorated more than once. Also, the filter is not set to show only category *person*, thus we can conclude that names of monuments dedicated to events, organisations and other do not repeat. The most popular person to be commemorated is expectedly Vladimir Lenin. However, we can see multiple examples of monuments being repeated twice. In several cases, for example, A. Suvorov, or N. Gogol, we see that monuments are separated by the almost 100 years gap. For others the gap of around 30 years or 20 years. On this example we can see that society established new monuments as old ones lose the relevance. Some of the monuments established later were dedicated to specific dates, for example O. Berggolts was commemorated the second time in the year of the 40th anniversary of her death, and N. Gogol was commemorated the second time in the year of the 45th anniversary of his death. The society seeks to renew the memorial context of the city, however it does not seek to destroy old symbols of commemoration as well. We duplicate the commemoration instead of interchanging the new one and the old one.



Fig. 4. Interactive map for the public project

The map visualisation ends up showing multiple memorial tendencies in St. Petersburg which can and should be explored by the general public. The filters added to the interactive map allow people to control the perception of the data by themselves, thus making it fully accessible. However, for the sake of the project becoming more eye-catching for the audience, the map was edited to be more explanatory. Monuments now contain not only statistical information, but also descriptive info about their history and the history of their meaning. The final interactive map is ready to be included in the prototype (fig. 4). The color scheme was changed for the purpose of the project design, as well as the language was changed to Russian for the sake of the project being relevant in St. Petersburg primarily.

The collection of monuments dataset and the visualisations realisation showed a huge potential behind the concept of the MemoMap project. It combines all necessary arguments for people to discuss their historical heritage and come to an unanimous decision if it is needed. The variety of data combined in the project allows not only the general public to be heard but also some grounded unpopular opinions having the possibility to speak up about their vision of monuments 'future.

The future of the project shows all the necessary future steps for the source to develop into a bigger and fully accessible one. Depending on the questionnaire and societal response to the prototype, the concept can be changed, however the general idea supposedly will be effective, based on the theoretical background and multiple examples of similar projects in a sphere of digital humanities and beyond.

References

1. Nora P. Between memory and history: Les lieux de mémoire //Representations. 1989.
2. Den Boer P. Loci memoriae—Lieux de mémoire //Cultural Memory Studies: An Interdisciplinary Handbook. Berlin: Walter de Gruyter. 2008. C. 19-26.
3. Etkind A. Mapping memory events in the east European space //East European Memory Studies. 2010. T. 1.
4. Bodenhamer D.J. et al. The potential of spatial humanities //The spatial humanities: GIS and the future of humanities scholarship. 2010. C. 14-30.

Сарафанов Михаил Игоревич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

студент группы №С42323,

направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика,

e-mail: mik_sar@itmo.ru

Калюжная Анна Владимировна

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

к.т.н., доцент,

e-mail: anna.kalyuzhnaya@itmo.ru

УДК 519.6

**ЗАПОЛНЕНИЕ ПРОПУСКОВ В ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

М.И. Сарафанов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Калюжная

Аннотация

В работе приведены результаты валидации разработанных алгоритмов восстановления значений во временных рядах и изображениях, полученных из данных дистанционного зондирования Земли. Производится проверка точности заполнения пропусков на различных типах данных и продуктах дистанционного зондирования. Сравнение с широко используемыми алгоритмами-конкурентами показало, что предложенные методы точнее.

Ключевые слова

Пропуски, машинное обучение, временные ряды, MODIS, Sentinel.

Использование данных дистанционного зондирования Земли сегодня позволяет изучать пространственные системы в самых различных масштабах. Используя спутниковые снимки, можно анализировать поведение климатической системы, следить за развитием отдельных биомов и экосистем и многое другое. Все это было бы невозможно без сложного оборудования, а также без алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования.

Однако из-за специфики съемки некоторые продукты дистанционного зондирования не имеют достаточного пространственного охвата, имеют слишком низкое пространственное разрешение или имеют большое количество пропусков, которые, как правило, вызваны облачностью. Так, для высоких широт характерно присутствие облачности большую часть года. Это означает, что большая часть продуктов для данной территории будет иметь пропуски [1]. Вести мониторинг по данным зондирования в таком случае без применения алгоритмов восстановления пропущенных значений затруднительно.

Такие алгоритмы заполнения пропусков, как во временных рядах, так и в матрицах (изображения со спутников), существуют. Однако большинство из них не имеют открытого исходного кода, требуют сложной подготовки данных или не учитывают особенности восстанавливаемого параметра. Все это приводит к тому, что в

восстановленных изображениях и временных рядах после применения алгоритмов появляются искажения и несвойственные изначальным данным паттерны.

Таким образом, цель данной работы – разработка алгоритмов заполнения пропусков в данных дистанционного зондирования при помощи методов машинного обучения. Стоит отметить, что отдельно разрабатывались алгоритмы для заполнения пропусков в матрицах (изображениях) и одномерных массивах (временных рядах). Главной задачей ставилось превзойти по точности алгоритмов-конкурентов сохранив при этом гибкость подхода.

Современные алгоритмы заполнения пропусков в изображениях, полученных со спутников, опираются на статистические методы восстановления и на подходы машинного обучения. Намного реже используются спектральные методы, например, вейвлет преобразования и его модификации. При статистических подходах как правило не используются дополнительные данные о территории, а восстановление происходит на при помощи нахождения закономерностей в рамках восстанавливаемого параметра. Самым широко используемым представителем из данной группы методов является «CRAN gapfill» [2], написанный на языке R.

Другим популярным подходом является использование методов машинного обучения. В данной группе методов активно используются дополнительные данные, например, матрица высот для восстановления значений температуры поверхности земли. Данная реализация представлена в алгоритме «gapfilling rasters». У большинства применяемых алгоритмов есть ограничения, например, невозможность восстанавливать данные нерегулярной съемки (когда сенсор захватывает территорию не в одно и то же время один раз в день/неделю, а пролетает над территорией иногда один раз сутки, иногда два, и при этом в разное время). Также алгоритмы не могут справляться с крупными пропусками – при применении алгоритмов в восстановленных полях возникают артефакты, аномалии, которых в действительности быть не должно.

Для заполнения пропусков во временных рядах используются как простые (линейная интерполяция), так и продвинутые алгоритмы интерполяции (сплайнами). Применяются алгоритм скользящего среднего, фильтры Савицкого-Голея, фильтры Калмана. Также существуют методы на основе частотного анализа временных рядов. Однако большинство представленных методов либо недостаточно сложны, чтобы адекватно восстанавливать значения, особенно в крупных пропусках, либо требуют тонкой настройки гиперпараметров. Это не позволяет заполнять пропуски эффективно в автоматизированном режиме – требуется привлечение эксперта. Из-за этого подходы становятся не универсальными.

Для восстановления значений в матрицах было решено строить модели отдельно для каждого пропущенного пикселя. В качестве предикторов в такой модели используются известные пиксели на снимке. Количество предикторов ограничено количеством известных значений в матрице. Однако, если использовать все известные значения для тренировки модели, модель получится вычислительно очень тяжелой. Поэтому было предложено использовать в качестве предикторов 40 известных пикселей на снимке, которые относятся к тому же биому, что и пропущенный пиксель.

Схема формирования обучающей выборки для предсказания значений в пикселе с пропуском d_1 представлена на рис. 1. Для тренировки алгоритма используются предыдущие снимки территории. При этом нет ограничения на то, через равные отсчеты времени были сделаны снимки, или нет.

При описанном выше подходе в качестве алгоритма, описывающего зависимость F между пикселями может быть использован любой алгоритм машинного обучения. В данной работе использовался метод опорных векторов. Поскольку попиксельные модели могут обучаться независимо друг от друга, в программной реализации был предусмотрен режим распараллеливания вычислений.

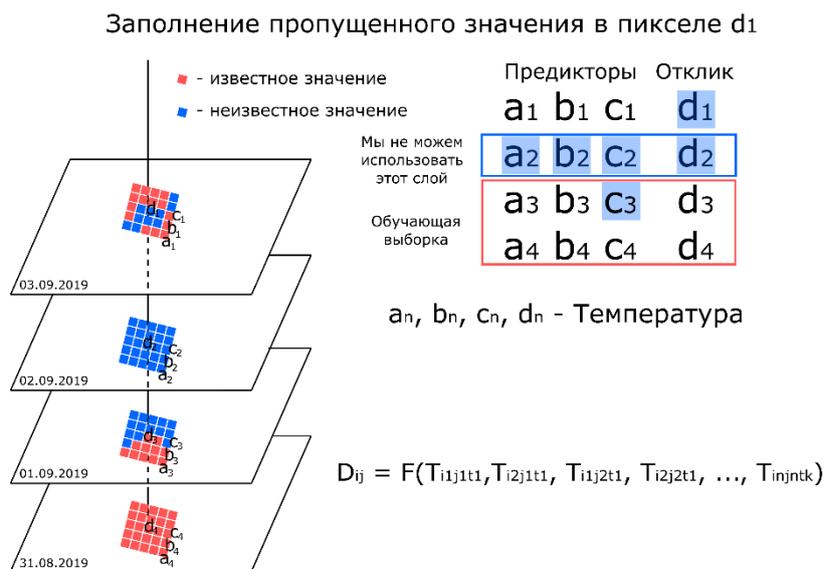


Рис. 1. Схема формирования обучающей выборки для восстановления значений в полях температуры

Для восстановления значений во временных рядах может применяться наивный подход – итеративное прогнозирование временного ряда. Однако при таком прогнозировании не учитывается специфика решаемой задачи – для заполнения пропусков доступна не только предыстория до пропуска, но и значения временного ряда, расположенные после него. Поэтому было решено реализовать алгоритм двустороннего прогноза временного ряда (рис. 2).

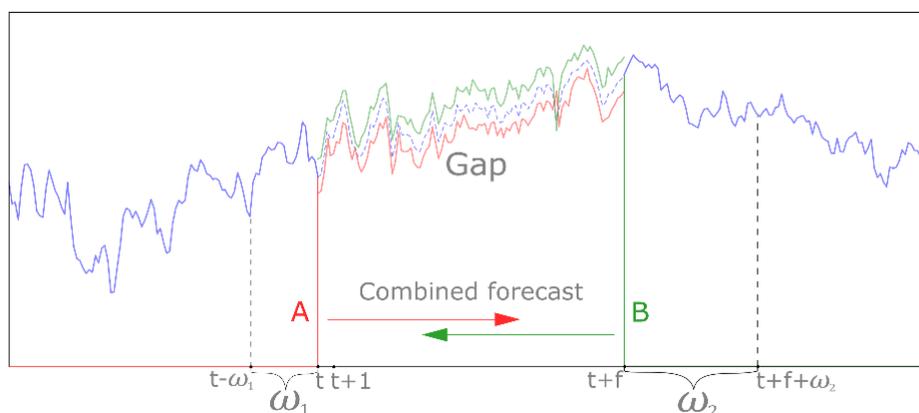


Рис. 2. Схема двустороннего прогнозирования. ω – размер скользящего окна, на котором формируется авторегрессионная модель, t – индекс временного ряда, f – размер пропуска (в элементах)

Прогноз при данном подходе объединяется при помощи взвешенного среднего. В качестве прогнозной модели может быть использована авторегрессионная модель. Идентификация модели осуществляется в автоматическом режиме при помощи эволюционного алгоритма, который реализован в фреймворке FEDOT.

Валидация разработанного алгоритма восстановления значений в матрицах производилась на пяти продуктах дистанционного зондирования, полученных с двух спутниковых систем (Sentinel 3 SLSTR сенсор, Terra MODIS сенсор). В табл. 1 представлено краткое описание продуктов.

Описание продуктов дистанционного зондирования, использованных для валидации алгоритма

Продукт	Описание
Sentinel-3 LST	Температура поверхности земли, полученная с сенсора SLSTR, разовые пролёты спутника. Пространственное разрешение 1 км
MOD11A1	Температура поверхности земли, полученная с сенсора MODIS, однодневные композиты. Пространственное разрешение 1 км
MOD11_L2	Температура поверхности земли, полученная с сенсора MODIS, разовые пролёты спутника. Пространственное разрешение 1 км
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index, нормализованный вегетационный индекс. Пространственное разрешение 1 км
albedo	Широкополосное альbedo. Пространственное разрешение 1 км

Валидация производилась на трёх тестовых территориях: Санкт-Петербург, Владивосток, Мадрид. Для каждой тестовой территории для каждого продукта были выбраны шесть снимков без пропусков, после чего в них генерировались пропуски различной формы и размера. Искусственно созданные пропуски занимали от 4 до 96% территории на снимке.

Затем производилось заполнение пропусков и предсказанные значения сравнивались с действительными. Использовались метрики средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE), медианная абсолютная ошибка (Median Absolute Error, MedAE), корень из среднеквадратической ошибки (Root Mean Squared Error, RMSE), смещение. Результаты валидации на данных температуры поверхности земли представлены на рис. 3.

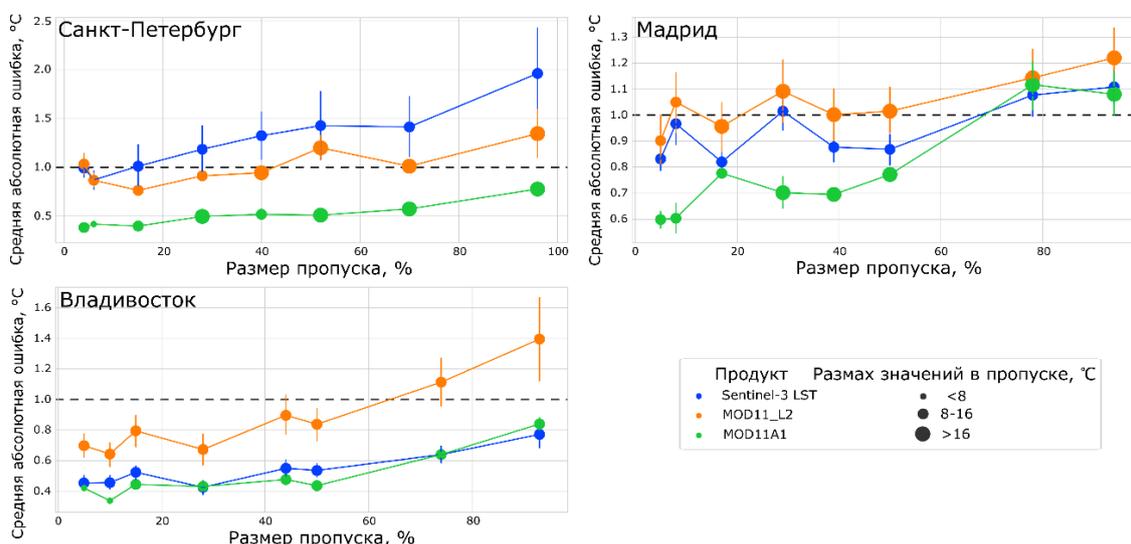


Рис. 3. Усредненные значения MAE при заполнении пропусков в полях температуры (продукты Sentinel-3 LST, MOD11A1, MOD11_L2)

Как видно из рис. 3, в среднем ошибка растёт при увеличении размера пропуска, но при этом в большинстве случаев не превышает 1°C. Этой точности достаточно для оперативных (мониторинг) и ретроспективных задач (климатический анализ).

Сравнение с алгоритмами-конкурентами показало, что предложенный подход точнее во всех рассмотренных случаях. На рис. 4 представлен график с ошибками алгоритмов.

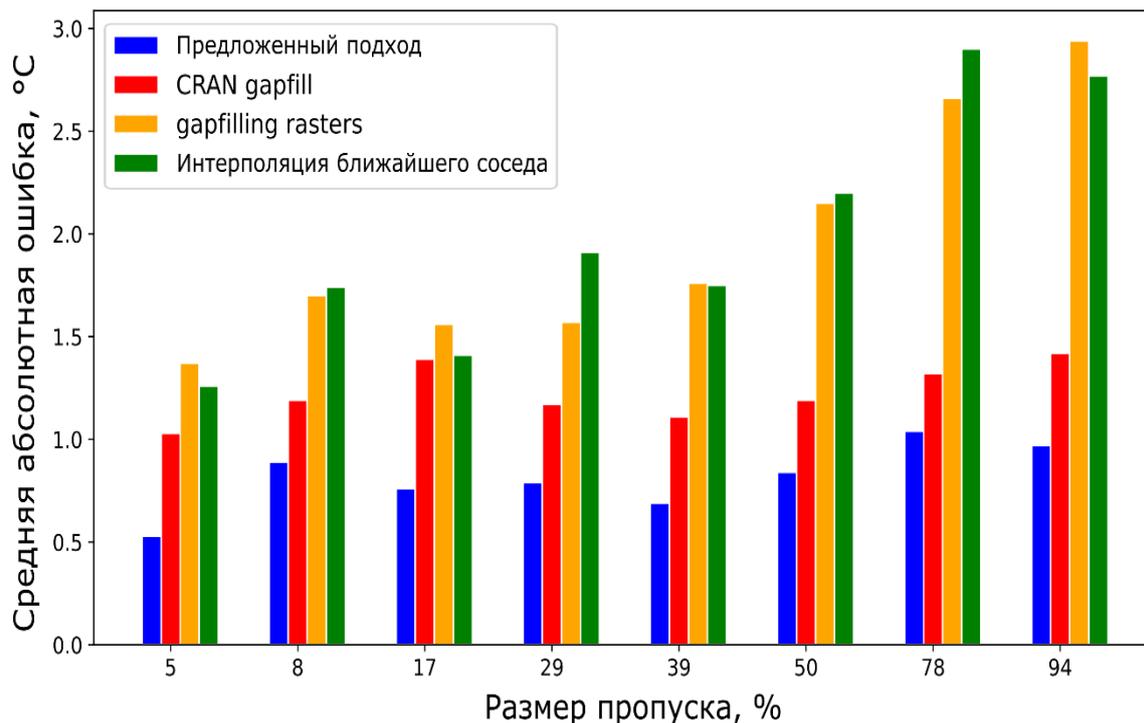


Рис. 4. Сравнение точности прогнозирования алгоритмов на различных размерах пропусков для Мадрида

Валидация алгоритма восстановления пропусков во временных рядах производилась на данных спутниковой альтиметрии [3]. Из ячеек многомерных массивов были сформированы временные ряды высоты поверхности моря. В пяти временных рядах генерировались пропуски различной длины, после чего производилась процедура заполнения пропусков. Проверка точности восстановления осуществлялась при помощи MAE и средней абсолютной процентной ошибки (Mean Absolute Percentage Error, MAPE).

Было произведено сравнение разработанного алгоритма с алгоритмами-конкурентами: линейной интерполяцией, скользящим средним, фильтром Калмана, фильтрами Савицкого-Голея, интерполяцией сплайнами, интервальной аппроксимацией полиномиальными функциями. Средние значения метрик представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты оценки точности восстановления пропусков во временных рядах

Алгоритм	MAE	MAPE
Линейная интерполяция	0.18	17.4%
Фильтры Савицкого-Голея	0.20	19.1%
Интервальная аппроксимация полиномами	0.18	17.2%
Фильтры Калмана	1.38	156.2%
Скользящее среднее	0.20	19.5%
Интерполяция сплайнами	1.57	139.9%
Предложенный подход	0.11	12.6%

Из таблицы видно, что разработанный алгоритм показал наименьшие значения ошибок. Пример восстановленного участка временного ряда можно увидеть на рис. 5.

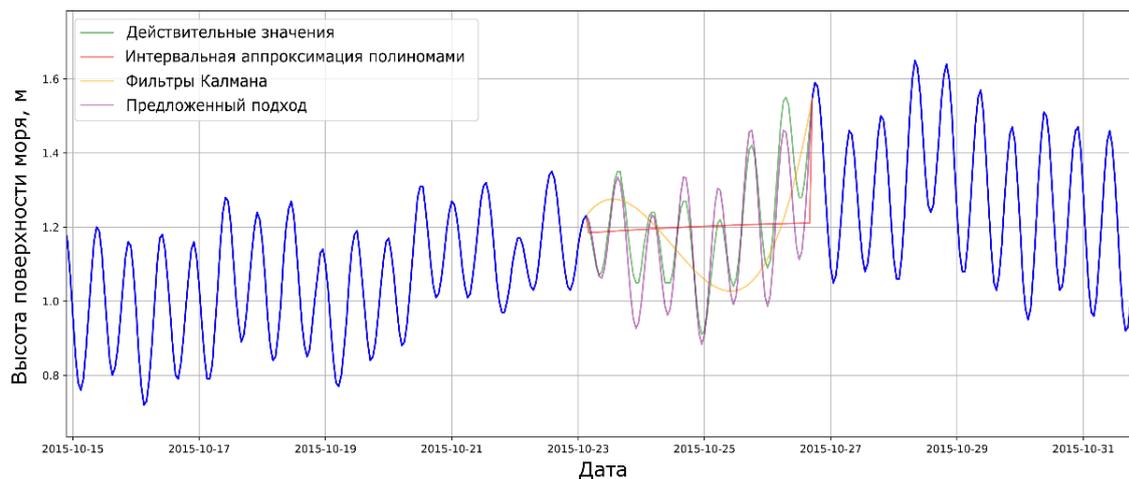


Рис. 5. Восстановленный пропуск различными алгоритмами

В результате проведенных экспериментов было установлено, что разработанный алгоритм восстановления значений в матрицах оказался точнее алгоритмов-конкурентов. Средняя абсолютная ошибка для полей температуры поверхности земли в подавляющем большинстве случаев не превышала 1°C . При заполнении пропусков в полях NDVI средняя абсолютная ошибка ни разу не превышала 0.06 единиц, для широкополосного альбедо – 0.02 единицы.

Алгоритм восстановления значений во временных рядах также оказался точнее конкурентов. Среднее значение MAPE составило 12.6%, в то время как ошибка, ближайшего по точности к предложенному подходу, алгоритма-аналога составила 17.2%.

Оба реализованных алгоритма были оформлены как open-source алгоритмы. Модуль восстановления изображений представляет собой отдельный блок обработки SSGP-toolbox (Simple Spatial Gapfilling Processor), в то время как алгоритм заполнения пропусков во временных рядах включен в структуру фреймворка автоматического машинного обучения FEDOT как вспомогательный блок предобработки данных.

В дальнейшем планируется построить более вычислительно эффективные алгоритмы заполнения пропусков, а также реализовать новые подходы на основе нейронных сетей.

Литература

1. He M., Hu Y., Chen N., Wang D., Huang J., Stamnes K. «High cloud coverage over melted areas dominates the impact of clouds on the albedo feedback in the Arctic» // Sci. Rep. 2019. 9. P. 1–11.
2. Gerber F., de Jong R., Schaepman M.E., Schaepman-Strub G., Furrer R. «Predicting missing values in spatio-temporal remote sensing data» // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2018. 5. P. 2841-2853.
3. Taburet G., Sanchez-Roman A., Ballarotta M., Pujol M.I., Legeais J.F., Fournier F., Dibarboure G. «DUACS DT2018: 25 years of reprocessed sea level altimetry products» // Ocean Science. 2019. 15. P. 1207-1224.

Смирнов Павел Алексеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

физический факультет,

студент группы № Z42451,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: pavel.smirnov@metalab.ifmo.ru

Сун Минчжао

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

физический факультет,

к.ф.-м.н., м.н.с.,

e-mail: m.song@metalab.ifmo.ru

УДК 537.86

**РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО РЕЗОНАТОРА
НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛА ДЛЯ СИСТЕМ
БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ**

П.А. Смирнов

Научный руководитель – к.ф.-м.н., м.н.с. М. Сун

Работа была поддержана Российским Научным Фондом (проект №21-79-30038).

Аннотация

Работа направлена на решение проблемы снижения эффективности систем БПЭ при несоосном расположении приемника на передатчике. Для этого в работе была предложена конструкция гибридного резонатора на основе метаповерхности и изучены ее характеристики для применения в качестве излучателя системы БПЭ. В ходе настройки резонатора было получено равномерное распределение поля в области 28×28 см, в которой эффективность передачи энергии достигает 70 %. Также была оценена радиочастотная безопасность конструкции с помощью расчета SAR, и проведен сравнительный анализ с другими типами передатчиков систем БПЭ.

Ключевые слова

Беспроводная передача энергии, резонатор, метаповерхность, ближнее поле, энергоэффективность.

Технология беспроводной передачи энергии (БПЭ) является стремительно развивающимся направлением научных и инженерных исследований в последнее время. В классических системах БПЭ приемник и передатчик, выполнены в виде планарных катушек индуктивности одинаковых размеров, располагающихся соосно, на малом расстоянии друг от друга, что обеспечивает высокую эффективность передачи энергии. Отклонение от этих условий приводит к ее критичному падению, что делает такую систему неприменимой для питания произвольно расположенных устройств, а также для питания нескольких устройств одновременно в системах «один-ко-многим».

Для решения этой проблемы, ранее было предложено использовать резонаторы на основе метаповерхности в качестве излучающих элементов системы БПЭ, а также были предложены конкретные реализации таких резонаторов [1, 2], которые, несмотря на то, что они обеспечивают низкий уровень удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии (SAR) и создают высокую напряженность магнитного поля

в сравнительно большой области, имеют ряд существенных недостатков, а именно – неоднородное поле в рабочей области и не технологичность изготовления.

Данная работа нацелена на развитие идеи применения резонаторов на основе метаповерхности в качестве излучающих элементов систем БПЭ, и на улучшение существующих конструкций резонаторов, с целью повышения их применимости в реальных потребительских устройствах БПЭ. Для этого в работе предложена новая конструкция резонатора на основе метаповерхности, а именно – гибридный резонатор (ГР), который характерен тем, что не весь его объем заполняется диэлектриком с высокой диэлектрической проницаемостью, а только малая часть [3].

Конструкция предлагаемого ГР представлена на рис. 1. Он представляет собой структуру из двух ортогонально расположенных слоев параллельных печатных проводников длины L и ширины w , расположенных на расстоянии s_i друг от друга. В углах конструкции располагаются квадратные диэлектрические вставки шириной d , с диэлектрической проницаемостью ϵ . Расстояние между слоями – h .

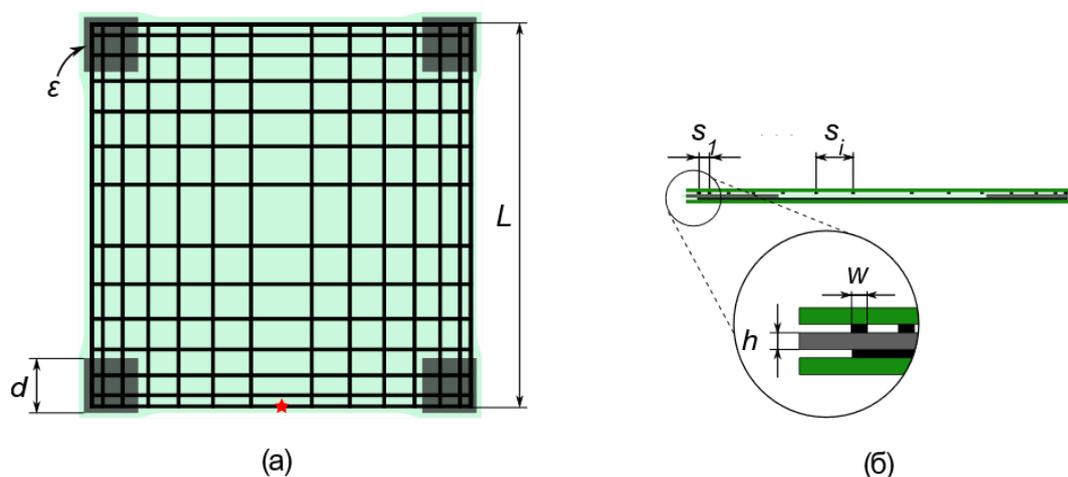


Рис. 1. Геометрия резонатора: вид сверху (а), вид сбоку (б)

За счет того, что проводники в каждом из слоев располагаются на расстоянии много меньшем длины волны, между ними возникает сильная связь, в результате чего, резонанс одиночного провода расщепляется на несколько частот. При добавлении второго слоя проводов, ориентированных перпендикулярно проводам первого, между слоями также возникнет сильная электрическая связь. При возбуждении структуры в питающем проводнике начинает протекать ток, а за счет связей в остальных проводниках начинают наводиться токи, конфигурация которых будет зависеть от частоты возбуждающего сигнала.

Численный анализ структуры был начат с расчета собственных мод. Полученные карты распределения напряженности магнитного поля для первых шести мод показаны на рис. 2, из которого видно, что на первой моде H_z компонента поля имеет равномерно высокую амплитуду над большей частью поверхности резонатора, в то время как на более высоких модах максимум H_z находится ближе к его краям, а так же существуют области в которых напряженность равняется 0. Поскольку для эффективной БПЭ в системе «один-ко-многим» необходимо, чтобы все приемники возбуждались с одинаковой амплитудой, нужно чтобы каждый из них пронизывал одинаковый магнитный поток независимо от положения на передатчике. Это условие выполняется только на первой моде, из-за чего именно она была выбрана в качестве рабочей.

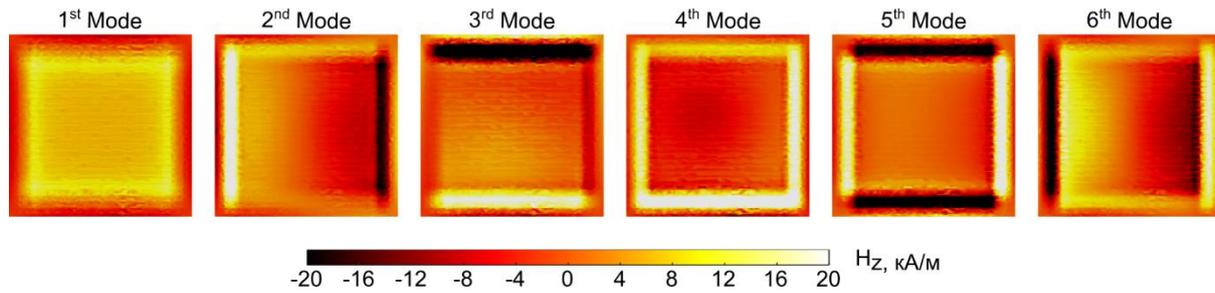


Рис. 2. Распределение нормальной компоненты магнитного поля на высоте 30 мм от поверхности резонатора на различных модах

Дальнейшие расчеты проводились с помощью метода конечного интегрирования в частотной области в программе электродинамического моделирования CST Microwave Studio. Была проведена настройка первой моды на частоту 27 МГц, проведен анализ входного импеданса, добротности, распределения электрического и магнитного полей. Для увеличения однородности магнитного поля в центре структуры, была проведена оптимизация распределения проводников: m крайних проводников были распределены эквидистантно, а следующие p проводников по показательному закону, предложенному в [4]. Для количественной оценки равномерности поля применялся коэффициент вариации (CoV), который определяется как отношение среднеквадратического отклонения напряженности магнитного поля к среднему значению. Этот показатель рассчитывался в рабочей области, равной половине общей площади резонатора.

Полученная в результате модель имеет следующие параметры: длина проводников $L = 380$ мм, ширина $w = 2$ мм, ширина диэлектрических вставок $d = 54$ мм, их диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 45$, количество проводников $N = 34$ в каждом из слоев, при этом, первые $m = 12$ расположены на равном расстоянии $s = 7,5$ мм друг от друга, а оставшиеся $p = 5$, по закону из [4] с коэффициентом распределения $k = 0,28$. На рис. 3 (а) представлен график частотной зависимости входной проводимости оптимизированной модели резонатора на основной моде. На рис. 3 (б) показано распределение нормальной компоненты магнитного поля в плоскости 30 мм над резонатором, нормированное к максимальному значению 7,8 А/м, при этом амплитуда в диагональном сечении резонатора показана на рис. 3 (в), на котором для сравнения показано также распределение амплитуды до оптимизации. Коэффициент вариации в рабочей области, обозначенной пунктирной линией на рис. 3 (б), составил 6,6 %.

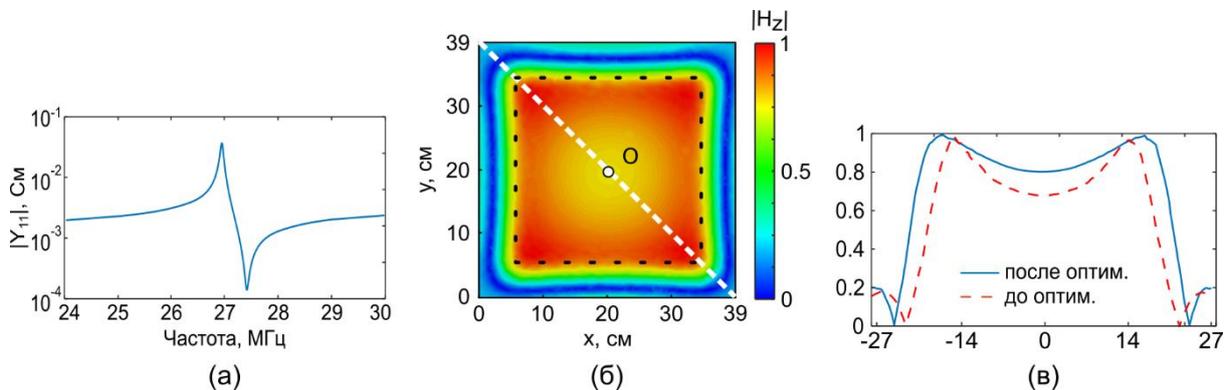


Рис. 3. Модуль входной проводимости ГР (а), распределение напряженности магнитного поля на высоте 30 мм (б), напряженность поля в диагональном сечении (в)

Одним из факторов, который ограничивает максимально допустимую для передачи мощность, является уровень SAR, который характеризует энергию электромагнитного

поля, поглощаемую тканями тела человека. Для того, чтобы определить безопасность предлагаемого ГР, был проведен численный расчет SAR в воксельной модели предплечья человека. На рис. 4 (а) показан результат вычисления при усреднении по 10 граммам тканей, и входной мощности 1 Вт. Как видно по рисунку, максимальное значение SAR составляет 11 мВт/кг. Предельное его значение в конечностях, в соответствии с международным стандартом IEEE Std C95.1-2019, составляет 4 Вт/кг, таким образом, с помощью ГР можно передавать до 350 Вт мощности, и при этом не будет причинён существенный вред человеку, находящемуся в непосредственной близости от него.

Был рассчитан SAR для ранее предложенных моделей резонаторов на основе метаповерхностей [1, 2], а также для традиционно используемой в качестве передатчика систем БПЭ планарной спиральной катушки. Из рис. 4 (в) видно, что SAR резонатора из проводов, нагруженных на емкости [1], чуть больше чем у предложенного резонатора и составляет 12 мВт/кг. SAR планарной спиральной катушки (рис. 4 (г)) на порядок превышает SAR ГР, составляя 330 мВт/кг, в связи с чем его применение для передачи больших мощностей представляет серьезную опасность для человека. Стоит заметить, что SAR резонатора из перекрещенных проводов, погруженных в воду [2], как видно по рис. 4 (б) почти в 2 раза меньше, чем у ГР, что связано с тем, что материал с высокой диэлектрической проницаемостью (в данном случае вода) находится не только между слоями проводников, но и над ними, что позволяет концентрировать в нем большую напряженность электрического поля. Несмотря на это, ГР является более технологичным решением и его легче применять на практике.

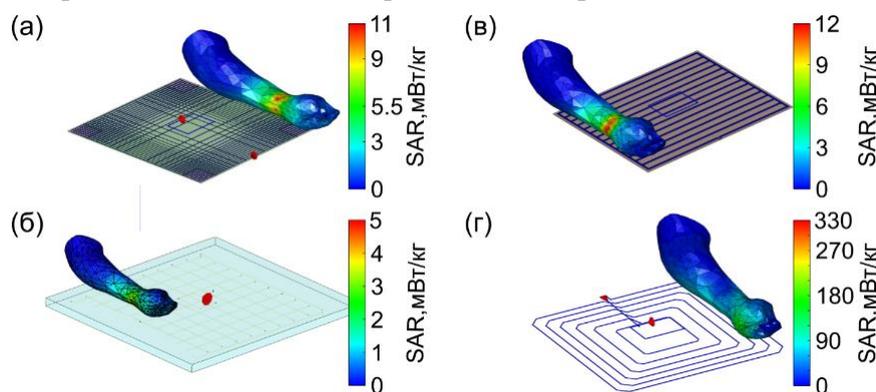


Рис. 4. Результат численной оценки SAR передатчиков систем БПЭ: предложенный в этой работе ГР (а), резонатор из перекрещенных проводов погруженных в воду (б), резонатор из проводов нагруженных на емкости (в), планарная спиральная катушка (г)

Для экспериментального исследования ГР был изготовлен прототип системы БПЭ. В качестве диэлектрических вставок были использованы пластины из высокочастотной керамики, изготовленные по заказу на предприятии ООО «Керамика». Проводники изготавливались с применением технологии производства печатных плат на подложке из фольгированного текстолита FR-4 толщиной 1 мм.

Для подтверждения результатов, полученных в ходе численного моделирования, была проведена серия экспериментов, схема которых представлена на рис. 5 (а). Входной порт ГР, через который подается возбуждающий сигнал подключался с помощью коаксиального кабеля к первому входу векторного анализатора цепей. Для измерения распределения магнитного поля над поверхностью резонатора второй порт анализатора подключался к измерительному зонду, который размещался на управляемом 3D позиционере (сканере ближнего поля), с помощью которого в автоматическом режиме проводилось его перемещение над резонатором. На рис. 5 (б) показана фотография изготовленного прототипа ГР, установленного на измерительном стенде.

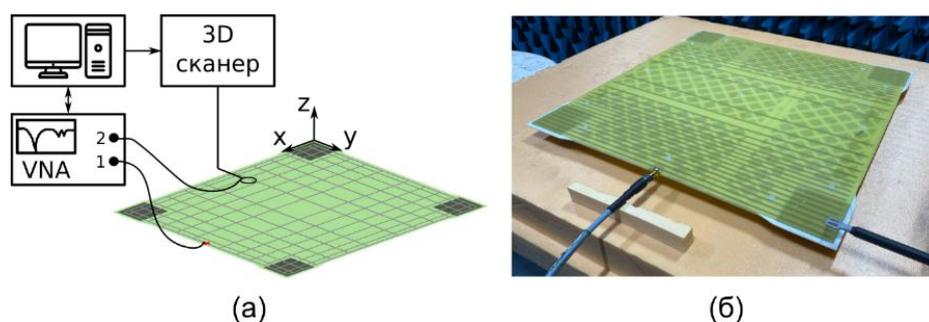


Рис. 5. Экспериментальное исследование резонатора: схема измерений (а), фотография прототипа ГР на измерительном стенде (б)

Были проведены измерения магнитного поля в двух плоскостях, результаты которых показаны на рис. 6 (а). Карты поля были нормированы к максимальному значению напряженности в плоскости. По рисунку видно, что экспериментально полученные данные, совпадают с численным расчётом, и подтверждают равномерное распределение магнитного поля над поверхностью ГР. Был произведен расчёт коэффициента вариации магнитного поля для прототипа ГР для сравнения с результатами моделирования. Экспериментально измеренный CoV составил 4 %. Таким образом, можно сделать вывод, что распределение поля предложенной конструкции резонатора, как и было предсказано в моделировании, обладает высокой однородностью, что делает его перспективным для применения в системах БПЭ «один-ко-многим».

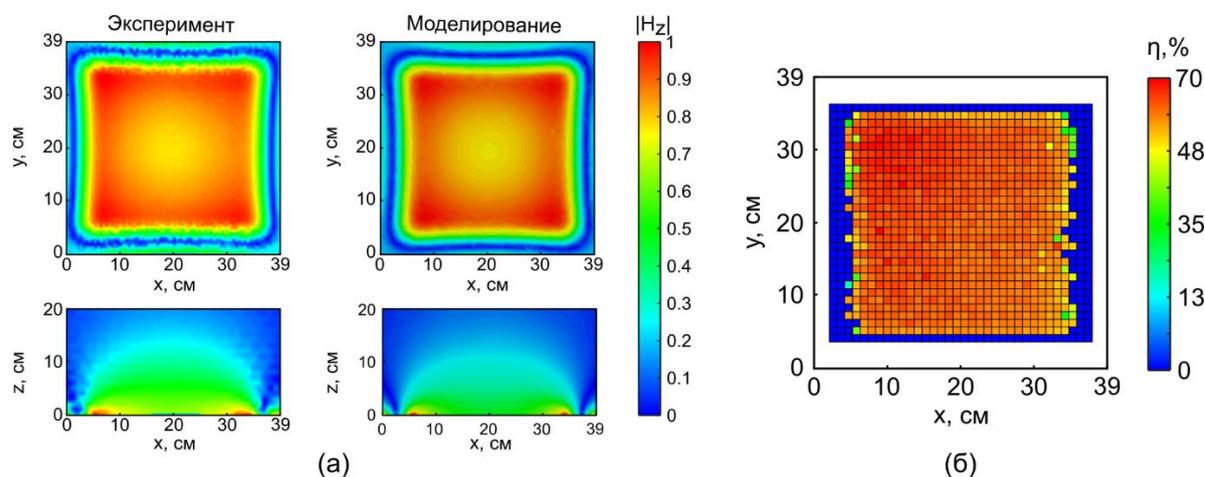


Рис. 6. Результаты измерений ГР: распределение магнитного поля в параллельной и поперечной плоскостях (а), эффективность передачи энергии (б)

Затем, было проведено измерение эффективности БПЭ, для чего магнитный зонд был заменен нерезонансной рамочной антенной размером 9×6 см. Осуществлялось сканирование с шагом 1 см в плоскости параллельной резонатору на высоте $h = 15$ мм с помощью 3D позиционера. В каждом положении приемника измерялись S-параметры системы, из которых затем производился расчёт эффективности по методу описанному в [5]. Полученная карта эффективности показана на рис. 6 (б). Максимальная эффективность БПЭ достигает 70 % во всей рабочей области резонатора.

Сравнительный анализ основных характеристик системы с ГР и известными моделями резонаторов на основе метаповерхностей, а также с классической планарной

спиральной катушкой, представлен в таблице ниже. Для корректного сопоставления характеристик, численное моделирование всех структур проводилось в максимально схожих условиях: расчет коэффициента вариации проводился в пределах рабочей области каждой из них, при этом она определялась как половина общей площади, добротность вычислялась по графику входного сопротивления по уровню -3 дБ для ненагруженного резонатора, значения эффективности были рассчитаны при одинаковой конфигурации приемников и их расстоянии до передатчика, расчет SAR производился по методике описанной ранее.

Таблица

Сравнение основных характеристик резонаторов систем БПЭ

Параметр	Тип резонатора				
	Гибридный (мод.)	Гибридный (эксп.)	Спиральная катушка	Из перекрещ. проводов	Нагр. на емкости
SAR, мВт/кг	11	–	330	12	4,6
Добротность	200	217	120	114	270
Раб. область, см	$28,2 \times 28,2$	$28,2 \times 28,2$	$28,2 \times 28,2$	21×31	35×35
Эффективность, %	–	70	77	80	70
CoV, %	6,6	4	25	23	37
Частота, МГц	27	36	27	17	19

Из таблицы видно, что предложенный в этой работе ГР обладает самой высокой однородностью поля по сравнению с другими передатчиками. Рабочая область при этом даже больше, чем у резонатора из параллельных проводов, нагруженных на емкости. Как было показано ранее, мы получаем выигрыш в SAR почти в 30 раз по сравнению со спиральной катушкой того же размера. Экспериментально измеренная эффективность равна измеренной эффективности резонатора из перекрещенных проводов, но при этом на 10 % меньше чем у резонатора [1].

Заключение

В данной работе была предложена конструкция ГР на основе метаповерхности и изучена возможность его применения в системах беспроводной передачи энергии в качестве передатчика. Были численно исследованы его характеристики и проведена оптимизация и настройка конструкции. На основании численной модели был изготовлен прототип резонатора с помощью которого экспериментально были подтверждены результаты моделирования.

Анализ собственных мод структуры показал, что в ней наблюдаются различные моды с уникальным распределением магнитного поля на каждой, при этом для задач БПЭ устойчивой к несоосному расположению приемника и передатчика, а также для систем «один-ко-многим», подходит самая низкочастотная мода, на которой наблюдается равномерное распределение магнитного поля в большой области.

Была проведена оптимизация параметров диэлектрических вставок, а также распределения проводников в каждом из слоев структуры, в ходе которой было получено однородное распределение нормальной компоненты магнитного поля над поверхностью резонатора. Коэффициент вариации напряженности поля в рабочей области резонатора размером 28×28 см (половина его общей площади), на высоте 3 см составил 4 %, что значительно меньше, чем у других резонаторов. Максимальная эффективность БПЭ к одному приемнику, полученная в ходе экспериментального исследования, достигает 70 % и не зависит от конкретного расположения приемника в пределах рабочей области.

Численная оценка радиочастотной безопасности показала, что предложенный резонатор обеспечивает в десятки раз меньший уровень $SAR = 11$ мВт/кг (при 1 Вт входной мощности) по сравнению с планарной спиральной катушкой того же размера. Однако его SAR того же порядка что ранее известные в литературе конструкции резонаторов с которыми был проведен сравнительный анализ.

Перечисленные выше параметры, а именно высокая однородность поля в большой рабочей области, высокая эффективность во всей рабочей области независимо от расположения приемника и низкий уровень SAR делают предложенную конструкцию перспективной для применения в системах БПЭ «один-ко-многим».

В качестве дальнейшей работы по разработке системы БПЭ, необходимо разработать приемные катушки, работающие на той же резонансной частоте, что и передатчик (27 МГц), провести исследование эффективности БПЭ при одновременной зарядке сразу нескольких приемников и изучить их влияние на систему, а также разработать источник питания.

Литература

1. Song M., Smirnov P., Puhtina E., и др. Multi-mode metamaterial-inspired resonator for near-field wireless power transfer // *Applied Physics Letters*. AIP Publishing LLC. 2020. Т. 117. № 8. С. 083501.
2. Markvart A., Song M., Glybovski S., и др. Metasurface for Near-Field Wireless Power Transfer with Reduced Electric Field Leakage // *IEEE Access*. 2020. Т. 8. С. 40224–40231.
3. Shchelokova A.V., Slobozhanyuk A.P., Melchakova I.V., и др. Locally Enhanced Image Quality with Tunable Hybrid Metasurfaces // *Physical Review Applied*. 2018. Т. 9. № 1. С. 014020.
4. Casanova J.J., Ning Low Z., Lin J., Tseng R. Transmitting coil achieving uniform magnetic field distribution for planar wireless power transfer system // *2009 IEEE Radio and Wireless Symposium*. 2009. С. 530–533.
5. Hunton J.K. Analysis of Microwave Measurement Techniques by Means of Signal Flow Graphs // *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1960. Т. 8. № 2. С. 206–212.

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

Дрозд Юлия Юрьевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,
институт дизайна и урбанистики

студент группы № С42021,

направление подготовки: 27.04.07 – Научоемкие технологии и экономика инноваций,

e-mail: yuliyadrozd10@gmail.com

Репкин Александр Игоревич

Год рождения: 1956

Университет ИТМО,
институт дизайна и урбанистики,

к.э.н, доцент,

e-mail: airepkin@gmail.com

УДК 332.6

**АНАЛИЗ И МЕТОДИКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО
ВАРИАНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРТОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ
НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

Ю.Ю. Дрозд

Научный руководитель – к.э.н., доцент А.И. Репкин

Аннотация

В работе рассмотрен вопрос выбора направления развития порта, обоснования целесообразности его преобразований по результатам проведенного анализа и расчета. Изученные зарубежные практики были сопоставлены с опытом России. Составлена методика анализа и рассчитаны основные показатели эффективности работы порта и экономической эффективности альтернативного проекта с целью ответить на вопрос, насколько выгоден и необходим перенос порта в Санкт-Петербурге.

Ключевые слова

Порт, портовые территории, редевелопмент, деиндустриализация, бывшие портовые территории, работа порта, анализ территории, градостроительный анализ, эффективность работы порта, альтернативный проект, экономический расчет.

Город и порт динамично развиваются. Необходимость преобразования портовых территорий возникает при появлении проблем в коммуникации между функцией порта и городскими процессами. Вопрос реновации портовых территорий требует понимания глобальных процессов и принципов взаимодействия в системе город – порт. При принятии решения о направлении развития порта важно понимать характер и степень этого взаимодействия, положительные и отрицательные факторы, влияние изменений на город и всю транспортную систему в масштабах страны и международных отношений.

Проблема заключается в конфликте между градостроительным потенциалом территории и стратегической важностью порта как части большой системы, функционирующей в интересах государства и его развития. Для принятия решения необходимо понимать роль градообразующей функции порта, какие последствия повлечет за собой выбор того или иного направления развития. Цель работы - определить способ оценки эффективности преобразования порта с опорой на численные технико-экономические показатели и анализ, чтобы ответить на вопрос о направлении развития порта. После оценки понять, насколько возможно следование в выбранном направлении на примере порта в Санкт-Петербурге. Исходя из цели работы поставлены следующие научно-исследовательские задачи: исследовать существующие зарубежные практики в

работе с портовыми территориями, сравнить их с опытом России, выделив особенности и отличия. Составив методику анализа рассчитать основные показатели эффективности работы порта и экономической эффективности альтернативного проекта использования портовой территории. Ответить на вопрос, насколько выгоден и необходим перенос порта с учетом результатов анализа в виде численных показателей, динамики их изменений, наглядно иллюстрирующей возможные преимущества, результаты и недостатки выбранного подхода к работе с портовыми территориями.

Методом кейс-стади изучено 20 примеров работы с портовыми территориями для понимания особенностей, основных составляющих процессов преобразования. В результате выявлено 3 основных направления развития порта: порт остается на прежнем месте, уменьшение площади порта, в результате сжатия территории или переезда его части и переезд всего порта. По результатам анализа зарубежных практик и определения основных этапов в разработке и реализации проектов была сформулирована обобщенная методика работы, ключевое место в которой занимает инициатива со стороны органов управления и государства с применением различных видов сотрудничества сторон, и реализацией проекта под руководством специализированной организации в рамках комплексной стратегии городского развития. Зарубежный опыт подтверждает, что принятие решения о направлении развития порта очень сложный и многосоставной процесс, уделяющий внимание экономической эффективности преобразований, учитывающий градостроительную и социально-экономическую значимость осуществляемых изменений и другие возможные последствия.

В России порт - стратегически важное звено транспортной системы. Согласно стратегии развития морской портовой инфраструктуры до 2030, политика страны в основном направлена на развитие торговой, транспортной отраслей. Финансирование осуществляется с целью увеличения грузооборота, развития международной торговли, модернизации портов [1]. Важно, то, что стратегия преимущественно учитывает количественные и экономические показатели, но не внутригородское положение порта. Проведен анализ проектов на прибрежных и бывших портовых территориях в городах России при помощи сопоставления информации из открытых источников (Генеральный план, публичная кадастровая карта, спутниковые снимки). В результате выделено 2 преобладающих типа проектов: жилой квартал и проект-событие (Олимпиада, чемпионат мира по футболу).

После сравнения существующих практик можно выделить главные отличия. В зарубежном опыте проект - инициатива правительства города или региона с поэтапной реализацией масштабного проекта, как комплексной стратегии, решающей вопросы городского значения. В России зачастую это девелоперский проект с коротким горизонтом планирования, единообразием в подходах и с целью извлечения финансовой выгоды.

Для работы с портовыми территориями в России, и применения зарубежного опыта по результатам обзора была составлена общая методика оценки портов с учётом их специфики в городах России. Цель составления методики - обозначение наибольшего числа факторов для рассмотрения при анализе. Методика позволяет придерживаться общей последовательности действий. Далее в работе возможна её корректировка при использовании на конкретной территории.

Предположим, что в качестве исходных утверждений есть две гипотезы:

1. Перенос порта в Санкт-Петербурге возможен и целесообразен.
2. Перенос порта в Санкт-Петербурге невозможен и нецелесообразен.

Перенос порта – многосоставной процесс, требующий учета многих факторов и показателей. Для этого необходимо построить систему взаимосвязей в виде методики анализа, чтобы в результате сделать вывод приводя аргументы в пользу одной из гипотез. Составленная методика, состоящая из 4 шагов отображена на рис. 1.



Рис. 1. Методика расчета и анализа

Для анализа эффективности работы порта изучены различные методики, отличие которых заключается в формулах и перечне необходимых исходных данных для расчета. Выбор используемой методики был основан на доступных данных в открытых источниках (грузооборот, количество и специализация причалов, длина причальной линии, площадь территории и складов, мощности порта, отметки дна причалов). После оценки эффективности следует поиск новой территории для размещения мощностей и расчет всех затрат на строительство нового порта и процессов, сопровождающих перенос. Следующий шаг разработка проекта альтернативного использования портовой территории с расчётом инвестиций в проект и прибыли от него. В результате сравнения показателей можно будет ответить на вопрос о направлении развития порта подтвердив одну из гипотез.

Несмотря на то, что тема переноса порта в Санкт-Петербурге не раз поднималась в профессиональном сообществе и не является новой в информационном пространстве, её обсуждение не приводило к практическим действиям и результату для города. В марте 2021 года был опубликован проект по переносу порта и направлено письмо президенту о его рассмотрении. Появление проекта, выход темы на государственный уровень подтверждает актуальность темы для Санкт-Петербурга сегодня. В данной работе изучен вопрос возможных направлений развития порта с точки зрения градостроительного потенциала территории.

Порт в Санкт-Петербурге имеет зажатое положение в городе между Финским заливом промышленными территориями районом жилой и деловой застройки, что делает затруднительным его территориальное расширение в случае развития (рис. 2). Работа порта базируется на сочетании предпринимательской деятельности и её регулирования со стороны государства. Земля порта находится в собственности города, здания и оборудование принадлежат компаниям. Причалы, навигационная обстановка в федеральной собственности. Рассмотрено 2 территории (рис. 2). Причиной для анализа Петербургского нефтяного терминала стала новость об обеспокоенности жителей экологической обстановкой в районе. Но администрация терминала инвестирует в проведение мероприятий по охране окружающей среды. И территория имеет не самое привлекательное градостроительное положение для проекта альтернативного использования. Зжатое положение порта затрудняет реализацию альтернативного проекта в его центральной части. Поэтому для альтернативного использования может быть рассмотрен первый грузовой район принадлежащий АО «Морской порт Санкт-Петербург» из-за близкого положения к центральной части города и жилым кварталам. Эта территория выбрана для применения методик расчета и анализа.

После выбора территории необходимо проанализировать существующий режим работы предприятия, а также понять, какие количественные показатели являются ключевыми для проведения анализа и принятия решения в результате. Прежде чем приступить к анализу, из открытых источников были собраны необходимые данные, чтобы иметь представление о параметрах участка и использовать их при расчете и поиске новой территории для размещения порта. К основным показателям и параметрам порта относятся грузооборот (годовой и суточный), количество причалов, длина причальной линии, длина береговой линии, площадь территории, площадь крытых и открытых складов, количество единиц оборудования, годовой грузооборот порта, вид

обслуживаемых грузов, площадь акватории, отметка дна причалов. Рассмотрим каждый из пунктов примененной методики анализа и расчета, изображенной на рис. 1.

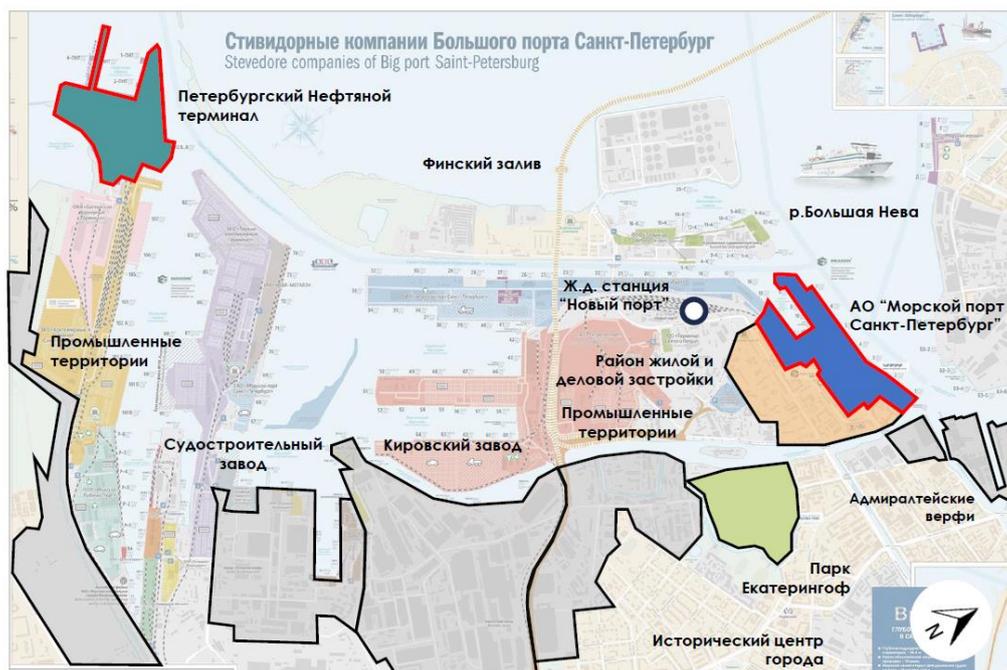


Рис. 2. Большой порт Санкт-Петербург. Анализ территории. Рассматриваемые территории

Для оценки эффективности работы порта использовано методическое пособие «План морского порта». Учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности 270104 «Гидротехническое строительство». О.А. Сабодаш [2]. После применения методики расчета определена требуемая судоемкость территории порта. 3 судна. Вместо существующих 7 причалов рассматриваемого грузового района. Результат расчета позволяет сделать вывод о том, что вероятно, порт недозагружен и переоценка эффективности его работы позволит уменьшить количество терминалов и площадь территории. Из-за обобщенного расчета по укрупненным показателям методика может занижать судоемкость порта. Поэтому для поиска новой территории за основу были приняты существующие параметры рассматриваемого участка.

Существует 2 варианта территорий для размещения переносимых мощностей. Первый порт Бронка. Результат SWOT анализа показал, что преимущество варианта в том, что порт находится в Санкт-Петербурге. Город не потеряет крупного налогоплательщика после переезда порта. Но ограниченность территории и нехватка длины причальной линии препятствуют размещению дополнительных мощностей. Второй вариант Морской торговый порт Усть-Луга изображенный на рис. 3. Участки отобраны исходя из специализации по типам грузов, и рассмотрена резервная территория, заложенная в генеральном плане порта. Главным недостатком является положение порта на территории Ленинградской области, куда и будут поступать налоги. При этом эксперты утверждают, что только 40% мощностей порта задействовано сегодня и продолжается реализация проекта для большего объема грузооборота, чем сегодня обслуживает порт. Это позволяет рассматривать Усть-Лугу, как основной вариант для переноса порта. Развитая железнодорожная инфраструктура также является преимуществом. Участок на севере порта, развитие которого заложено в генеральном плане порта и район лесного терминала «Фактор» из рассматриваемых вариантов наименее подготовлены для размещения порта.



Рис. 3. Морской торговый порт Усть-Луга. Рассматриваемые участки

Для определения суммы затрат на переезд и строительство нового порта использованы исходные данные о территории и мощностях порта и данные о стоимости необходимых работ из открытых источников. Для факторов, не обозначенных в виде стоимости, но влияющих на общий объем затрат, был проведен анализ с выводами о необходимости проведения каждого вида работ. После чего сравнив объем затрат и количество пунктов из списка необходимых к проведению работ можно сделать вывод о том, что наиболее подходящими для переноса являются варианты Усть-Луга 2 и Усть-Луга 3. Согласно экспертному мнению, строительство порта может обойтись приблизительно в 18–25 млрд рублей. Цена будет варьироваться в зависимости от подготовленности территории. Далее для сравнительного анализа была принята эта укрупненная сумма стоимости работ.

Разработка альтернативного проекта проведена в соответствии с основными этапами определения экономической эффективности реализации проекта [3]. Проведен дополнительный градостроительный анализ территории, позволивший сформировать параметры будущей застройки и основные инфраструктурные решения. Как вариант альтернативного использования рассмотрен проект многофункциональной и жилой застройки. Проведен анализ проектов в Санкт-Петербурге, для понимания цен на рынке недвижимости и проектов в Москве и Санкт-Петербурге на предмет объемно-планировочных решений кварталов. Проектом предусмотрена периметральная жилая застройка, строительство объектов социальной инфраструктуры, реконструкция и приспособление объектов охраны, организация общественных пространств и набережных, развитие улично-дорожной сети. Этажность застройки от 3 до 10 этажей. Задача создания альтернативного проекта заключается не столько в иллюстрировании возможных архитектурных решений, сколько в получении технико-экономических показателей с учетом действующих нормативов.

При анализе проекта необходимо учитывать его бюджетную эффективность в виде налогов, поступающих в бюджет и общественную (социальную-экономическую) эффективность в виде влияния проекта на обстановку в районе, развитие инфраструктуры и обеспечение работников местами проживания и работы на новом месте размещения порта. В данной работе была рассчитана коммерческая эффективность проекта. В результате расчета укрупненная сметная стоимость строительства и освоения

территории равна 74 614 062 101 руб. (Затраты / Вложения). Суммарная прибыль от проекта равна 106 617 067 120 руб. По результатам расчета можно оценить коммерческую эффективность проекта, определяющуюся на основе сопоставления притоков (Прибыль) и оттоков (Затраты / Вложения) денежных средств, связанных с реализацией градостроительных решений [3]. Разница в денежных притоках и оттоках (чистая прибыль проекта) равна 32 003 005 019 руб. При расчете прибыли от проекта учтены видовые характеристики квартир как фактор, увеличивающий их стоимость. Стоимость недвижимости также может увеличиться на 15% в случае реализации плана развития метро и появления станции Двинская. Рассчитанный срок окупаемости проекта с учетом ожидаемой инфляции составляет 4 года и 8 месяцев. В качестве рекомендаций по реализации и планирования проекта можно отметить следующие принципы: обеспечение открытого доступа к воде, организация общественных пространств, набережных, обеспечение объектами социальной инфраструктуры, сохранение идентичности территории и объектов индустриального наследия, многофункциональность и разнообразие застройки, развитие дорожно-транспортной инфраструктуры и доступность общественного транспорта. Придерживаться принципов необходимо для того, чтобы не допускать уже ставшие характерными для Санкт-Петербурга и проектов в городах России градостроительных ошибок.



Рис. 4. Общий вид проекта альтернативного использования портовой территории

Перенос порта для Санкт-Петербурга может стать шагом на пути сохранения компактности города. Альтернативный проект – это использование территориального потенциала города для уплотнения и новый опыт для города в ведении сложного проекта такого масштаба. Альтернативный проект на прибрежных портовых территориях откроет доступ к воде и Финскому заливу. Появятся новые набережные и общественные пространства у воды, как ответ на актуальную для города проблему. Проект станет новым центром притяжения, сформирует новый морской фасад и облик современного города.

В работе был проведен экономический расчет по укрупненным показателям, который требует уточнения при более подробной проработке вопроса переноса порта.

В результате, сопоставив примерный объем затрат на переезд и строительство порта, который равен 18–25 млрд. руб. и чистую прибыль от альтернативного проекта

равную 32 003 005 019 руб. можно сделать вывод что его перенос возможен с точки зрения оценки коммерческой эффективности проекта.

Переезд порта в Санкт-Петербурге имеет ряд особенностей. Порт в Санкт-Петербурге – огромное предприятие, предоставляющее рабочие места людям, что порождает масштабный социально-экономический эффект в случае переноса порта. Необходимость транспортировки рабочих или предоставления им жилой площади на новом месте расположения порта. Переезд порта сложный и многосоставной процесс, требующий большого объема инвестиций и заинтересованности в переезде портовых компаний. При переезде порта в Усть-Лугу налоги будут поступать в Ленинградскую область. Работа многих промышленных предприятий связана с работой порта и транспортируемыми через порт грузами. Необходимость выплаты компенсаций и субсидий портовым компаниям.

В том случае, если порт останется в городе, это может повлечь следующие эффекты. Поступление налогов в Санкт-Петербург, отрицательный эффект для развития города, так как порт-закрытая режимный объект в центре урбанизированной территории, риск увеличения нагрузки на транспортную инфраструктуру города, территориальная зажатость порта– препятствие для его развития, риск негативного воздействия на экологическую обстановку.

Так возможен ли и целесообразен ли перенос порта в Санкт-Петербурге? Перенос порта возможен. Наиболее вероятное направление развития порта для Санкт-Петербурга – это его частичный перенос на первых этапах в результате оценки эффективности работы терминалов. Однако, такие сложности как политический вопрос, вопрос конкуренции между портовыми предприятиями, экономический вопрос (большой объем инвестиций в проект), сложность в планировании, управлении и реализации такого многосоставного масштабного проекта могут существенно замедлить ход процесса принятия решений и реализации проекта. Скорее всего перенос порта в Санкт-Петербурге не произойдет в обозримом будущем.

Литература

1. Об утверждении Стратегии развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года: одобрена на совещании членов Морской коллегии при Правительстве РФ от 28.09.2012.
2. Сабодаш О.А. План морского порта. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности 270104 «Гидротехническое строительство». Часть 1 // Дальневосточный Государственный Технический Университет (ДВПИ им. В.В. Куйбышева). Владивосток. 2005.
3. Методический подход оценки инвестиционной привлекательности развития территории / Институт Генплана Москвы.

Зенкин Артемий Михайлович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

студент группы №К42111,

направление подготовки: 11.04.02 – Интеллектуальные

технологии в телекоммуникациях,

e-mail: zenkinartem1997@gmail.com

Капитонов Александр Александрович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

к.т.н., декан,

e-mail: kapitonov.aleksandr@itmo.ru

УДК 623.746–519

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НАЗЕМНОЙ
ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИЕЙ**

А.М. Зенкин

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Капитонов

Работа выполнена в рамках темы НИОКТР №419331 «Разработка многофункциональной автономной посадочной станции для мультикоптеров с автопилотной системой».

Аннотация

В рамках данного проекта был разработан составной канал связи для квадрокоптера, состоящий из визуальной и беспроводной составляющей. Было спроектировано приемное устройство для квадрокоптера, в котором реализовывалась связь с наземной зарядной станцией и полетным контроллером БПЛА. Также в данном устройстве располагалась камера для детектирования динамических маркеров, которые были расположены на разработанной наземной зарядной станции. Были произведены тестирования разработанной системы, которые показали, что данный метод позволяет уменьшить ошибку посадки на 61,4% по оси X и на 45,7% по оси Y по сравнению с посадкой, произведенной оператором через пульт дистанционного управления.

Ключевые слова

Наземная посадочная станция, составной канал связи, техническое зрение, динамические маркеры, квадрокоптер.

В рамках данной работы была разработана система технологической связи беспилотного летательного аппарата с наземной зарядной станцией, которая позволяет повысить точность посадки квадрокоптера.

Технологическая связь состоит из составного канала связи:

- 1) визуальный канал связи;
- 2) беспроводной канал связи.

Принцип работы системы показан на рис. 1.

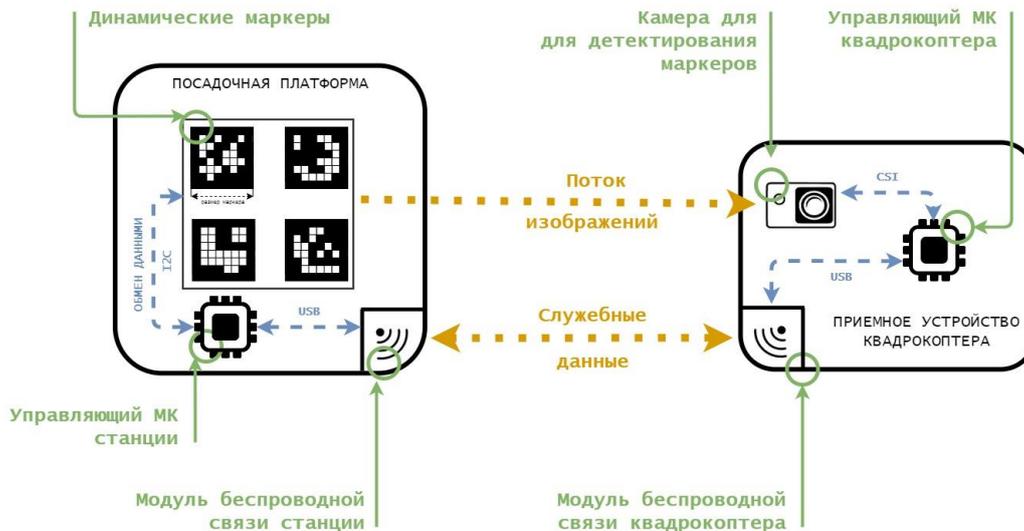


Рис. 1. Принцип работы

Данная система была разработана для квадрокоптера. До подлета к посадочной зарядной станции беспилотник ориентируется по сигналу GPS/ ГЛОНАСС. При подлете в зону посадки, включаются динамические маркеры. Далее происходит посадка по маркерам с обратной связью по беспроводному каналу. В качестве обратной связи служит высота квадрокоптера над поверхностью станции. Чем выше квадрокоптер над станцией, тем больше сам маркер [1-3], что позволяет определять метки, как на большой высоте, так и непосредственно перед посадкой. Зона посадки и иллюстрация процесса изображена на рис. 2. Данная система позволяет приземлять квадрокоптер в ясную погоду как днем, так и ночью.



Рис. 2. Процесс посадки квадрокоптера на станцию

В качестве беспроводного канала используется технология беспроводной связи WiFi. В качестве протокола сертификации устройств беспроводной связи был выбран WPA2-Enterprise. Данный протокол имеет динамическое шифрование с постоянно меняющимися ключами для каждого нового подключения, что повышает его безопасность.

В основе большого количества открытых проектов по БПЛА используется ROS и MAVLink, поэтому было решено разрабатывать систему связи с учетом того, что на управляющем компьютере квадрокоптера и наземной станции будет запущено данное программное обеспечение.

ROS (Robot Operating System) – фреймворк который предоставляет различные библиотеки и инструменты для разработки сложного программного обеспечения для робототехнических систем.

Протокол MAVLink (Micro Air Vehicle communication) — это протокол связи БПЛА на основе сообщений, разработанный Лоренцем Майером в 2009 году. Протокол MAVLink является частью текущего проекта DroneCode и используется тысячами разработчиков. Он также используется в многочисленных системах на базе автопилотов, таких как ArdupilotMega, pxIMU Autopilot и SLUGS Autopilot. Пакеты MAVLink двунаправленно передаются между БПЛА и наземной станцией управления (НСУ) в виде сообщений с заголовками. НСУ посылает команды миссии на БПЛА, а БПЛА передает информацию о состоянии, включая значение датчиков и текущее положение, на НСУ. Структура пакета MAVLink представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структура пакета данных протокола MAVLink

Где: STX – Маркер начала пакета; LEN – Длина полезной нагрузки; SEQ – Порядковый номер пакета; SYS ID – Идентификатор системы; COMP ID – Идентификатор компонента; MSG ID – Идентификатор сообщения; PAYLOAD – Данные полезной нагрузки; CHECKSUM – Контрольная сумма (младший байт, старший байт). Протокол MAVLink [4] идентифицирует данные по первому пакету информации. Если данные не являются форматом протокола MAVLink, то он их игнорирует. Также стоит отметить, что сообщения MAVLink не шифруются, для того чтобы повысить скорость и эффективность передачи, что в свою очередь уменьшает безопасность работы протокола.

Для синхронизации топиков друг с другом на квадрокоптера и наземной зарядной станции был использован пакет multimastek_fkie – предлагает набор нод для создания и управления сетью ROS с несколькими мастерами. Данный пакет отличается тем, что прост в использовании и практически не требует специальной настройки. Изменения, которые происходят на разных машинах, автоматически обнаруживаются и синхронизируются друг с другом. Принцип работы описан на рис. 4.

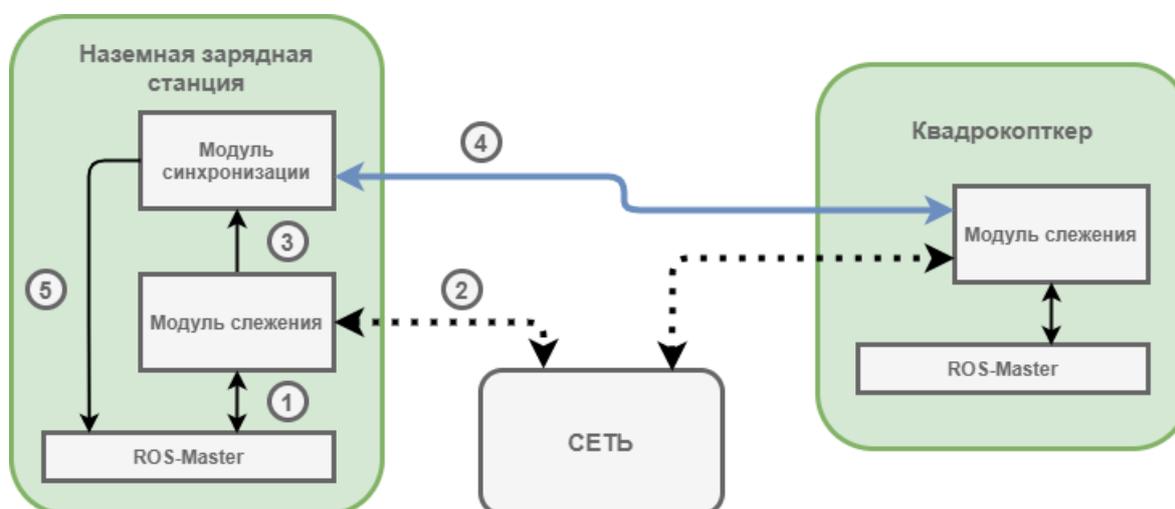


Рис. 4. Синхронизация данных станции и квадрокоптера

1. Модуль слежения станции обеспечивает отслеживание всех изменений состояния ROS на машине. Данный модуль подключается к мастеру (ROS-Master), запущенному на станции и путем запросов к данному мастеру получает изменение системы.

2. После того, как модуль слежения станции получил информацию о состоянии ROS на своей машине, он отправляет данные в сеть в другие подключенные модули слежения, а также получает от них информацию о состоянии других машин. В данном случае, другой машиной является квадрокоптер. Таким образом модуль слежения станции хранит информацию о состоянии своей машины и о состоянии машины квадрокоптера.

3. Далее, полученные изменения удаленного ROS-Мастера квадрокоптера, публикуются в модуль синхронизации станции.

4. Модуль синхронизации станции подключается к обнаруженным модулям слежения, в данном случае, это модуль слежения квадрокоптера.

5. Модуль синхронизации получает повторно состояние модулей слежения на других машинах, в данном случае на квадрокоптере и производит регистрацию уже на собственной машине, в данном случае станции.

Таким образом какие бы изменения не произошли на стороне квадрокоптера, они будут зафиксированы на машине станции, где с ними продолжит работу уже другой модуль системы. Также стоит отметить, что такой подход позволяет работать сразу с несколькими квадрокоптерами, где позволяет масштабировать систему в будущем.

Было разработано программное обеспечение для реализации описанного выше функционала. В качестве языка программирования был выбран Python.

Для полноценного маркера дисплея были скомпонованы по два модуля и расположены в соответствие с размером верхней панели станции и ограничений центрирующей системы, а также механизма зарядки. В качестве управляющего контроллера был использовать микрокомпьютер Raspberry Pi Model 3 В совместно с драйвером светодиодных матриц. Модель реализованного дисплея показана на рис. 5 а.



Рис. 5. Внешний вид а) станции с экраном и б) схемы экспериментальной установки

Далее был разработан опытный образец подвешенного устройства. Основным требованием, предъявляемым к боксу, являлась компактность, поэтому целью было разработать корпус, по длине и ширине близкий к наиболее габаритной детали – платы Raspberry Pi 4. На рис. 6 представлен вид опытного образца.



Рис. 6. Внешний вид опытного образца приемного устройства квадрокоптера

Схема экспериментальной установки, на которой происходило тестирование системы показано на рис. 7. Данная установка состоит из наземной посадочной зарядной станции, которая находилась в открытом состоянии и квадрокоптера, к которому было подключено подвесное устройство. К станции было подведено напряжение 220 В. Внешний вид экспериментальной установки показан на рис. 5б.

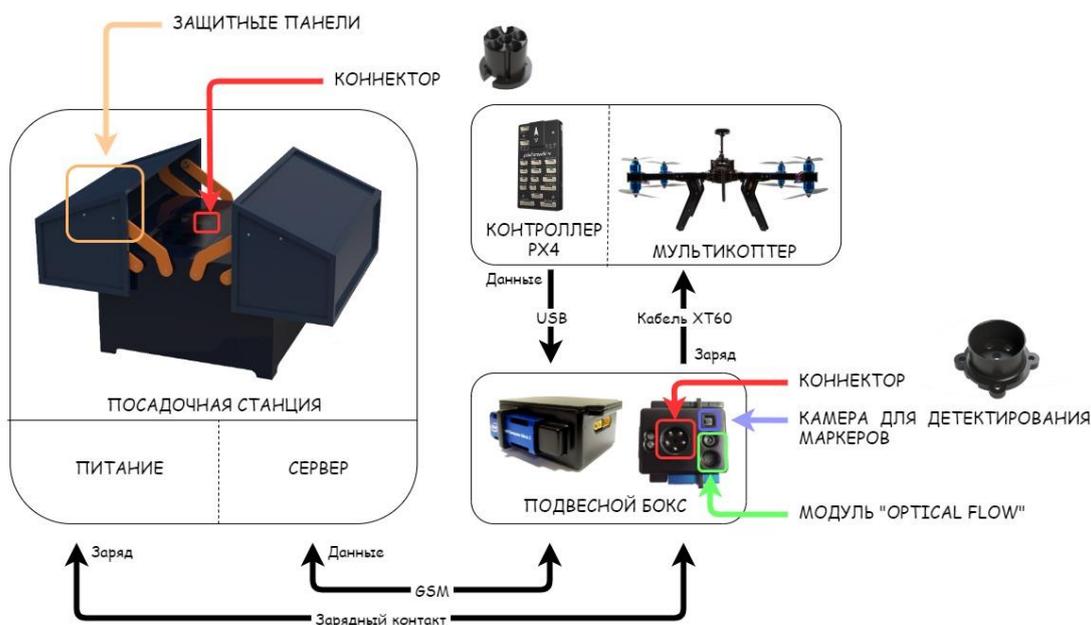


Рис. 7. Схема экспериментальной установки

В рамках эксперимента тестировалась точность посадки квадрокоптера на платформу. Вначале посадка производилась посредством управления БПЛА через пульт ДУ непосредственно оператором. После каждой посадки измерялось отклонение центра квадрокоптера от центра посадочной платформы и заносилось в таблицу 2. Измерения проводятся при помощи рулетки UGO LOKS и угольника UGO LOKS. Характеристики приборов, используемых для испытания приведены в Приложении В. Во второй части испытаний квадрокоптер садился с использованием разработанной системы технологической связи. После каждой посадки измерялось отклонение центра квадрокоптера от центра посадочной платформы и заносилось в табл. 1. ΔX – это ошибка по оси X станции, ΔY – ошибка по оси Y станции. Было произведено 10 экспериментов.

Таблица 1

Результаты экспериментов

№ эксперимента	Пульт ДУ		Разработанная система	
	$ \Delta X $, мм	$ \Delta Y $, мм	$ \Delta X $, мм	$ \Delta Y $, мм
1	168,7	254,5	70,5	61,2
2	206,1	172,8	55,1	65,1
3	136,8	79,1	96,9	38,6
4	158,3	62,5	61,1	134,3
5	291,9	160,2	120,4	136,3
6	150,7	255,9	24,5	118,3
7	167,8	34,3	25,4	58,3
8	256,4	128,3	44,3	51,4
9	180,2	327,7	58	162,9
10	78,5	272,5	135,7	121,7

Вычислим среднюю ошибку по оси X и Y с использованием пульта ДУ и разработанной системы. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения отклонений

Пульт ДУ		Разработанная система	
Х _{ср} , мм	Y _{ср} , мм	Y _{ср} , мм	Х _{ср} , мм
179,54	174,78	69,19	94,81

Из табл. 2 можно сделать вывод, что ошибка уменьшилась на 61,4% по оси X и на 45,7% по оси Y.

Литература

1. Song Z., Chung R. Use of LCD panel for calibrating structured-light-based range sensing system //IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2008. Т. 57. №. 11. С. 2623-2630.
2. Zongqian Z. Camera calibration based on liquid crystal display (lcd) //The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Т. 37. №. 1.
3. Ha H. et al. Accurate camera calibration robust to defocus using a smartphone //Proceedings of the IEEE International conference on computer vision. 2015. С. 828-836.
4. MAVLink protocol. URL: <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start> (дата обращения 23.01.2021).

Колесников Михаил Владимирович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R3475,

направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника,

e-mail: kmv@itmo.ru

Афанасьев Максим Яковлевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет систем Управления и робототехники,

к.т.н.,

e-mail: myafanasyev@itmo.ru

УДК 004.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДИНАМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ДНЯ**

М.В. Колесников

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

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

Аннотация

В работе проведено исследование принципов повышения эффективности труда в коллаборативных системах с использованием современных технологий и описана авторская концепция социо-киберфизической системы Smart Ergonomics. Суть технологии заключается в осуществлении мониторинга состояния сотрудника и гибкой оптимизации рабочего плана и эргономики рабочего места в реальном времени. Технология позволяет осуществлять профилактику травм на производстве, снизить уровень стресса, увеличить продуктивность и благополучие сотрудников. В работе представлено описание предложенной авторской концепции, представлено описание разработанного прототипа и обоснование выбора использованных компонентов, а также описан план внедрения технологии на предприятия индустриальных партнеров.

Ключевые слова

Социо-киберфизические системы, окружающий интеллект, промышленный интернет вещей, коллаборативные производственные системы, цифровой двойник сотрудника, оптимизация труда, информационные системы, технологии программирования.

Проблемой актуальных подходов к интеграции человека на предприятии является отсутствие гибкости при планировании расписания задач, вызванное низким уровнем понимания состояния сотрудника. Даже на современных предприятиях деятельность сотрудников регулируется статичными и не индивидуальными принципами управления персоналом, организации и эргономики рабочего места [1].

Таким образом, встает задача разработки инновационной системы, способной обеспечивать качественную интеграцию сотрудника на предприятии, комфортный рабочий план и условия труда, которые позволяют повысить продуктивность, провести профилактику травм, снизить влияние человеческого фактора на вероятность

возникновения производственного брака, а также уровень стресса в долгосрочной перспективе.

Научная новизна разработки заключается в том, что представленный подход и концепция социо-киберфизической системы позволяют формировать практики гибкого взаимодействия человека с автоматизированными производственными системами, что ранее не было представлено в методах организации труда человека. Это достигается благодаря возможности сбора информации о физическом и психологическом состоянии сотрудника, последующему перераспределению задач и изменению эргономики рабочего места сотрудника в реальном времени. Представленная концепция является авторской и представляет собой уникальный опыт совмещения релевантных технологий индустрии 4.0 и практик организации труда человека на современных предприятиях.

Первым этапом в работе был проведен аналитический разбор допустимых сфер применения представленной системы и ключевые критерии выбора ниши для реализации прототипа системы повышения эффективности труда. Наиболее перспективными направлениями внедрения системы являются: инженер и программист, сотрудник коллаборативной линии сборки, оператор или наблюдатель удаленного исполнительного агента.

Далее был осуществлен анализ существующих исследований и разработок систем, оценивающих или воздействующих на эффективность труда человека. В настоящее время не было найдено работ, рассматривающих изменение рабочего плана и эргономики рабочего места сотрудника в реальном времени в зависимости от физического и психологического состояния. Тем не менее, существует немало работ, посвященных принципам оценки состояния сотрудника и методам изменения эргономики окружения в различном контексте. Исходя из проанализированных работ стоит сделать вывод о том, что основными источниками информации о работе сотрудника могут стать элементы управления оператора (клавиатура и мышь), носимые устройства (сердечный ритм, дыхание, температура, мозговая активность), а также результативность в рамках выполнения задач (анализ действий в рабочем ПО или время выполнения технологической операции) [2].

Существует большое количество исследований, посвященных изучению способов оказать эффект на эргономику рабочего места посредством прямого или непрямого воздействия на рабочее место и сотрудника. Предлагается использование средств, воздействующих на температуру воздуха, изменение цвета и интенсивности освещения, подачу различных запахов, массажирование, проведение мероприятий для отдыха или стимуляции и др.

Работа предлагаемой системы включает в себя 4 шага, зацикленных с целью достижения наиболее точного результата в процессе самообучения (рис. 1):

- сбор данных с использованием источников информации;
- обработка данных и формирование индивидуальных сценариев;
- проактивное изменение окружающих условий;
- анализ результатов воздействия и самокорректировка.

В рамках работы был подготовлен имитационный производственный сценарий, включающий в себя использование демонстрационного стенда промышленного оборудования FESTO EnAS (рис. 2), организацию рабочего места сотрудника коллаборативной производственной системы и элементы системы “SEMS”.

Данный сценарий предполагает сборку и тестирование продукции со встроенным чипом RFID. На демонстрационном стенде Festo EnAS над заготовками циклически производятся имитационные производственные операции. При поступлении соответствующей команды заготовки доставляются сотруднику на рабочее место. Для выполнения данных действий подготовлено отдельное рабочее место, оборудованное рабочей областью для работы с заготовкой, а также компьютером для отслеживания

текущей очереди задач и считывания или записи данных с RFID-чипа. В целях упрощения представления имитационного производственного сценария, два предлагаемых типа операций различает цвет используемых заготовок.

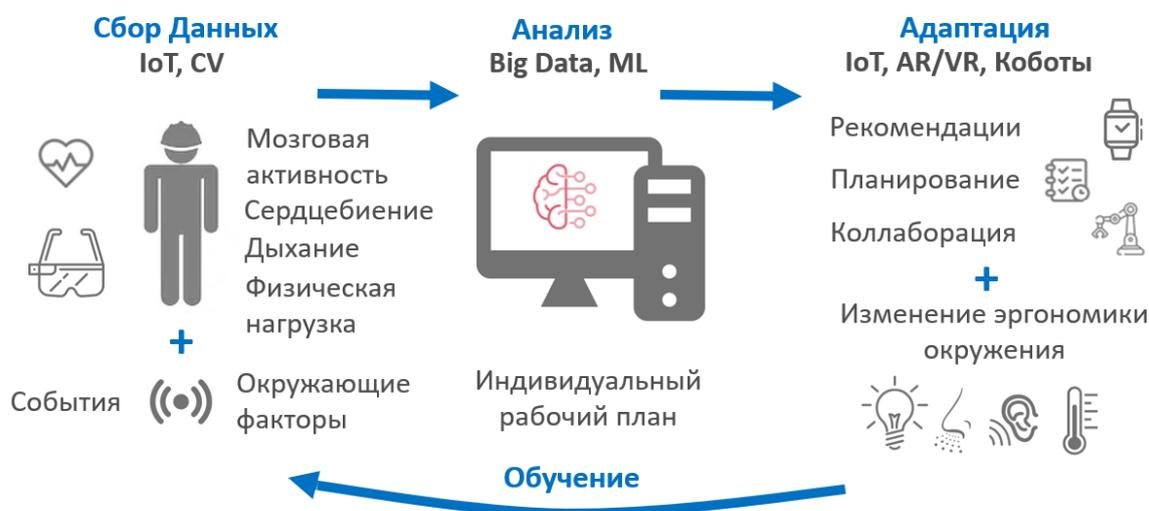


Рис. 1. Общий алгоритм работы системы “SEMS”

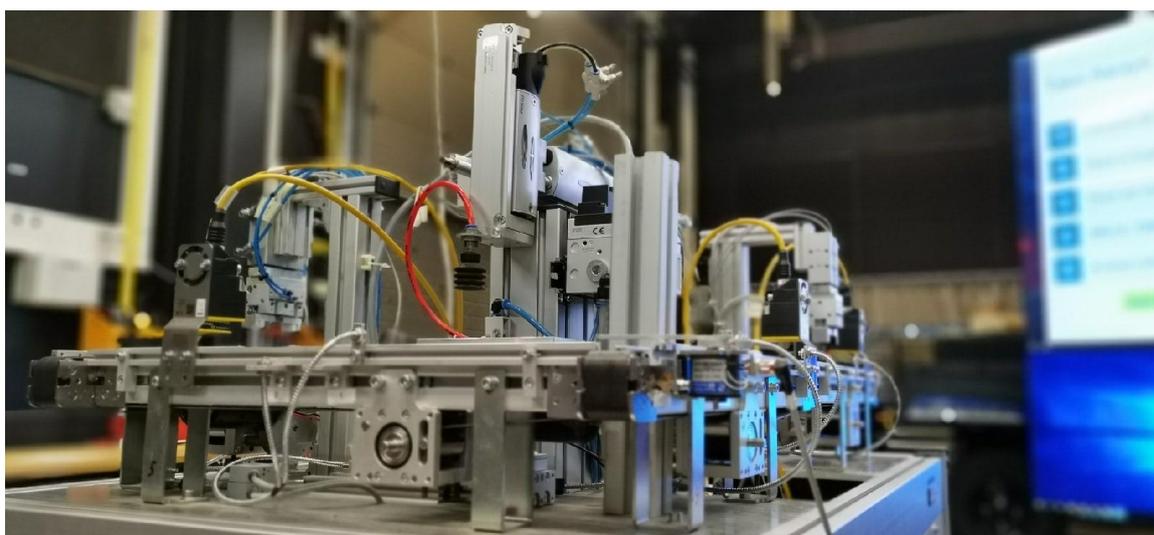


Рис. 2. Фотография лабораторного стенда автоматизированной линии сборки Festo EnAS

Пока сотрудник выполняет задачи, система измеряет частоту сердечных сокращений сотрудника в режиме реального времени, а также время, затрачиваемое на выполнение задач. По результатам обработки полученных значений система классифицирует состояние сотрудника как оптимальное, расслабленное или стрессовое. Это состояние передается модулю принятия решений “SEMS”, который отвечает за оптимизацию очереди задач. В данном прототипе задание типа №1 предполагает обработку зеленой заготовки и считается менее ответственным. Таким образом, данное задание предлагается выполнять в оптимальном и расслабленном состояниях. Задание типа № 2 отвечает за обработку красных заготовок и разрешается выполнять как в оптимальном, так и в стрессовом состоянии сотрудника. Так, в оптимальном состоянии выполняется обработка всех видов заготовок, в состоянии стресса – только красные, а в расслабленном состоянии – только зеленые.

Таким образом, во время работы система считывает значения с носимых датчиков, классифицирует текущее состояние сотрудника и отправляет команды на EnAS для изменения порядка выполняемых операций. Текущий статус станда EnAS отслеживается системой принятия решений с целью получения обратной связи.

Структурная схема прототипа системы состоит из элементов трех основных типов: существующие элементы КФС (кибер-физических систем), рабочее место сотрудника коллаборативной производственной системы, элементы “SEMS” (рис. 3). Среди элементов “SEMS” стоит выделить: носимые и стационарные датчики, адаптеры для получения и первичной обработки данных с датчиков, а также модуль принятия решений.

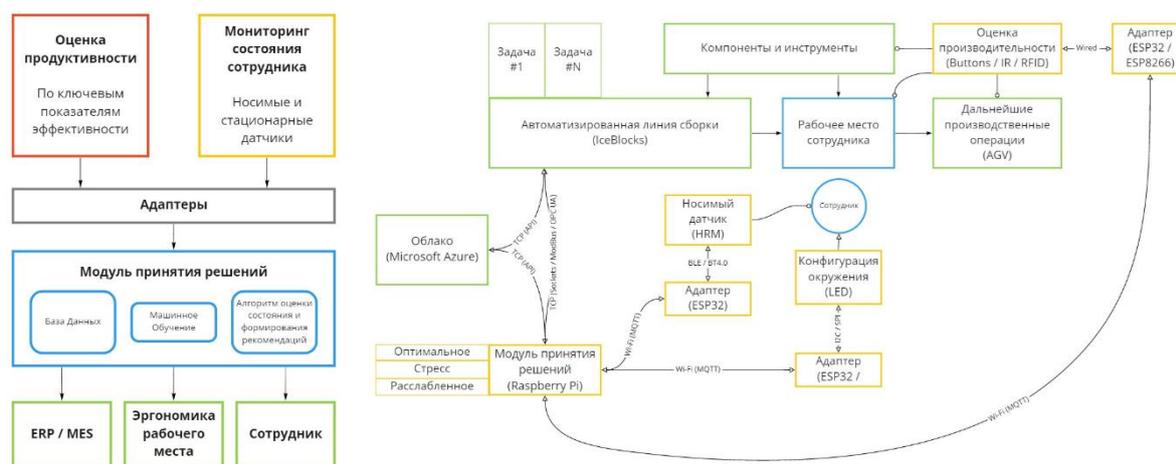


Рис. 3. Структурно-функциональная диаграмма прототипа системы

Для контроля сердечного ритма используется датчик CooSpro H6. Выбранный датчик представляет собой нагрудный датчик, измеряющий электрическую активность сердца. Этот датчик был выбран из-за его доступности, простоты настройки и высокой точности измерений по сравнению с оптическими браслетными датчиками. Датчик представляет собой устройство с низким энергопотреблением Bluetooth и передает значение частоты пульса через характеристику Generic Attribute Profile (GATT) Bluetooth Low Energy (BLE). Адрес характеристики или так называемый ”UUID” для значения частоты пульса: “2a37-0000-1000-8000-00805f9b34fb”. Эта характеристика может быть прочитана внешним устройством, поддерживающим BLE.

Для считывания значений с датчика HRM (heart rate monitoring) использовался микроконтроллер ESP32 Pico Kit на базе микросхемы ESP32. ESP32 имеет несколько интерфейсов, включая Bluetooth 4.0, BLE и Wi-Fi. Микроконтроллер устанавливает связь с нагрудным ремнем с помощью BLE (через процесс “бондинга”) и подписывается на считывание характеристики, получая доступ к обновлениям значения частоты пульса (через функцию “Notification”). Таким образом, микроконтроллер подключается к сети Wi-Fi и подключается к MQTT-брокеру (Message Queuing Telemetry Transport) для последующей отправки данных, собранных датчиком частоты сердечных сокращений.

Роль брокера MQTT выполняет одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi с операционной системой Raspberry Pi OS (ОС на базе Debian). Эта платформа используется и поддерживается широким сообществом, считается компактной, дешевой и простой в развертывании по сравнению с другими платформами, такими как настольный компьютер, Nvidia Jetson Nano или Orange Pi. Чтобы выполнить сбор данных из ESP32 и их хранение в базе данных, на Raspberry Pi работает скрипт Python. Этот сценарий сначала устанавливает соединение Wi-Fi и подключается к локальному

брокеру MQTT, после чего он подписывается на тему, в которой ESP32 публикует данные с датчика HRM. Полученные данные преобразуются в формат файла JavaScript Object Notation (JSON) с добавлением отметки времени, а затем публикуются в нереляционной базе данных MongoDB, которая также работает на Raspberry Pi. База данных MongoDB хранит все входящие данные от датчика HRM с отметками времени, назначенными для дальнейшей работы алгоритма принятия решений.

Система принятия решений реализована в отдельном скрипте Python, который работает параллельно. Этот скрипт анализирует данные из базы данных за последнюю минуту и принимает решение о текущем состоянии сотрудника. Текущая версия алгоритма реализует только три состояния, описанных ранее. В зависимости от текущего среднего значения частоты сердцебиения сотрудника осуществляется оценка состояния. Если частота сердцебиения сотрудника менее 70 ударов в минуту (уд./мин.), то состояние сотрудника считается расслабленным. Если частота сердцебиения составляет от 70 до 90 уд./мин., то состояние считается оптимальным. При частоте сердцебиения выше 90 уд./мин. состояние сотрудника считается стрессовым. В зависимости от состояния формируются команды, определяющие, какие задачи могут выполняться на стенде EnAS. Команды отправляются с Raspberry Pi на микроконтроллер IceBlock с использованием сокетов по протоколу TCP / IP.

Контроллер IceBlock является частью демонстрационного стенда EnAS, на котором выполняется программа программируемого логического контроллера (ПЛК), разработанная в pxtStudio. Это решение состоит из функциональных блоков, которые обрабатывают входящие команды, поддерживают выходы контроллера для передачи команд другим IceBlock, используемым в EnAS.

Были разработаны программные компоненты в среде разработки NXT Studio для подключения прототипа системы к демонстрационному стенду и осуществления планирования задач согласно стандарту IEC 61499 [3]. На рис. 4 показаны три отдельно реализованных производственных сценария для каждого рабочего состояния и четвертый функциональный блок, который обрабатывает процесс перехода из одного состояния в другое. Всякий раз, когда состояние исполнителя изменяется, контроллер покидает выполняемый в данный момент производственный сценарий и переходит к конечному автомату “StateTransition”. Это гарантирует, что в один момент времени будет выполняться только один сценарий. Интерфейсы функциональных блоков, реализующие все три рабочих состояния, идентичны.

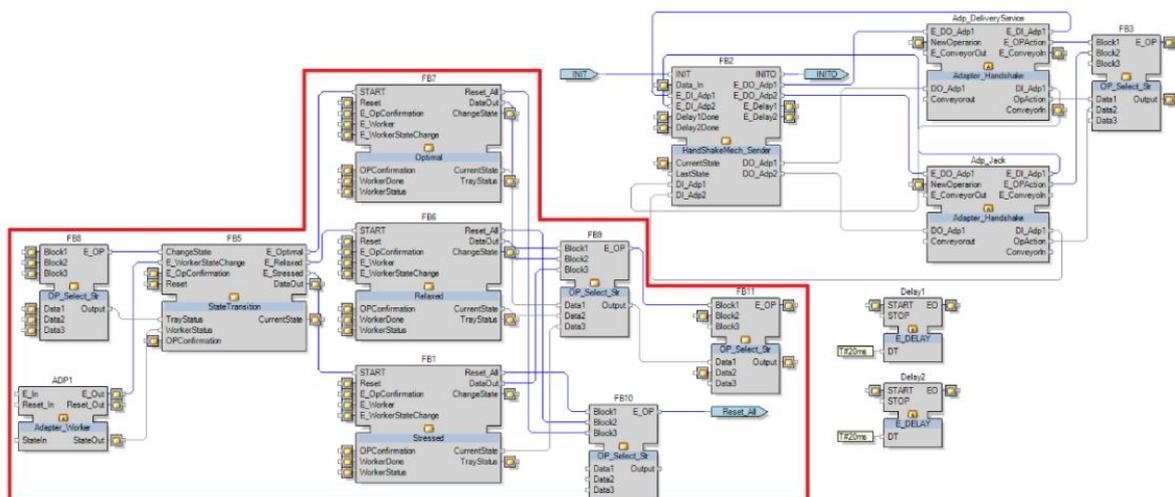


Рис. 4. Контроллер производственного сценария в NXT Studio

Таким образом, полученный производственный сценарий обрабатывал на демонстрационном стенде заготовки зеленого и красного цвета в случае, если сотрудник находится в состоянии “Оптимальное”, заготовки только красного цвета при состоянии “Стресс” и заготовки только зеленого цвета при состоянии “Расслаблен”.

Следующим этапом работы стало проектирование плана дальнейшей разработки и внедрения решения на предприятиях индустриальных партнеров. Для реализации проекта на территории Европейского Союза может быть выбран ряд фондов, финансирующих повышение технологической оснащенности современных предприятий в контексте бережливого производства. В списке доступных Европейских фондов и грантов: Horizon Europe, EIT Manufacturing, Below Zero, Business Finland. Среди возможностей грантового финансирования на территории Российской Федерации стоит выделить фонды и гранты: РФФИ, РНФ, грант КНВШ, программа Старт фонда содействия инновациям. Для последующей разработки и реализации проекта был выбран акроним “HuManu”, а то есть “Human in Manufacturing”. Проект “HuManu” направлен на разработку, внедрение и демонстрацию программно-аппаратной системы для оценки и оптимизации ориентированных на человека производственных рабочих пространств и рабочих процессов и, следовательно, выведение на рынок инновационной системы, которая будет способствовать развитию социально ответственных практик улучшения общего благополучия и продуктивности сотрудников.

Структура рабочего плана по интеграции проекта у индустриального партнера включает в себя 6 групп рабочих задач: Формирование требований, спецификации и инструментов; Проектирование решения; Внедрение решения; Валидация и отладка; Вывод на рынок; Коммуникация и распространение.

Ожидаемые цены для различных уровней сервиса указаны в следующем списке: Tier0 = 7k EUR, Tier1 = 17k EUR, Tier2 = 67k EUR, Tier3 = 189k EUR. Каждый уровень обслуживания предоставляется для гибкого количества рабочих пространств и периодов, в зависимости от потребностей конечного пользователя. Ожидается, что на европейском рынке безопасности труда в течение прогнозируемого периода (2020-2026 гг.) Будет наблюдаться рост рынка в размере 9,7% CAGR [4]. В свою очередь, европейский рынок Индустрии 4.0, согласно прогнозам, будет расти со среднегодовым темпом роста 16,4% в период 2021-2028 годов, а выход на мировой рынок Индустрии 4.0 был оценен в 101,69 млрд долларов США в 2020 году и, по прогнозам, достигнет более 100 млрд евро в 2028 году. Основываясь на этих двух отчетах об анализе рынка, ожидается, что рынок для решения “HuManu” имеет высокий потенциал, тем не менее, на данном этапе развития проекта сложно дать точную оценку TAM. Основываясь на этом прогнозе, “HuManu” рассматривает SOM, который составляет 10% SAM (то есть 25 компаний), который, согласно прогнозу доходов “HuManu”, будет достигнут через 5 лет после завершения этого масштабного проекта.

В результате выполнения данной работы был проведен анализ существующих средств оценки физического и психологического состояния сотрудников, проведен обзор возможностей улучшения рабочего плана и эргономики рабочего места в коллаборативных производственных системах, предложена концепция социо-киберфизической системы, способной формировать рекомендации для ERP и MES систем на основе данных о состоянии сотрудника в реальном времени, разработан прототип системы с использованием одиночного носимого датчика, произведена интеграция прототипа с демонстрационным стендом автоматизированной линии сборки, подробно описан процесс получения финансирования для дальнейшей разработки, а также описание процесса коммерциализации результатов научно-технической работы, разобран потенциальный социально-экономический эффект от внедрения проекта в смежных и других областях человеческой деятельности.

Литература

1. Halkos G. and Bousinakis D. "The effect of stress and satisfaction on productivity," International Journal of Productivity and Performance Management. 2010.
2. Carneiro D., Novais P., Augusto J.C. and Payne N. "New Methods for Stress Assessment and Monitoring at the Workplace" in IEEE Transactions on Affective Computing. 2019. Т. 10. № 2. С. 237-254.
3. Vyatkin V. "IEC 61499 as enabler of distributed and intelligent automation: State-of-the-art review" IEEE transactions on Industrial Informatics. Т. 7. №3. С. 768-781.
4. Europe Workplace Safety Market By Component, By System, By Deployment Type, By Application, By End User, By Country, Industry Analysis and Forecast. 2020-2026, Report. February 2021.

Кравченко Денис Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W42053,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная

техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: dvkravchenko@itmo.ru

Баранов Александр Юрьевич

Год рождения: 1956

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

д.т.н. профессор,

e-mail: abaranov@itmo.ru

УДК 621.6.053

ПОДВОДНОЕ ХРАНИЛИЩЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Д.В. Кравченко

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

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №620151 «Выбор и обоснование технологии изменения теплофизических параметров сжиженного природного газа для сокращения потерь от испарения при его накоплении, хранении и транспортировании».

Аннотация

В работе рассмотрены параметры теплоизоляции для подводного хранения криогенных жидкостей. Предложена модель подводного хранилища сжиженного природного газа. Построены физическая и математическая модели подводного хранилища СПГ. Произведен численный эксперимент, направленный на определение времени безопасного бездренажного хранения СПГ.

Ключевые слова

Сжиженный природный газ, СПГ, хранение, подводное хранилище СПГ, бездренажное хранение.

Развитие отрасли по производству сжиженного природного газа (СПГ) в России продвигается большими темпами. На данный момент утверждена долгосрочная программа развития производства СПГ. Благодаря ей будут созданы новые возможности для газификации всей страны и в том числе ее отдаленных регионов. Данные действия правительства РФ благоприятно сказываются на развитии СПГ. В данный момент в мире отсутствуют действующие подводные хранилища СПГ, но ведутся разработки в данной области, например, российские инженеры предложили построить первый в мире подводный танкер-газовоз. Проект Санкт-Петербургского бюро «Малахит» носит рабочее название «Пилигрим» и предназначен для российской Арктики. В случае его осуществления в мире появится новый тип судов с уникальными характеристиками, предназначенный для перевозки сжиженного природного газа (СПГ).

Исходя из этого, в данной работе предложен вариант подводного хранилища СПГ (рис. 1) объемом 45000 м³. Форма хранилища выбрана в виде сферы ввиду оптимальных прочностных и геометрических характеристик (табл. 1).

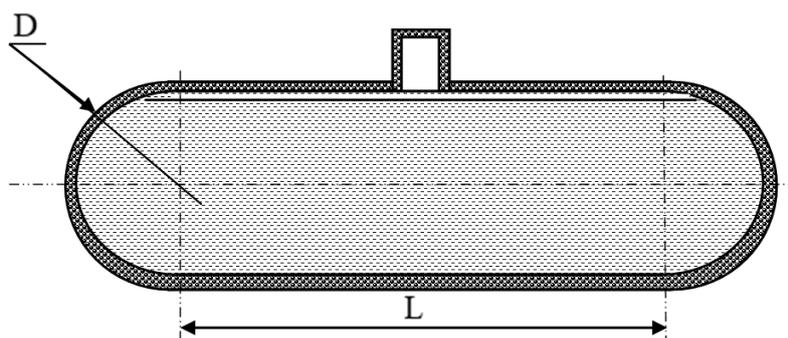


Рис. 1. Модель цилиндрического подводного хранилища СПГ

Таблица 1

Характеристики цилиндрического хранилища

Объем V , м ³	45000
Высота (диаметр), м	20
Длина, м	150
Вид изоляции	Пеностекло
Масса СПГ, т	14000
Давление p , МПа	0,4
Материал внешнего корпуса	Железобетон
Материал внутренней стенки	Сталь 12X18H10T

Рассматриваемое в работе хранилище будет работать под внешним и внутренним давлением. Для создания прочного корпуса используют цилиндрическую форму, со сферическими оконечностями, напоминающую цистерну или баллон для сжатых газов, упрощенная модель цилиндрического хранилища, представлена на рис. 2.

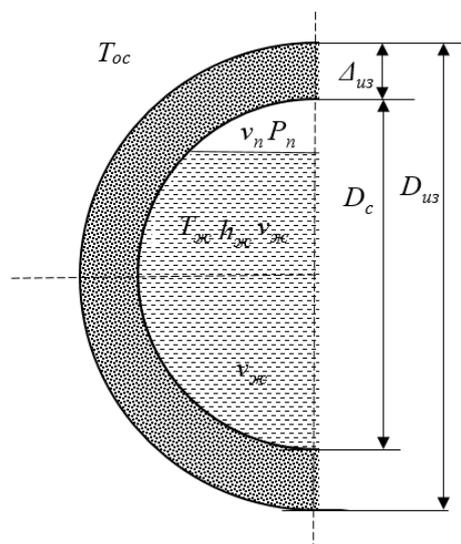


Рис. 2. Упрощенная модель цилиндрического хранилища

Перенос теплоты происходит через цилиндрическую часть хранилища [3], которая ограничена толщиной теплоизоляционного слоя. Изнутри изоляционный слой разделен с криопродуктом внутренней стенкой сосуда. Она имеет достаточную толщину и температуропроводность, чтобы выполнять функцию экрана формируя изотермическую границу теплового ограждения.

В резервуаре рассматривается бездренажное хранение СПГ. При заполнении хранилища часть пространства остается свободной для накопления паров. Определение объема этого пространства является одной из задач исследования. Процессы, происходящие в хранилище, описываются одномерной моделью. Все теплопритоки относятся к единице внутреннего объема резервуара. В данной физической модели рассчитываются удельные параметры накопительного хранилища.

Объем парового пространства относительно времени является функцией от времени, количества жидкости и ее плотности [1]. Так как жидкость является несжимаемой, то вследствие изменения ее плотности при увеличении температуры, происходит повышение объема жидкости и уменьшение парового пространства. Зависимость представлена следующим выражением:

$$v_{п} = f(\tau, g_{ж}, \rho_{ж}).$$

Анализируя данные свойств сжиженного природного газа на линии кипения и конденсации [2], можно сделать вывод, что уменьшение плотности жидкой фракции способствует увеличению давления. Это приводит к повышению температуры кипения СПГ. Исходя из вышеперечисленных физических процессов, можно увидеть зависимость между изменениями параметров состояния замкнутого пространства и ростом давления. Критическое превышение допустимого давления может привести к аварийной ситуации. Для определения времени безопасного бездренажного хранения СПГ была разработана математическая модель. Принимаемая толщина изоляции имеет значение от 1 м до 2 м и изменяется с шагом 0,25 м. Во всех рассмотренных вариантах принято 70% заполнение хранилища. В ходе ее решения получены следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные

Обозначение	Варианты толщины изоляции				
	0,7x1,0	0,7x1,25	0,7x1,5	0,7x1,75	0,7x2,0
Удельный объём жидкости	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Удельная масса жидкости, кг/м ³	295,12	295,12	295,12	295,12	295,12
Масса криопродукта в хранилище, т	20250	20250	20250	20250	20250
Толщина изоляции, м	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0

В математической модели в каждый момент времени идет вычисление таких величин как: давление паров, удельные объёмы жидкости и пара, масса жидкости и пара, теплопритоки из окружающей среды и распределение температур и энтальпий по все толщине конструкции хранилища, включая теплоизоляцию.

На рис. 3 представлен график зависимости давления паров жидкости внутри резервуара от времени хранения.

Анализируя данные табл. 3 видно, что при суточном хранении СПГ, наименьшие показатели потери жидкости и давления паров принадлежат варианту с наибольшей толщиной изоляционного слоя. Из этого можно сделать вывод о том, что наибольшее время бездренажного хранения может обеспечить хранилище с наибольшей толщиной изоляции.

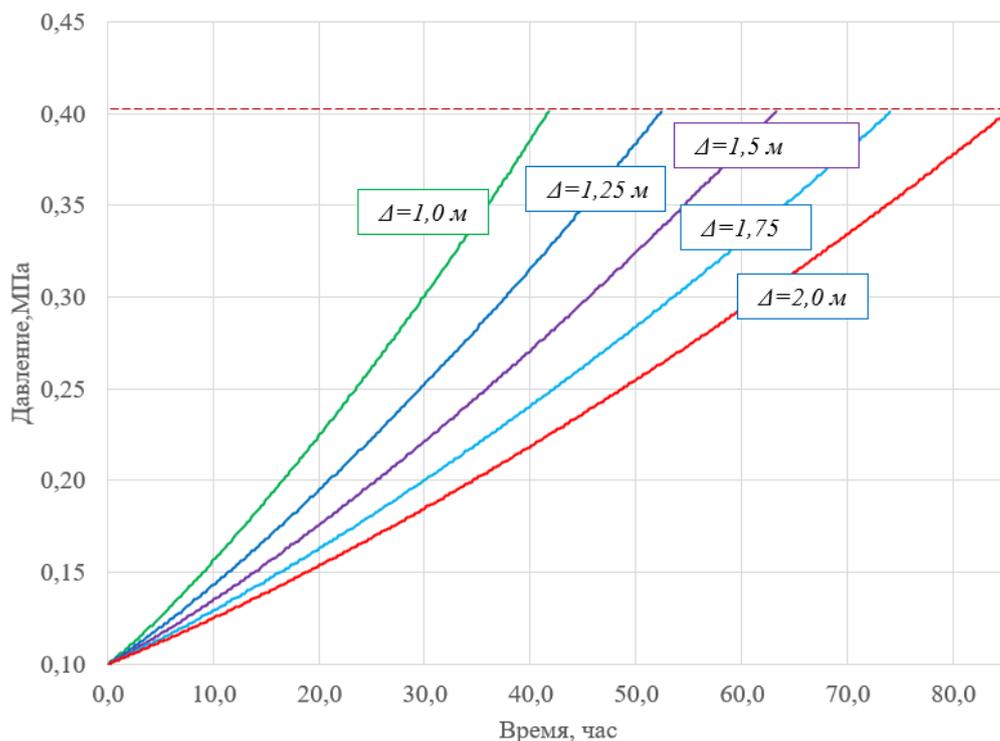


Рис. 3. График зависимости давления паров СПГ от времени хранения в подводном хранилище с различными значениями толщины изоляции

Таблица 3

Результаты моделирования суточного хранения СПГ при различных параметрах изоляции

Обозначение	Варианты толщины изоляции				
	1,0 м	1,25 м	1,5 м	1,75 м	2,0 м
Время исследования, час	24	24	24	24	24
Максимальное давление, МПа	0,254	0,22	0,194	0,178	0,166
Масса СПГ в хранилище, т	13280,4	13280,4	13280,4	13280,4	13280,4
Остаток СПГ в хранилище, т	13253	13258,8	13262,9	13266	13267,8
Потери жидкости, т	27,4	21,6	17,5	14,4	12,6

Рост давления в резервуаре является неблагоприятным последствием хранения СПГ. Одной из причин роста давления в резервуаре является увеличение удельного объема жидкости в криогенном пространстве. Данную зависимость можно увидеть, анализируя данные графика на рис. 4.

В рассмотренных вариантах при достижении максимально допустимого давления равного 0,4 МПа, удельный объем жидкости увеличился с начального 0,7 до итогового 0,75. Рост давления спровоцирован непрерывным подводом теплоты в паровую область и уменьшением объема занимаемого парами СПГ.

Увеличение объема жидкости происходит за счет роста температуры кипения жидкости и уменьшения ее плотности по мере роста давления паров СПГ. Его можно отсрочить, улучшая качество изоляции и увеличивая ее толщину. Увеличение толщины слоя изоляции способствует снижению. В табл. 4 представлены данные о температуре при достижении максимально допустимого давления паров.

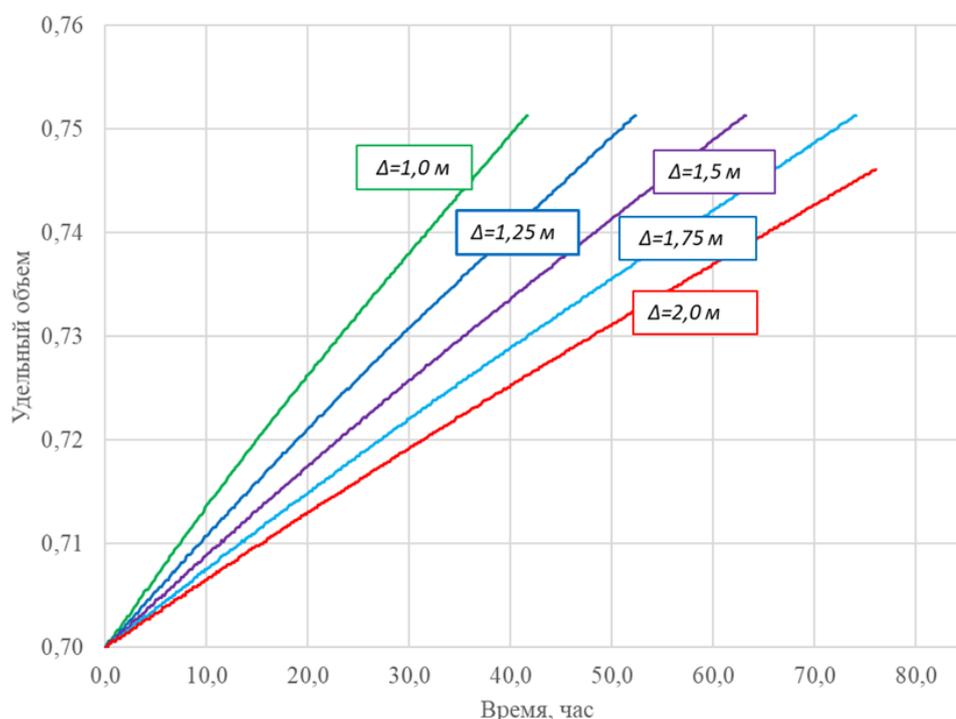


Рис. 4. Изменение доли пространства емкости, занятой СПГ, в хранилищах с разной толщиной изоляции

Таблица 4

Изменение температуры СПГ за счет подвода теплоты через изоляцию и повышения давления паров

Обозначение	Варианты толщины изоляции				
	0,7x1,0	0,7x1,25	0,7x1,5	0,7x1,75	0,7x2,0
Время, час	41,6	52,2	63,0	74,0	85,1
Давление, МПа	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Температура СПГ, К	131,6	131,6	131,6	131,6	131,6

Исходная температура СПГ была равна 111К при атмосферном давлении. По данным табл. 4 видно, что при достижении максимально допустимого давления в 0,4 МПа температура повысилась примерно на 20 К, что повлияло на плотность жидкости вследствие чего увеличился ее объем, несмотря на потери массы жидкости из за испарения несложно заметить то, что при увеличении толщины изоляционного слоя, увеличивается время хранения сжиженного природного газа. При толщине изоляции равной 1 м, время безопасного хранения может достигать 42 часов. Время хранения увеличивается пропорционально росту толщины изоляции. При увеличении толщины изоляции в 2 раза, время составит 85 часов.

В результате проведенного численного эксперимента получились следующие выводы. Хранение сжиженного природного газа в подводном хранилище СПГ с использованием газонаполненной изоляции оказывается возможным и позволяет достичь необходимых результатов в продолжительности хранения. В эксперименте рассматривался бездренажный тип хранения, благодаря чему криопродукт практически не теряется. Все образовавшиеся пары за время хранения сохраняются в паровом пространстве. Их давление может быть использовано, например, для выдачи ПГ в городскую энергосеть.

Исходя из вышеперечисленного можно предположить, что у подводного хранилища СПГ есть перспективы для развития и различные области применения. Например, его можно использовать как «холодный» регазификатор на Калининградской ПХГ. В качестве регазификационной установки на Калининградской ПХГ сейчас используется танкер-газовоз «Маршал Василевской» объёмом 180000 м³. Ему приходится несколько суток стоять в порту чтобы регазифицировать весь свой запас энергоносителя и направить его в хранилища КПП на берегу. Это несет за собой потери и старение СПГ, а также расход судном собственной энергии на регазификацию. Исходя из этого можно предположить, что 4 подводных хранилища рассмотренных ранее, могли бы справиться с этой задачей лучше. Преимущества заключаются в отсутствии дорогостоящего простоя танкера и быстрой разгрузке СПГ с минимальными потерями, а также использование для регазификации СПГ естественных теплопритоков.

Литература

1. Баранов А.Ю., Валентинова К.А., Иванов Л.В. Моделирование испарения сжиженного природного газа в мобильных резервуарах [Modeling of liquefied natural gas evaporation in mobile reservoirs] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics]. 2020. Т. 20. № 4(128). С. 595-602.
2. Акулов Л.А. Теплофизические свойства криопродуктов: учебное пособие для вузов / Акулов Л.А., Борзенко Е.И., Новотельнов В.Н., Зайцев А.В. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: Политехника. 2012. 243 с. ISBN 978-5-7325-0913-7.
3. Теплопередача / Исаченко В.А., Осипова А.С., Сукомел А.С. // М.: Энергоиздат. 1981. 416 с.

Осипова Виктория Александровна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V42372с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: viksalex.o@gmail.com

Баранов Александр Васильевич

Год рождения: 1952

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

центр информационных оптических технологий,

д.ф.-м.н., профессор,

e-mail: a_v_baranov@yahoo.com

УДК 535.35

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ
В КОМПЛЕКСАХ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК
ТРОЙНОГО СОСТАВА И ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ**

В.А. Осипова

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

Работа выполнена в рамках темы НИР №380129 «Моделирование и дизайн сенсорной платформы на основе тройных квантовых точек для мультиплексного анализа клеток».

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию Фёрстеровского резонансного переноса энергии (FRET) между системой, созданной методом послойного осаждения и состоящей из полимерных микросфер (ПМС), кодированных квантовыми точками (КТ) AIS / ZnS, в качестве донора и двумя различными цианиновыми красителями в качестве акцепторов. Разработанная система позволяет регистрировать спектрально разные полосы индуцированной FRET люминесценции красителя с разным временем затухания и, таким образом, позволяет осуществлять мультиплексирование по длине волны и времени жизни фотолюминесценции красителя.

Ключевые слова

Фёрстеровский перенос энергии (FRET), тройные квантовые точки, органические красители, спектроскопия, микроскопия, сенсорная платформа.

Тройные квантовые точки (т-КТ), такие как AgInS₂ (AIS) или CuInS₂ (CIS), являются отличной альтернативой традиционным квантовым точкам (КТ) из-за отсутствия токсичных тяжелых металлов в их структуре. Т-КТ отличаются от бинарных КТ оптическими и электронными свойствами. К их уникальным характеристикам относятся широкий спектр поглощения без ярко выраженного экситонного пика, широкая настраиваемая полоса фотолюминесценции (ФЛ), большой Стоксов сдвиг, хорошая биосовместимость, низкая цитотоксичность, а также время жизни ФЛ в сотни наносекунд, которое зависит от размера и состава частиц [1].

Широкая полоса ФЛ и долгое время жизни т-КТ полезны для приложений с резонансным переносом энергии Фёрстера (FRET), где т-КТ могут использоваться в качестве эффективных доноров энергии [2]. В этом случае донорно-акцепторные пары 2с акцепторными полосами поглощения, перекрывающими ФЛ КТ на разных длинах волн и

времена жизни, приводят к разным временам жизни ФЛ сенсibilизированного красителя, что позволяет осуществлять спектральное и временное мультиплексирование. Комбинированная стратегия мультиплексирования имеет решающее значение для создания биоаналитических сенсорных платформ следующего поколения и является предметом интенсивных исследований в последние несколько лет.

Использование частиц носителя микронных размеров, таких как полимерные микросферы (ПМС), может значительно повысить универсальность и возможности сенсорной платформы [3]. ПМС могут быть закодированы с помощью органических красителей или квантовых точек и функционализированы различными биологически активными молекулами. Есть несколько преимуществ использования матриц-носителей, таких как ПМС, при визуализации и зондировании. Во-первых, они повышают стабильность системы за счет изоляции флуорофоров от окружающей среды и наоборот. В случае визуализации ФЛ они приводят к сильному увеличению интенсивности сигнала без потери пространственного разрешения за счет концентрации большого количества флуорофоров в объеме ПМС. Наконец, комбинация полимерных микросфер и флуорофоров с большим временем жизни, таких как т-КТ, может сделать возможным выполнение штрихкодирования с временным разрешением и многоцелевого анализа с использованием проточной цитометрии. Несмотря на активные исследования, область мультиплексных сенсорных систем на основе ПМС все еще не развита.

Целью данного исследования является изучение возможности создания сенсорной платформы на основе полимерных микрокапсул, с послойно нанесенными на их поверхность нетоксичными т-КТ AIS и двумя различными органическими красителями ($Cu3$ и $Cu5$) с разным количеством двойных полимерных слоев (от 1 до 5) между донором и акцептором. Разработанная система использует FRET с временным разрешением от квантовых точек (доноров) до красителей (акцепторов), что дает возможность регистрировать спектрально разные полосы индуцированной FRET люминесценции для каждого красителя с разным временем затухания.

На первом этапе было проведено исследование спектральных характеристик т-КТ AIS и органических красителей $Cu3$ / $Cu5$. На рис. 1 приведены исходные нормализованные спектры ФЛ гидрофильных т-КТ AIS (сплошная зеленая линия) с максимумом полосы на 555 нм и шириной на полувысоте равной 121 нм, длина волны возбуждения ФЛ КТ составила 405 нм. Квантовый выход ФЛ AIS составляет 38,6%. Полосы ФЛ красителей $Cu3$ (фиолетовая сплошная линия) и $Cu5$ (красная сплошная линия) имеют максимумы на 570 нм и 663 нм соответственно. Длины волн возбуждения составляли 500 нм для $Cu3$ и 600 нм для $Cu5$ PL. Полосы поглощения $Cu3$ (фиолетовая пунктирная линия) и $Cu5$ (красная пунктирная линия) также представлены на рис. 1, чтобы продемонстрировать области спектрального перекрытия со спектрами ФЛ квантовых точек.

Спектры ФЛ донора (т-КТ AIS) и спектры поглощения акцептора ($Cu3$ или $Cu5$) хорошо перекрываются, что позволяет проводить FRET от КТ к молекулам. Для того, чтобы облегчить наблюдение и анализ FRET от квантовых точек до красителей; т-КТ AIS PL возбуждали на длине волны 350 нм, при которой поглощение красителей незначительно, а $Cu3$ и $Cu5$ облучали при 500 нм и 600 нм соответственно, поскольку квантовые точки не поглощают на этих длинах волн.

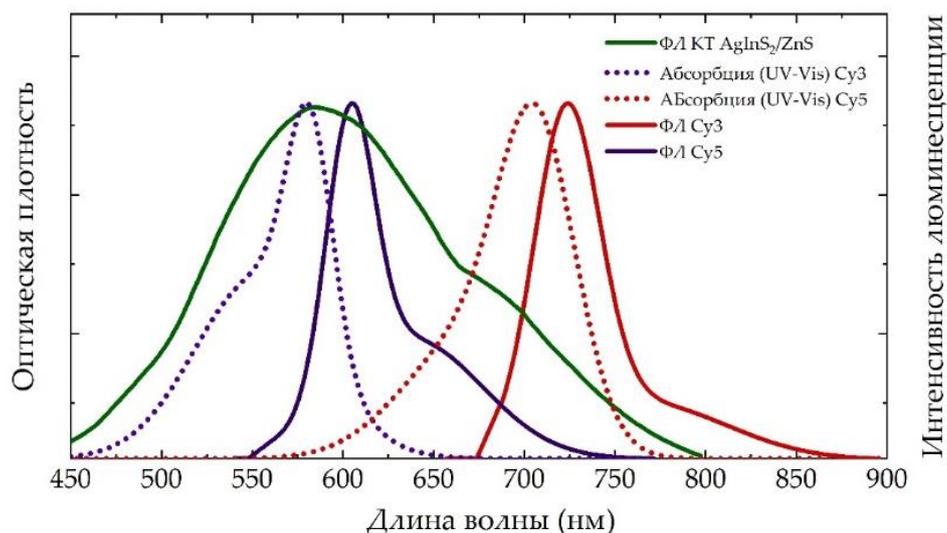


Рис.1. Спектральные характеристики т-КТ AIS и органических красителей Cu3 и Cu5

На рис. 2 показаны конфокальные ФЛ изображения и пропускания ПМС с т-КТ AIS на поверхности (ПМС-AIS), а также с т-КТ AIS и красителем Cu5 (ПМС-AIS-Cu5). ФЛ изображение ПМС-AIS было записано при длине волны возбуждения 405 нм и диапазоне длин волн излучения 450–600 нм (рис. 2 (а)). КТ покрывают поверхность ПМС довольно равномерно, но в некоторых областях наблюдаются яркие пятна, вероятно, связанные с повышенной локальной концентрацией квантовых точек. ФЛ изображения комплексов ПМС-AIS-Cu5 возбуждали излучением 405 нм и регистрировали при 450–580 нм для ФЛ квантовых точек (рис. 2 (в)) и 660–730 нм для сенсibilизированной FRET-индуцированной ФЛ Cu5 (рис. 2 (д)) с использованием 32-канального спектрального детектора. Рис. 2 (е) показывает суперпозицию люминесценции квантовых точек и Cu5. Яркие пятна сенсibilизированной ФЛ Cu5 соответствуют ярким областям КТ ФЛ, поскольку в этих областях FRET происходит более интенсивно.

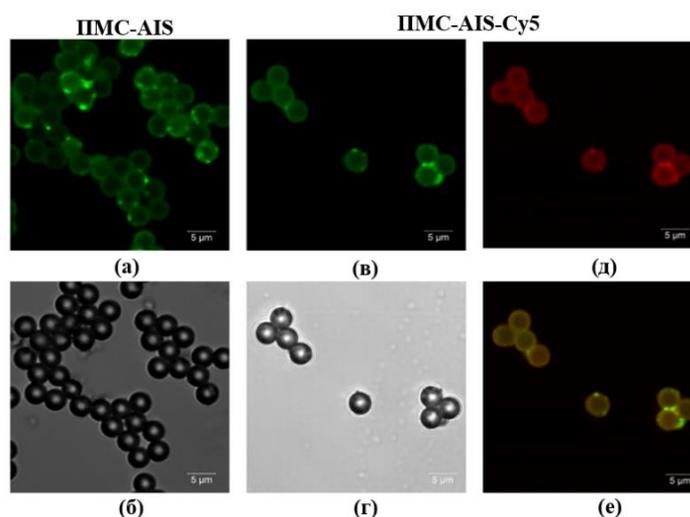


Рис. 2. Конфокальное изображение полистирольных микросфер с КТ AIS (ПМС-AIS) и ПМС-AIS-Cu5. ФЛ (а) и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) (б) изображения ПМС-AIS; Возбуждение ФЛ при 405 нм, детектирование в области 470–600 нм. (в, д) соответствуют изображениям ФЛ ПМС-AIS-Cu5 при возбуждении излучением 405 нм с детектированием ФЛ при 470–600 нм и 650–750 нм соответственно и их суперпозиции (е). (г) ПЭМ-изображения ПМС-AIS-Cu5

Микросферы имеют сильное рассеяние из-за их относительно большого размера частиц, что отражается в их спектрах поглощения в виде появления очень высокого фона, представленного на рис. 3.

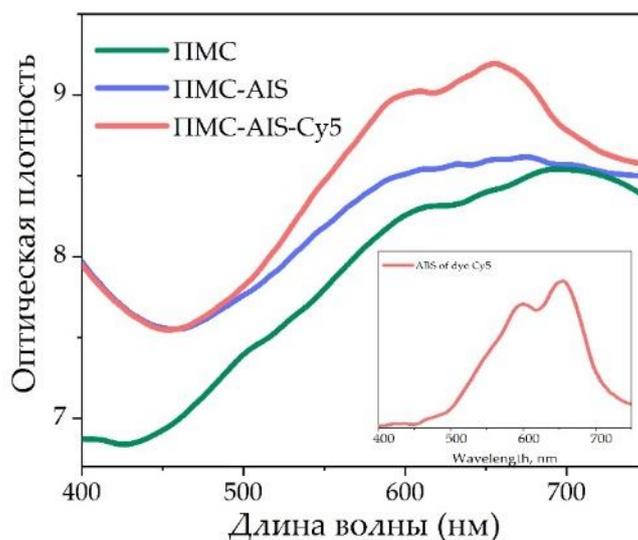


Рис. 3. Спектры поглощения ПМС, ПМС-AIS и ПМС-AIS-Cy5. Вставка: поглощение Cy5 обнаруживается в ПМС-AIS-Cy5 после вычитания фона ПМС-AIS

Спектры поглощения красителей, в комплексах ПМС-AIS-краситель, получали вычитанием фона. На рис. 3 (вставка) показаны, в качестве примера, спектры поглощения красителя Cy5 в комплексах ПМС-AIS-Cy5, которые имеют две полосы поглощения по сравнению с исходной полосой поглощения органического красителя Cy5: 595 нм и 647 нм. Пик на 647 нм также наблюдается в спектре поглощения Cy5 в свободном состоянии и соответствует мономерной форме. Пик при 595 нм соответствует димеру Cy5, и его появление указывает на частичную агрегацию красителя при адсорбции на ПМС-AIS.

Для различения максимумов сенсibilизированной люминесценции акцептора и люминесценции донора и для наглядности полученные спектры люминесценции ПМС-AIS-Cy3 и ПМС-AIS-Cy5 подвергали деконволюции с помощью функций Гаусса. В качестве примера на рис. 4 (а, б) представлены деконволютированные спектры образца с двумя двойными слоями полиэлектролитов (L2) для обоих органических красителей.

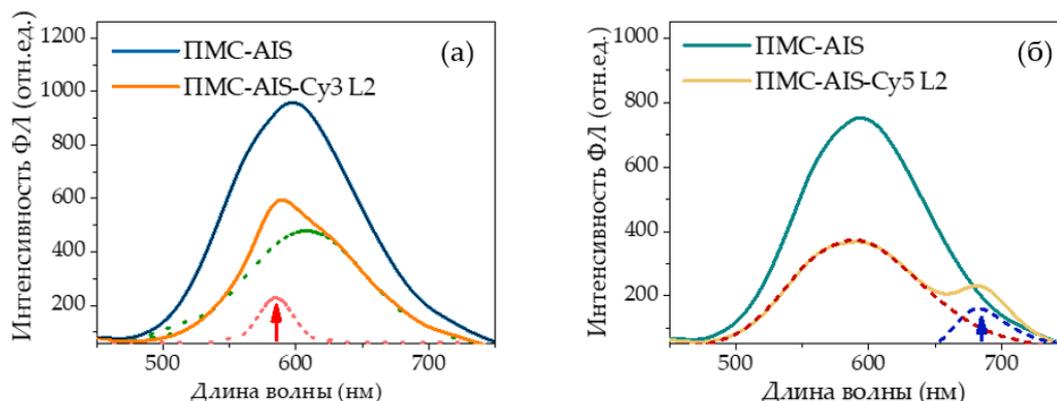


Рис. 4. (а) Спектры ФЛ ПМС-AIS, ПМС-AIS-Cy3 L2 и деконволюция ПМС-AIS-Cy3 L2 по ФЛ полосе AIS и Cy3 и (б) Спектры ФЛ ПМС-AIS, ПМС-AIS-Cy5 L2 и деконволюция ПМС-AIS-Cy5 L2 с помощью AIS и Cy5 PL

Для решения задачи о дистанционной зависимости передачи энергии фотовозбуждения от КТ к красителям было исследовано тушение люминесценции КТ и изменение интенсивности сенсibilизированной ФЛ красителей в зависимости от количества слоев полиэлектролита (рис. 5 (в, г)). Толщина одного двойного слоя PAAH / PSS составляет примерно 1 нм; следовательно, 5 слоев составляют примерно 5 нм. Рассчитанные радиусы FRET пар КТ-Cy3 и КТ-Cy5 составляют 5,39 и 6,67 нм соответственно.

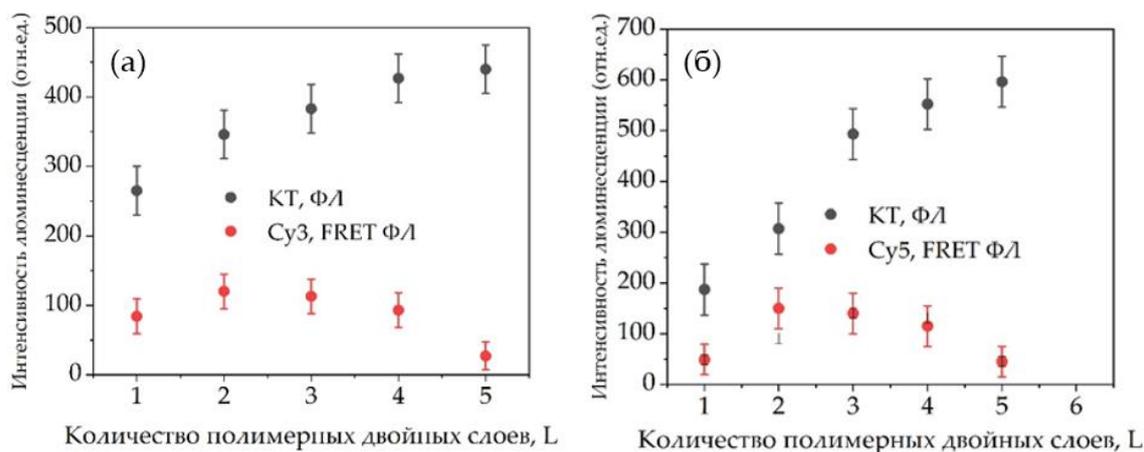


Рис. 5. (а) Зависимость ФЛ КТ и Cy3 FRET от количества полимерных слоев L и (б) Зависимость ФЛ КТ и Cy5 FRET от количества полимерных слоев L

Установлено, что степень тушения ФЛ монотонно возрастает с уменьшением количества слоев, причем наиболее интенсивное тушение КТ ФЛ происходит для ПМС-AIS-краситель без них и с одним двойным слоем полиэлектролитов (1L). Это разумно, поскольку, помимо FRET, на расстоянии 1–2 нм между КТ и молекулой красителя преобладает перенос носителей заряда, который обычно отвечает за наиболее эффективное тушение ФЛ КТ. Сенсibilизированная ФЛ красителей также уменьшается с увеличением количества слоев, так как эффективность FRET уменьшается с расстоянием. Однако для ПМС-AIS-краситель интенсивность сенсibilизированной ФЛ имеет заметный максимум на L2. Скорее всего, это связано с появлением дополнительного канала безызлучательной релаксации энергии, когда расстояние между КТ и молекулами красителя становится достаточно близким для переноса электронов от КТ к красителям. Таким образом, образцы с 2–3 полимерными слоями имеют оптимальные условия для FRET, поскольку расстояние между квантовыми точками и красителями меньше радиуса Ферстера, а эффективность FRET высока. Далее для образцов L4 и L5 эффективность FRET снижается.

Чтобы продемонстрировать наличие процесса переноса энергии от КТ к молекулам красителя в исследуемой системе ПМС-AIS-Cy3/Cy5, необходимо было продемонстрировать увеличение времени затухания сенсibilизированной люминесценции красителей за счет безызлучательной передачи энергии от долгоживущих ФЛ состояний донора т-КТ. Более того, поскольку время жизни люминесценции квантовых точек AIS зависит от длины волны люминесценции, ожидалось, что время затухания сенсibilизированной люминесценции красителей Cy3 и Cy5 будет различным из-за разного спектрального положения их пиков поглощения.

Времена затухания люминесценции систем ПМС-AIS-Cy3 и ПМС-AIS-Cy5 были измерены в спектральных областях, соответствующих положениям пиков сенсibilизированной люминесценции красителей (580 нм и 665 нм соответственно) и в областях полос люминесценции КТ, где отсутствует вклад люминесценции красителей

(665 нм и 580 нм соответственно). Для выделения этих спектральных областей использовался перестраиваемый интерференционный фильтр с полосой пропускания ~ 10 нм. Кинетика затухания люминесценции была описана функцией (1):

$$I(t) = \sum_i A_i e^{-t/\tau_i}, \quad (1)$$

где A_i – амплитуда, τ_i – время затухания ФЛ. Анализ кривых затухания показал, что при детектировании ФЛ на 665 нм в случае образца ПМС-AIS-Cy3 и на 580 нм в случае образца ПМС-AIS-Cy5 наилучшее соответствие было достигнуто с использованием биэкспоненциальной функции, т.е. $i = 2$. При регистрации ФЛ на 580 нм в случае образца ПМС-AIS-Cy3 и 665 нм в случае образца ПМС-AIS-Cy5 оптимальная аппроксимация кривых затухания была возможна только с помощью 3-х экспонент ($i = 3$), где 3-я экспонента с амплитудой A_3 и временем затухания τ_3 соответствует сенсibilизированной ФЛ красителей. Средние времена жизни ФЛ для КТ AIS рассчитывались по формуле (2):

$$\langle \tau \rangle = \sum_i \frac{A_i \tau_i^2}{A_i \tau_i}. \quad (2)$$

Значения рассчитанных параметров приведены в таблице.

Таблица

Времена жизни ФЛ ПМС-AIS-Cy3 и ПМС-AIS-Cy5

Название образца	τ_1 (нс)	τ_2 (нс)	τ_3 (нс)	$\langle \tau \rangle$ (нс)
ПМС-AIS-Cy3, (665 нм)	462 ± 5	131 ± 5	–	131 ± 5
ПМС-AIS-Cy3, (580 нм)	441 ± 5	122 ± 5	20 ± 5	82 ± 5
ПМС-AIS-Cy5, (580 нм)	746 ± 5	227 ± 5	–	246 ± 5
ПМС-AIS-Cy5, (665 нм)	705 ± 5	212 ± 5	30 ± 5	161 ± 5

Время жизни собственной фотолюминесценции Cy3 и Cy5 составляет приблизительно 0,6 и 0,5 нс соответственно. В комплексах с КТ время жизни ФЛ Cy3 и Cy5 увеличивалось до 20 и 30 нс в максимумах их полос ФЛ при 580 и 665 нм соответственно (Таблица). Время жизни КТ AIS увеличивается с увеличением длины волны ФЛ, то, поскольку Cy3 имеет полосу поглощения, которая перекрывается с полосой ФЛ КТ на меньших длинах волн с меньшим временем жизни, чем Cy5, время жизни сенсibilизированной ФЛ Cy3 также короче. Этот факт можно использовать при спектрально-временном мультиплексировании.

На рис. 6 показаны карты распределения времен затухания (FLIM) ПМС-AIS, ПМС-AIS-Cy3 и ПМС-AIS-Cy5, измеренные на пиках соответствующих полос ФЛ с использованием полосовых фильтров 10 нм, демонстрирующие значительное изменение времени жизни сенсibilизированного красителя на длине волны ФЛ. Эти изображения иллюстрируют возможности разработанной системы ПМС-AIS-Cy3/Cy5 для мультиплексного зондирования с использованием традиционных спектральных и временных методик даже в том случае, если донор люминесценции не потушен полностью.

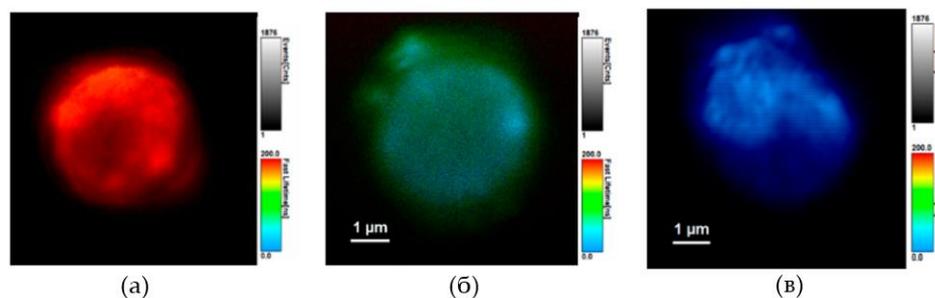


Рис. 6. Изображения времени жизни флуоресценции микросфер, легированных КТ и КТ красителями Cu_3 или Cu_5 , измеренные в максимумах ФЛ квантовых точек и ФЛ красителей, индуцированных FRET. (а) ПМС-AIS ($\lambda_{\text{PL}} = 665$ нм, $\langle\tau\rangle = 245$ нс), (б) ПМС-AIS- Cu_5 L2 ($\lambda_{\text{PL}} = 665$ нм, $\langle\tau\rangle = 160$ нс) и (в) ПМС-AIS- Cu_3 L2 ($\lambda_{\text{PL}} = 580$ нм, $\langle\tau\rangle = 80$ нс). Показаны длины волн ФЛ (λ_{PL}) и соответствующие средние времена затухания ФЛ, и цветовые шкалы времен жизни ФЛ

В рамках данной работ была исследована возможность функционирования новой сенсорной платформы для мультиплексного люминесцентного анализа на основе полимерных микросфер (ПМС), на поверхность которых методом послойного осаждения наносятся слои КТ AIS и молекул красителя, разделенных слоями полиэлектролитов. Экспериментально показано, что в исследуемой системе существует резонансный перенос энергии Фёрстера между т-КТ AIS на поверхности микросфер и двумя различными цианиновыми красителями, о чем свидетельствуют наблюдаемое тушение ФЛ доноров (КТ AIS) и появление, и увеличение сенсibilизированных акцепторов ФЛ (красителей).

Исследование ясно демонстрирует потенциал предложенной модели для регистрации спектрально разделенных полос FRET-индуцированной люминесценции для красителей с разным временем затухания. Следовательно, эти системы на основе ПМС могут использоваться для достижения мультиплексирования красителей по длине волны и времени жизни фотолюминесценции и имеют потенциал для разработки высокоселективных и чувствительных датчиков для мультиплексного анализа для обнаружения клеточных лизатов и биомаркеров биологических жидкостей.

Литература

1. Girma W.M. et al. Synthetic strategies and biomedical applications of I–III–VI ternary quantum dots // *Mater J. Chem. B. The Royal Society of Chemistry*. 2017. Vol. 5. № 31. P. 6193–6216.
2. Kuznetsova V. et al. Spectral-Time Multiplexing in FRET Complexes of AgInS₂ / ZnS Quantum Dot and Organic Dyes. 2020. P. 1–13.
3. Zhang Y. et al. Multifunctional Microspheres Encoded with Upconverting Nanocrystals and Magnetic Nanoparticles for Rapid Separation and Immunoassays // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. American Chemical Society, 2016. Vol. 8. № 1. P. 745–753.

Петровская Мария Ромуальдовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N42516с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: petrovskaya_mari@bk.ru

Кузнецов Александр Юрьевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н.,

e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ АЛГОРИТМА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА В НЕПОДВИЖНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

М.Р. Петровская

Научный руководитель – к.т.н. А.Ю. Кузнецов

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

Аннотация

В работе представлен способ повышения устойчивости встраивания информации в неподвижные изображения и предложен стеганографический алгоритм, имеющий более высокую устойчивость к внешним воздействиям на изображение-контейнер по сравнению с существующими алгоритмами. Алгоритм базируется на совместном применении дискретного вейвлет-преобразования, дискретно-косинусного преобразования и преобразования Адамара.

Ключевые слова

Цифровой водяной знак, стеганографический алгоритм, цифровое маркирование, дискретное вейвлет-преобразование, дискретно-косинусное преобразование, преобразование Адамара.

Введение

Развитие методов сокрытия информации позволяет обеспечить защиту авторских прав на мультимедийную информацию. Встраивание цифровых водяных знаков (ЦВЗ) используется при цифровой обработке сигналов для встраивания скрытой информации в файлы. Надежность ЦВЗ определяется устойчивостью к различным манипуляциям, направленным на изменение или удаление внедренной в файл информации.

Устойчивость к компрессии и искажениям определяется выбором метода встраивания информации в изображение, и таким требованиям стойкости отвечают частотные методы преобразования изображений. В данной работе будет рассмотрен стеганографический алгоритм, основанный на двух частотных методах – дискретном вейвлет-преобразовании (ДВП) и дискретно-косинусном преобразовании (ДКП). Встраивание ЦВЗ в неподвижное изображение будет сопровождаться предварительной обработкой ЦВЗ для увеличения стойкости алгоритма к вредоносным воздействиям.

Методика оценки эффективности стеганографического алгоритма

Методика оценки эффективности стеганографического алгоритма встраивания ЦВЗ в неподвижные изображения состоит из проведения оценок критериев, описанных в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ критериев эффективности стеганографического алгоритма встраивания ЦВЗ в неподвижные изображения

№	Критерий эффективности	Проводимая оценка	Важность критерия
1	Устойчивость алгоритма к внешним воздействиям	На основании формулы: $r = \frac{\sum_i \sum_j (K(i, j) - \bar{K})(I(i, j) - \bar{I})}{\sqrt{\sum_i \sum_j (K(i, j) - \bar{K})^2 (\sum_i \sum_j (I(i, j) - \bar{I})^2)}} \quad (1)$ <p>Коэффициент корреляции Пирсона должен составлять не менее 0,5.</p>	$k_1 = 7$
2	Незаметность встраивания ЦВЗ в контейнер	На основании формул: $MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} I(i, j) - K(i, j) ^2 \quad (2)$ $PSNR = 10 \log_{10} \frac{(MAX_I^2)}{MSE} \quad (3)$ <p>Допустимым значением PSNR является 40 дБ и выше.</p>	$k_2 = 2$
3	Пропускная способность стеганоканала	На основании формулы: $C = \frac{1}{2} * \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_{ig}^2 + \sigma_p^2} \right) \quad (4)$	$k_3 = 0,5$
4	Вычислительная сложность алгоритма	Определение порядка величины вычислительной сложности.	$k_4 = 0,5$

Общая эффективность стеганографического алгоритма вычисляется согласно выражению:

$$K = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 N_i \times k_i, \quad (5)$$

где N_i – нормализованное значение критерия эффективности.

Описание алгоритма

Последовательность действий при встраивании ЦВЗ в контейнер:

1. На вход поступают контейнер, ЦВЗ и две псевдослучайные последовательности seq_0 и seq_1 , формирование которых выполняется с помощью секретного ключа.

2. Выполняется скремблирование ЦВЗ с использованием преобразования Арнольда и последующее представление результата в виде последовательности бит.

3. При достаточном размере контейнера устанавливаются пороговые коэффициенты и выполняется ДВП с фильтром Добеши 2 над контейнером.

4. Полученный квадрант LL разбивается на блоки 8×8, к каждому блоку применяется ДКП, и при успешной проверке валидности блока изменяется значение коэффициента матрицы ДКП согласно формулам (6), (7).

5. При внедрении всех бит ЦВЗ выполняется обратное ДКП.

6. Выполняется обратное ДВП.

Последовательность действий при извлечении ЦВЗ из стегоконтейнера:

1. На вход поступают стегоконтейнер и две псевдослучайные последовательности.

2. Устанавливаются пороговые коэффициенты.

3. Выполняется ДВП.

4. Полученный квадрант LL разбивается на блоки 8×8 , к каждому блоку применяется ДКП, и при успешной проверке валидности блока извлекается встроенный бит из коэффициента матрицы ДКП согласно формулам (8), (9).

5. Формируется список извлеченных бит и после преобразовывается в монохромное изображение.

6. Выполняется обратное преобразования Арнольда для формирования извлечённого ЦВЗ.

Встраивание ЦВЗ в контейнер осуществляется согласно выражениям (6) и (7):

Если бит ЦВЗ равен 0, то:

$$\hat{L}_i = L_i + \alpha \times seq_0. \quad (6)$$

Если бит ЦВЗ равен 1, то:

$$\hat{L}_i = L_i + \alpha \times seq_1. \quad (7)$$

где \hat{L}_i – модифицированный коэффициент матрицы ДКП, α – усиливающий коэффициент.

Для извлечения ЦВЗ из стегоконтейнера вычисляется корреляция между подмножеством \hat{L}_i и последовательностями seq_0 и seq_1 согласно выражениям (8) и (9):

Если

$$r(\hat{L}_i, seq_0) > r(\hat{L}_i, seq_1), \quad (8)$$

то бит ЦВЗ равен 0.

Если

$$r(\hat{L}_i, seq_0) \leq r(\hat{L}_i, seq_1). \quad (9)$$

то бит ЦВЗ равен 1.

Оценка устойчивости алгоритма к внешним воздействиям

Для исследования алгоритма на устойчивость к внешним воздействиям используются такие наиболее распространенные виды атак, как шум Гаусса, шум «Соль и перец», обрезка изображения, сжатие JPEG и JPEG2000. В статье приведено два вида атак.

Зависимость коэффициента корреляции Пирсона от величины дисперсии шума Гаусса приведена на рис. 1.

Наложение аддитивного белого гауссовского шума выполнялось посредством добавления к стегоконтейнеру величины нормального распределения со средним значением, равным нулю. Стойкость к атаке сохраняется до значения дисперсии шума Гаусса, равной 0,044. Согласно работам [2, 4, 5, 8], алгоритмы, основанные на ДКП, ДПХ и ДПА обладают устойчивостью к воздействию шума Гаусса, не превышающей значение дисперсии 0,03.

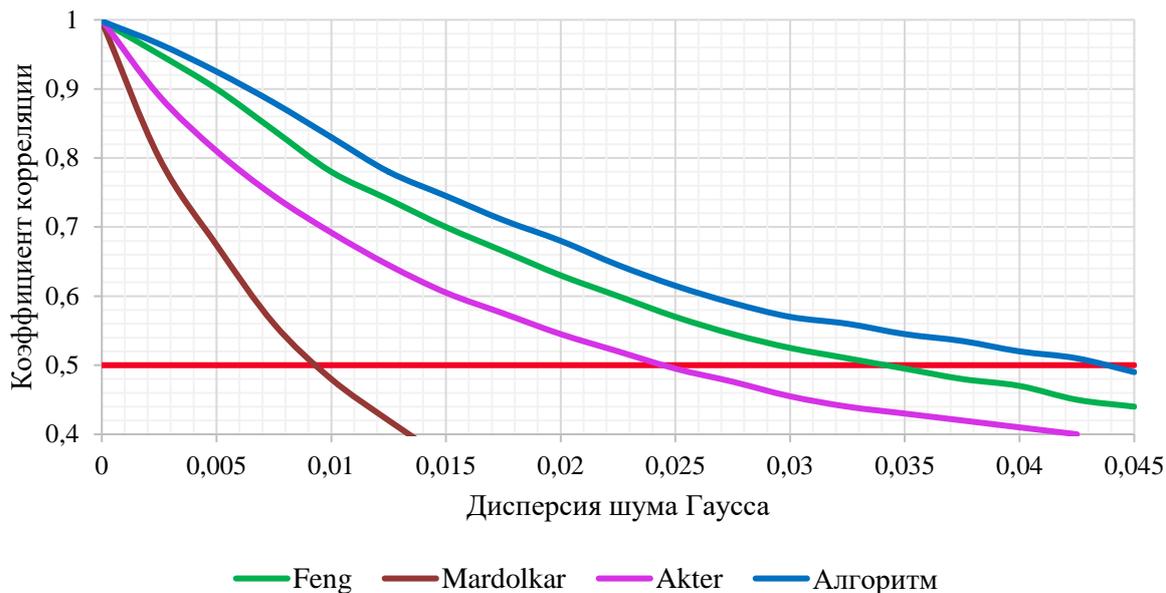


Рис. 1. Устойчивость стеганографических алгоритмов к шуму Гаусса

После встраивания ЦВЗ стегоконтейнер подвергался сжатию JPEG2000 с различным коэффициентом. Алгоритм обеспечивает высокий уровень устойчивости к атаке сжатия JPEG2000 до уровня 62, демонстрируя преимущества по сравнению с приведенными алгоритмами (рис. 2).

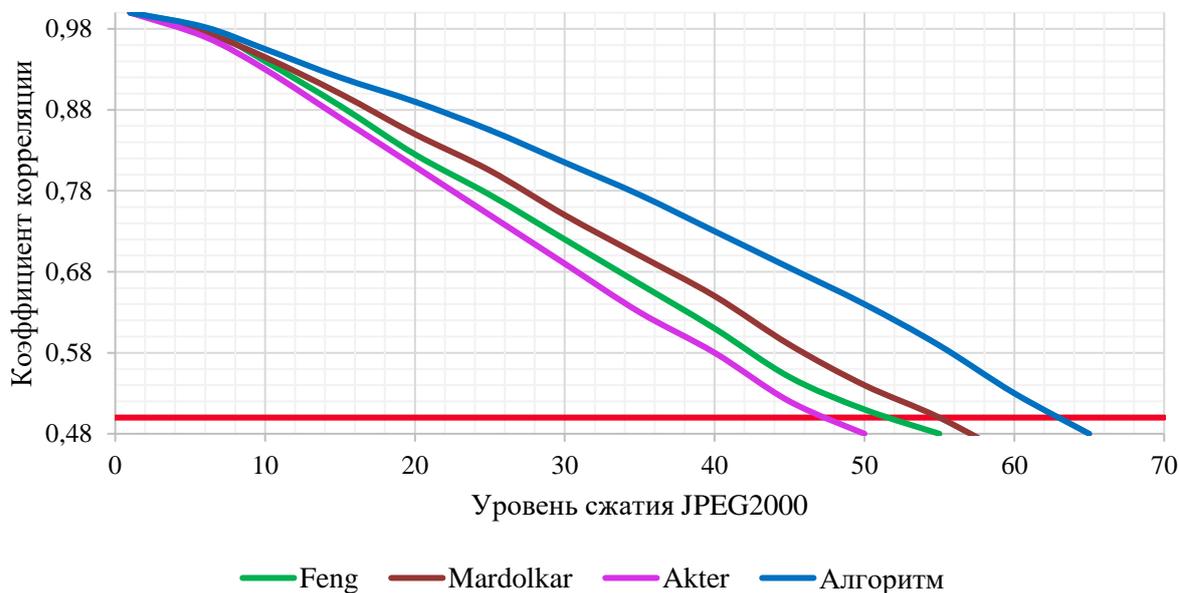


Рис. 2. Устойчивость стеганографических алгоритмов к сжатию JPEG2000

Оценка незаметности встраивания ЦВЗ

Оценка незаметности встраивания ЦВЗ проводилась для различных контейнеров, имеющих в том числе области с достаточной величиной перепада яркости изображения и области, не содержащие сильные перепады яркости. Зависимость PSNR от усиливающего коэффициента получена на основе усредненных значений исследуемых величин (рис. 3).

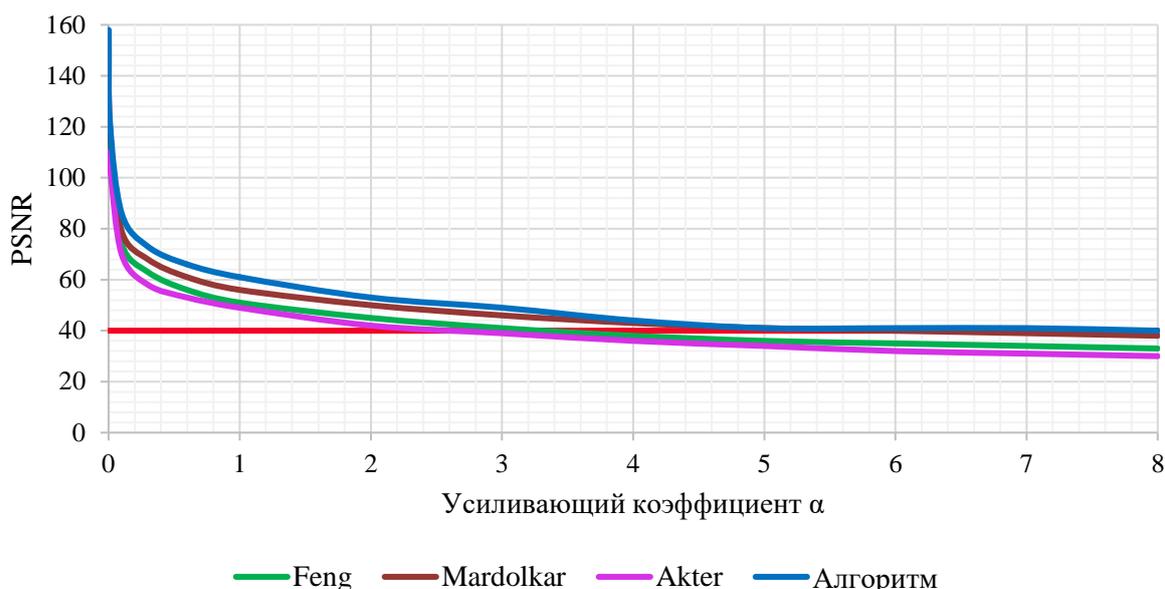


Рис. 3. Зависимость PSNR от усиливающего коэффициента

Оценка величины пропускной способности стеганоканала

На основе практической реализации стеганографического алгоритма были получены результаты величины пропускной способности стеганоканала, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Теоретическая и практическая оценки величины пропускной способности стеганоканала

Способ расчета	Размер контейнера, пиксели	Величина пропускной способности стеганоканала, бит
Теоретический	512×512	565
	1024×1024	2262
	2048×2048	9048
Практический	512×512	484
	1024×1024	2025
	2048×2048	8100

Разработанный стеганографический алгоритм не позволяет обеспечить более высокой величины пропускной способности стеганоканала по сравнению с алгоритмами, описанными в работах [1, 3, 6, 7]. Величины пропускной способности стеганоканала алгоритмов Feng, Mardolkar и Akter составляет 0,0039 бит/пиксель.

Невысокое значение пропускной способности стеганоканала возникает из-за введенной проверки валидности блоков и установки пороговых коэффициентов, которые снижают количество блоков контейнера, пригодных для встраивания бит ЦВЗ, тем самым повышая уровень незаметности встраивания ЦВЗ.

Оценка вычислительной сложности алгоритма

Итоговая вычислительная сложность стеганографического алгоритма составляет $O(N^2)$. Разработанный стеганографический алгоритм не показал преимуществ в оценке вычислительной сложности алгоритма по сравнению с иными алгоритмами стеганографии [1, 3, 6, 7]. При этом данный критерий эффективности не является

ключевым при разработке стеганографического алгоритма, отвечающим целям данной работы.

Оценка эффективности стеганографического алгоритма

Разработанный стеганографический алгоритм по сравнению с алгоритмами Feng, Mardolkar и Akter показал лучшие результаты согласно методике оценки эффективности стеганографического алгоритма встраивания ЦВЗ в неподвижные изображения (рис. 4).

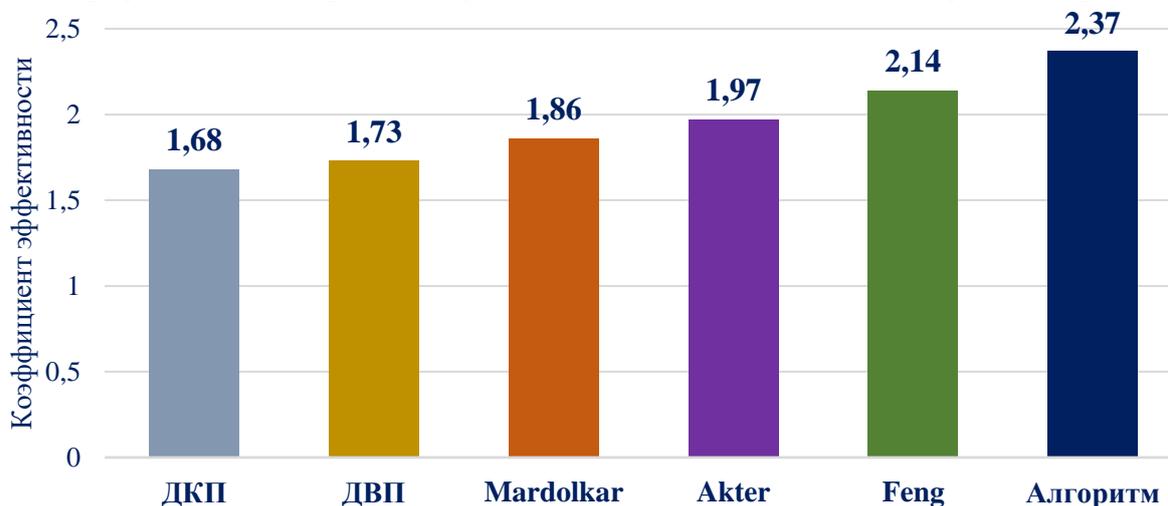


Рис. 4. Оценка эффективности стеганографического алгоритма

Выводы

Разработанный алгоритм стеганографии позволяет внедрять ЦВЗ в неподвижные изображения, обладая повышенной устойчивостью к вредоносным воздействиям по сравнению с существующими алгоритмами и приемлемым уровнем величины артефактов изображения. Реализация стеганографического алгоритма может быть использована в сфере защиты авторского права на мультимедийную продукцию.

Литература

1. Afroja A. Tajnina N. Digital image watermarking based on DWT-DCT: Evaluate for a new embedding algorithm // International Conference on Informatics, Electronics & Vision. 2014. P. 2–7.
2. Dhawan S. A review of image compression and comparison of its algorithm // International Journal of Electronics & Communication Technology. 2011. № 2. P. 22–26.
3. Feng L., Zheng L., Cao P. A DWT-DCT based blind watermarking algorithm for copyright protection // 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT). 2010. № 7. P. 1–13.
4. Fridrich J. Steganography in digital media: principles, algorithms, and applications. – Cambridge: Cambridge University Press. 2009. 437 p.
5. Kaur R., Choudhary P. Review of image compression techniques // International Journal of Computer Applications. 2016. № 1. P. 8–11.
6. Mardolkar S. Shenvi N. A joint DWT-DCT based blind digital watermarking for copyright protection // International Journal of Technology and Science. 2016. № 3. P. 10–13.
7. Бахрушина Г.И., Коржавин В.А. Использование дискретных преобразований при разработке устойчивых алгоритмов цифрового маркирования изображений // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». 2016. № 4. С. 7–24.
8. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. К.: МК-Пресс. 2006. 288 с.

Родикова Лилиана Сергеевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В42013с,

направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,

e-mail: liliana.baranowa@yandex.ru

Коротаев Валерий Викторович

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

д.т.н., профессор,

e-mail: vvkorotaev@itmo.ru

УДК 681.786

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ
КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ
СТУПЕНЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН ПРИ ВАЛОПОВОРОТЕ**

Л.С. Родикова

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.В. Коротаев

Работа выполнена в рамках темы НИР №620170 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач опотехники и биоинженерии».

Аннотация

В данной работе представлены результаты исследований оптико-электронной системы эндоскопирования для проведения диагностики износа рабочих лопаток паровых турбин. Описана методика проведения измерений износа с использованием эндоскопа на закрытом цилиндре при валоповороте. Представлены теоретические и экспериментальные исследования погрешности системы. Были выявлены основные влияющие факторы на погрешность контроля и предложены пути их компенсации.

Ключевые слова

Турбины паровые, эрозийный износ, рабочие лопатки, цилиндр низкого давления, контроль износа хорды, видеозонд.

Паровая турбина является основным узлом энергетических установок большой мощности. Одним из самых важных элементов паровой турбины являются рабочие лопатки. Наиболее уязвимыми в лопаточном аппарате являются лопатки последних ступеней, так как они чаще всего подвергаются серьезным разрушениям из-за каплеударных нагрузок и эрозийных процессов. Такие повреждения очень важно диагностировать вовремя и в случае достижения критического значения износа вовремя заменить [1].

Для того, чтобы предотвратить поломку турбины, своевременно обнаружить и заменить поврежденные элементы необходимо проводить периодический осмотр всех лопаток. Периодичность проведения ремонта и диагностики паровых турбин составляет от 6 лет до 2 лет в зависимости от типа ремонта. А продолжительность, например, капитального ремонта в зависимости от мощности составляет от 35 до 90 суток [2]. Такой осмотр осуществляется при полном останове турбины, при этом турбину разбирают для того, чтобы иметь доступ к каждой лопатке. Это требует большого количества времени и влечет за собой крупные финансовые потери.

Возможность проверить состояние лопаток, определить остаточный ресурс лопаточного аппарата без вскрытия турбины позволит принять решение о разборе и ремонте турбины только в случае, когда это необходимо. В общем случае осмотр состояния лопаток системами эндоскопирования занимает около двух недель вместо нескольких месяцев, как в случае с остановом и разбором турбины. Это позволит увеличить время между ремонтными работами и повысить тем самым экономическую эффективность установок большой мощности.

Наличие валоповорота турбины позволит проводить контроль и диагностику поврежденных рабочих лопаток с помощью специального видеозонда без вскрытия турбины.

Предложен метод, позволяющий проводить периодический контроль износа лопаток с применением зонда видеозонда (видеозонда) на закрытом цилиндре. Предполагается, что видеозонд через специальное технологическое отверстие вставляется в закрытый цилиндр (рис. 1), после чего в режиме валоповорота прокручиваются лопатки. Головка видеозонда, которая включает в себя видеокамеру и два источника подсветки, захватывает изображение каждой из лопаток и передает эти кадры в блок обработки изображений, где с помощью специально разработанного программного обеспечения происходит анализ состояния лопаток.

Износ рабочих лопаток предлагается оценивать посредством измерения хорды на полученных изображениях. Так сравнивая значение хорды лопатки с исходным, можно судить о состоянии профилей входных и выходных кромок и о наличии на них трещин.

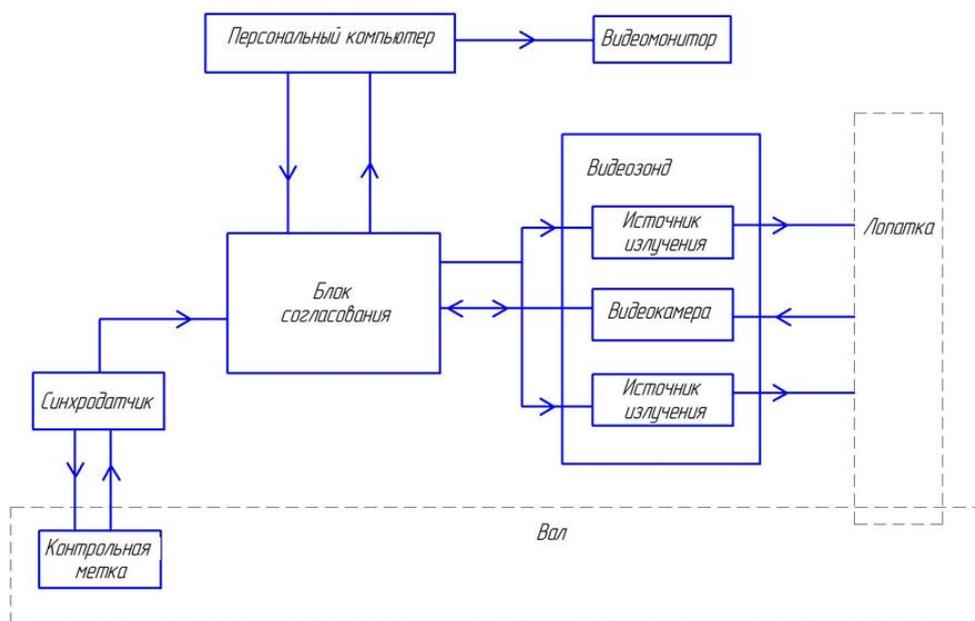


Рис. 1. Структурная схема системы видеозондирования

Также система содержит синхродатчик, который с помощью специальной контрольной метки, установленной на валу, позволяет определять номер рабочей лопатки, которая просматривается в данный промежуток времени, блок согласования и персональный компьютер с видеомонитором. Оператор получает информацию о состоянии каждой лопатки и принимает решение о возможности продолжения эксплуатации турбины или о необходимости ремонта.

Для оценки суммарной погрешности контроля рабочих лопаток системой эндоскопирования необходимо выявить основные источники первичных погрешностей системы при измерениях геометрических параметров объектов и выявить вклад каждой отдельной составляющей.

К влияющим факторам следует отнести погрешность задания фокусного расстояния объектива; погрешность задания расстояние до оси рабочей лопатки до видеозонда; погрешность от шумов фотоприемного устройства; погрешность, обусловленную температурной деформацией корпуса; погрешность от нестабильности работы валоповоротного устройства. Из-за того, что измерения происходят в движении системы, то есть в режиме валоповорота, при измерениях присутствует такая динамическая погрешность как влияние скоростного смаза изображения.

Положение видеозонда относительно лопатки, а также измеряемые величины показаны на рис. 2. Непосредственно измеряемой величиной при контроле рабочих лопаток является отрезок b'_i , находящийся в пространстве изображений, по результатам его измерения вычисляется интересующая нас длина сопряженного отрезка b_i (хорда измеряемой лопатки), который расположен в плоскости предметов [3]. Размер проекции изображение хорды B'_i , формирующийся на чувствительной площадке МПОИ, предлагается определять по заданному пороговому значению облученности. По этому размеру проекции B'_i вычисляется искомый размер хорды b_i .

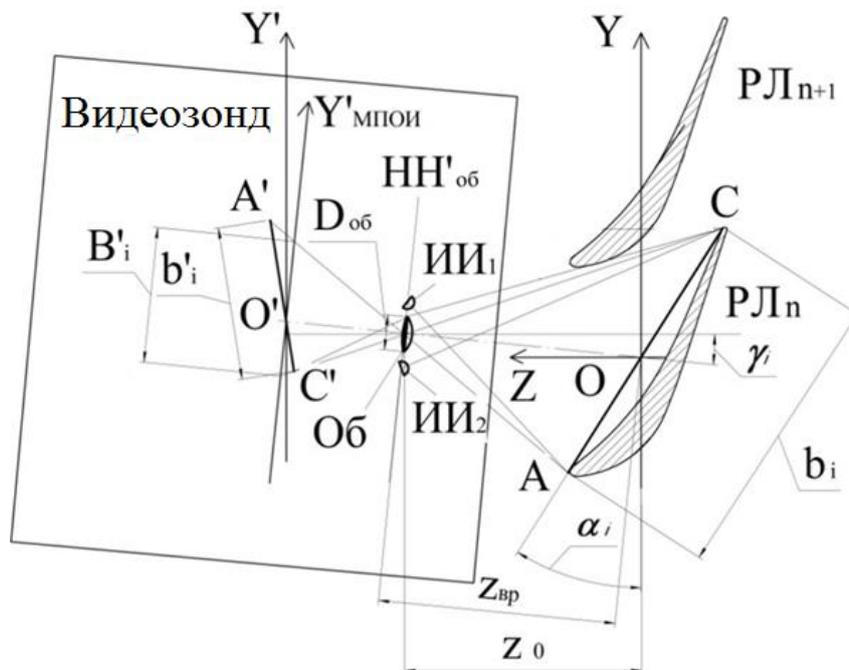


Рис. 2. Ход лучей в схеме видеозонда при контроле хорды рабочей лопатки (Об – объектив, ИИ – источник излучения, РЛ – рабочая лопатка, $D_{об}$ – входной зрачок объектива, А и С – входная и выходная кромки лопатки)

При диагностике видеозонд перемещается вдоль рабочей лопатки. При этом происходит одновременно изменение и размера хорды и угла наклона скручивания лопатки α_i . Для того чтобы скомпенсировать эти изменения учитывая, что контролируемое сечение полностью находится в поле объектива, необходимо оптическую ось видеозонда ориентировать под углом γ_i к оси OZ:

$$\gamma_i = \arctg\left(\frac{2\pi R_i}{b_i N \sin \alpha_i} + \frac{\pi R_i}{z_0 N} - \frac{D}{2z_0} - \text{ctg} \alpha_i\right). \quad (1)$$

Оптимальным будет взаимоположение, когда оптическая ось видеозонда перпендикулярна хорде. Таким образом для расстояний от оси вала до рабочей лопатки, больше, чем оптимальное расстояние, должно выполняться равенство углов $\gamma_i = \alpha_i$, и вычисление размера хорды b_i будет проводиться по выражению:

$$b_i = \frac{(z_0 - f')}{f'} B'_i \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma_i}. \quad (2)$$

В полученном уравнении учитываются источники первичных погрешностей параметров схемы, влияние которых необходимо исследовать. Таким образом расчетная формула (2), содержит основные параметры $\Delta B'$, Δz_0 , Δf , $\Delta \alpha_i$ оказывающие влияние на определения величины хорды b_i . В этом случае для оценки их влияния удобно использовать метод частных производных от функции (2) по интересующим нас параметрам.

В программе Mathcad была создана компьютерная модель, с целью оценить процентный вклад и степень влияния каждого влияющего фактора на суммарную погрешность контроля ширины хорды.

Результат теоретической оценки суммарной погрешности системы представлен в виде графика на рис. 3, здесь также приведены графики зависимости всех составляющих погрешности от расстояния до рабочих лопаток. Для наглядности на этом же рисунке представлена диаграмма влияния всех составляющих на суммарную погрешность контроля (рис. 3) с указанием процента их влияния [4].

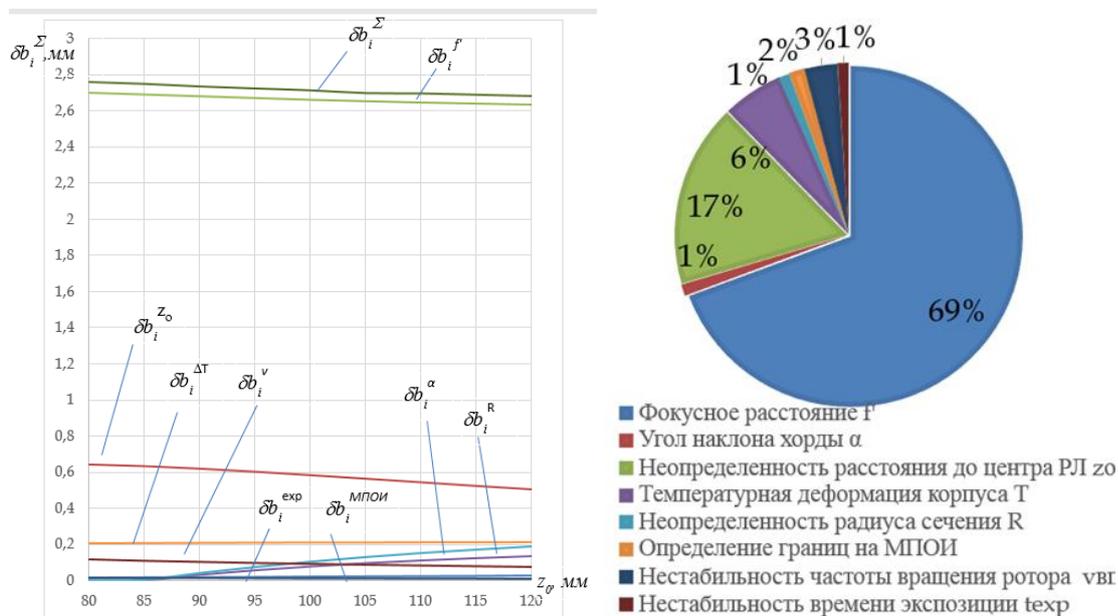


Рис. 3. Графики зависимостей погрешностей контроля хорды рабочей лопатки от дистанции и диаграмма оценки влияния каждого фактора на погрешность контроля

По диаграмме (рис. 3) видно, что наиболее влияющей составляющей является погрешность, обусловленная неточностью задания фокусного расстояния объектива видеоблока. Она же является практически определяющей величину итоговой погрешности контроля. Следующими по степени влияния идут погрешности задания расстояния до видеоблока, температурных деформаций корпуса и изменений угла наклона хорды. Первые две наиболее влияющие погрешности могут быть уменьшены путем собственной калибровки системы до величин, не превышающих шумовую погрешность МПОИ так как они носят систематический характер. После калибровки системы значение суммарной погрешности существенно падает (рис. 4).

Анализ степени влияния каждой из составляющих погрешности контроля хорды лопатки после калибровки показал, что суммарная погрешность уменьшается с увеличением дистанции до объекта и на расстоянии 80 мм составила 0,29 мм. С помощью калибровки удалось уменьшить суммарную погрешность почти в 10 раз.

При съемке кадров в движении, когда турбина находится в режиме валоповорота, к статическим погрешностям добавляются динамические погрешности обусловленные скоростным смазом изображения и нестабильностью угловой частоты вращения ротора турбины. Для исследования влияния таких погрешностей, а также возможности уменьшения их влияния был проведён эксперимент на специальном стенде (рис. 5).

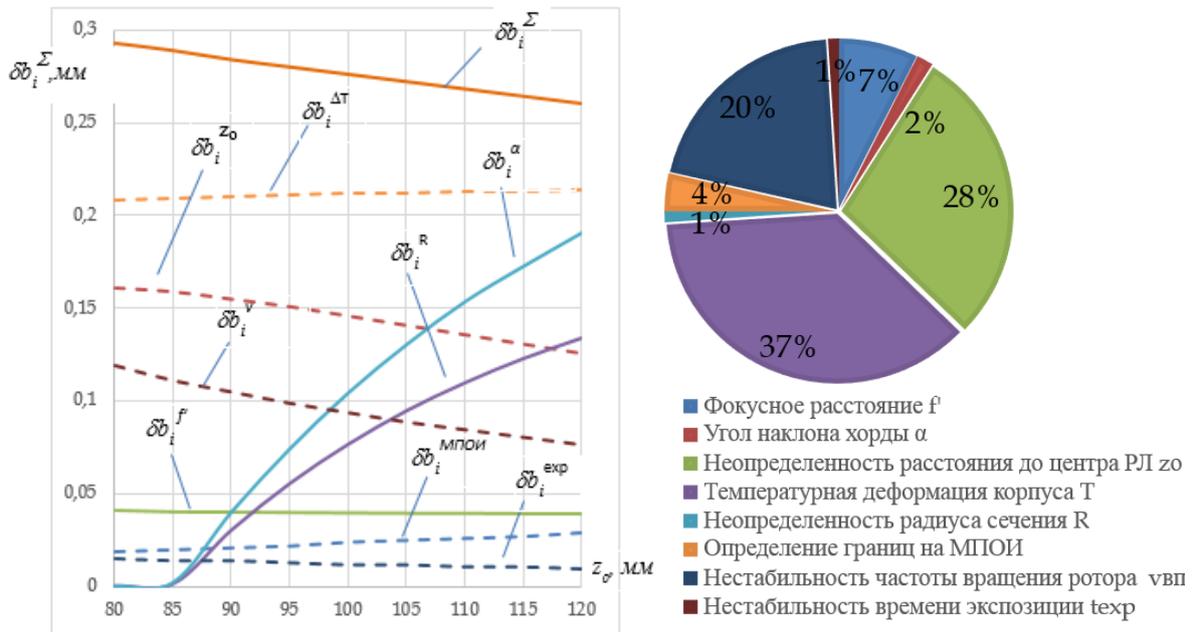


Рис. 4. Графики зависимостей погрешностей контроля и диаграмма оценки влияния каждого фактора после калибровки

Данный стенд содержит модель вала. На нём закреплены модели рабочих лопаток, таким образом чтобы они представляли собой ступень паровой турбины. На валу крепится контрольная метка в виде отражателя. При каждом обороте вала синхродатчик фиксирует её положение для определения номера лопатки на снятых кадрах. Имитация валоповорота происходит за счёт механической подвижки, на которой расположен вал с моделями рабочих лопаток. Макет также содержит персональный компьютер промышленного исполнения с видеомонитором. В роли видеозонда применяется видеокамера с импульсным источником излучения.

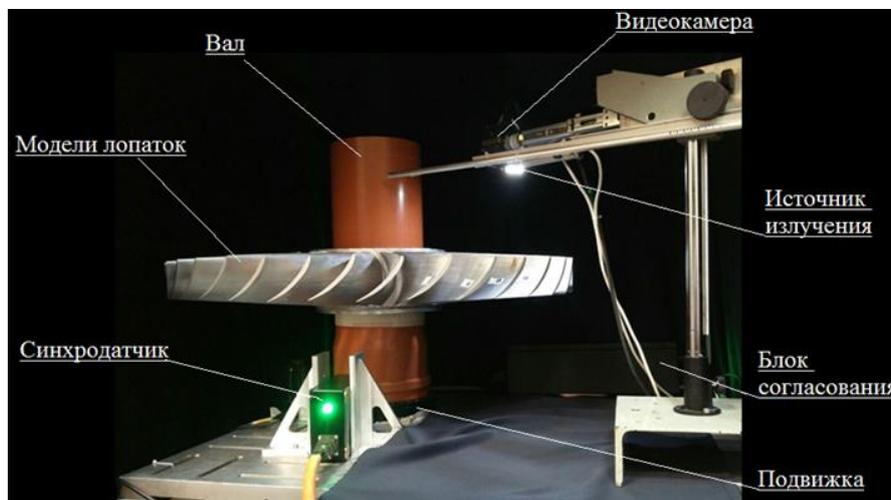


Рис. 5. Внешний вид макета для проведения исследования

Созданный стенд позволяет регистрировать изображения в статическом режиме и в режиме валоповорота. В результате проведённого эксперимента с захватом кадров лопаток в статике и в режиме динамической нагрузки была получена серия кадров в разных режимах работы.

Была сделана оценка при помощи обработки полученных кадров в программе Matlab. При помощи программы были получены два графика распределения интенсивности на определённом отрезке для снятых кадров, из которых можно судить о распределении облучённости в сечении рабочей лопатки. После обработки оба графика видеосигналов были совмещены на одной координатной системе в программе Excel и проанализированы. Полученные графики зависимости облучённости от номера пикселя выбранного сечения, представлены на рис. 6 [5].

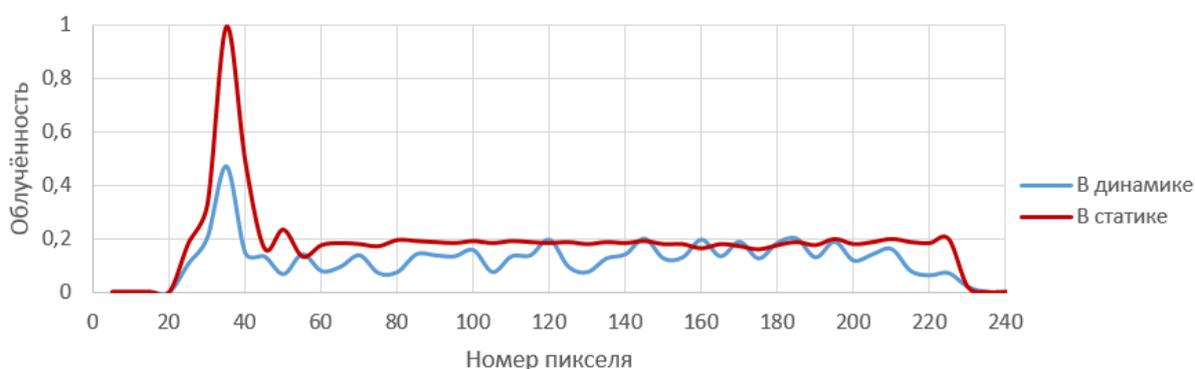


Рис. 6. Графики распределений облучённости на лопатке

Анализ построенных графиков показал, что при съёмке кадров лопаток в движении уровень видеосигнала существенно падает, так как уровни сигналов существенно отличаются. Особенно хорошо это видно по пикам на графиках. При съёмке в движении график получился более плавным по краям, что также позволяет сделать вывод о необходимости увеличения уровня подсветки и пропорциональном уменьшении времени экспозиции.

После съёмки тридцати кадров модели лопатки произведен расчет для сечения этой лопатки с размером хорды 103 мм. Эксперимент показал, что оценка измеренного значения этой величины в статике составила 103,09 мм. Среднее квадратическое отклонение результатов измерений 0,39 мм. В динамике эксперимент по оценке величины суммарной погрешности измерений показал, что для того же сечения лопатки оценка измеренного значения составила 103,33 мм при СКО результатов измерений величины хорды равной 0,88 мм. Ожидаемое увеличение суммарной погрешности обусловлено нестабильностью частоты вращения ротора и скоростным смазом изображения.

В ходе работы были проанализированы основные составляющие погрешности контроля. Экспериментальные исследования, в целом, подтвердили результаты компьютерного моделирования. Применение системы и метода позволяет сократить время периодического ремонта паровых турбин различного типа электростанций и позволяет повысить экономическую эффективность предприятий региона и России.

Литература

1. Alexander S. Leyzerovich, Steam Turbines for Modern Fossil-Fuel Power Plants. The Fairmont Press. 2007. 552 с.
2. Хаймов В.А. Малорасходные режимы ЦНД турбины Т-250/300-240/. СПб: БХВ-Петербург. 2007. 240 с.

3. Шуть Г.А, Кортаев В.В., Пузырев Е.И., Рыжова В.А., Тимофеев А.Н., Ахмеров А.Х., Родикова Л.С. Видеоэндоскопирование рабочих лопаток паровых турбин и контроль их геометрических параметров // Оптический журнал. 2020. Т. 87. № 11. С. 58-67.
4. Родикова Л.С. Кортаев В.В., Тимофеев А. Н. Анализ системы видеоэндоскопирования рабочих лопаток паровых турбин в режиме валоповорота// // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО, Санкт-Петербург. 2021.
5. Родикова Л.С. Исследование изменений видеосигнала при переходе к динамическому измерению износа лопаток паровых турбин при валоповороте // Сборник трудов IX Конгресса молодых ученых. 2020.

Рюмина Елена Витальевна

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М42211,

направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: ryumina_ev@mail.ru

Карпов Алексей Анатольевич

Год рождения: 1978

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

д.т.н., профессор, доцент,

e-mail: karpov@itmo.ru

УДК 004.932.2

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО МИМИКЕ ЛИЦА**

Е.В. Рюмина

Научный руководитель – д.т.н., профессор, доцент А.А. Карпов

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка и исследование интеллектуальной системы для комплексного паралингвистического анализа речи» (РНФ, №18-11-00145) и стипендиальной программы Леонарда Эйлера «Исследование видео признаков на основе непрерывного распознавания эмоций».

Аннотация

В работе рассмотрены основные этапы анализа изображений для распознавания эмоций человека по мимике лица. Предложен метод машинной классификации эмоций комплекующий в себе разные способы аугментации данных и регуляризации нейросети. Точность полученная с помощью предложенного метода превосходить state-of-the-art точность на 1,2%. Реализована автоматическая система распознавания эмоций, которая по мимике лице человека в режиме реального времени распознает его эмоции.

Ключевые слова

Мимика лица, извлечение визуальных признаков, предварительная обработка данных, классификация эмоций, нейросети, аугментация данных.

Аффективные вычисление – технологии способные ощущать и чувствовать эмоциональное состояние человека как человек. Такие крупные компании как Amazon, Apple, Сбербанк и другие уже внедряют в своих виртуальных ассистентов эмоциональный интеллект, который, например, способен в зависимости от эмоционального состояния пользователя предлагать адаптируемые ответы. Так, мимика лица описывает 55% эмоционального состояния человека, 38% приходится на акустические характеристики голоса и лишь 7% составляет смысловая нагрузка слов [1]. Поэтому системы распознавания эмоций человека по мимике лица актуальны и задействованы в различных областях и дисциплинах, таких как психология, медицина, безопасность, маркетинг и другие.

На рис. 1 представлена функциональная схема одного из возможных методов анализа изображений для распознавания эмоций человека по мимике лица. Анализ изображений включает в себя три основных этапа: предварительная обработка,

извлечение визуальных признаков и машинная классификация эмоций. На каждом из этапов могут быть применены различные методы необходимые для их выполнения, более подробно с методами можно ознакомиться в работе [2].



Рис. 1. Метод анализа изображений для распознавания мимики лица

Для создания надежной системы распознавания эмоций человека по мимике лица необходимо исследовать, проанализировать и выбрать правильные методы предварительной обработки, извлечения визуальных признаков и машинной классификации эмоции. Этап извлечения визуальных признаков в задачи распознавания эмоций по лицу является наиболее важным, поскольку мимика лица может быть выражена, как в движении мышц лица и изменении положений лицевых компонент (рот, брови и т.д.), характеризующие геометрические лицевые признаки, так и в образовании морщин, теней на кожи и другое, характеризующие текстурные лицевые признаки. Каждый из видов лицевых признаков имеет свои преимущества и недостатки. Для извлечения геометрических лицевых признаков требуется меньше объема свободного дискового пространства, но при этом более надежные методы обнаружения, так как они более чувствительны к шуму. Текстурные лицевые признаки трудно обобщить под разных людей, к тому же они зависимы от освещения. Несмотря на это оба вида лицевых признаков играют важную роль в распознавании эмоций человека по мимике лица. Однако наиболее популярны текстурные лицевые признаки [2, 3], извлекаемые с помощью сверточных нейронных сетей (от англ. Convolution Neural Networks, CNNs), поскольку они позволяют достичь большей точности методов машинной классификации в неконтролируемых условиях [4].

В работе [4] предложен метод машинной классификации эмоций в основе которого лежит модель нейросети ResNet-18 и Deep Attentive Center Loss (DACL). Дополнительно авторы использовали аффинные преобразования для аугментации данных. На проверочной выборке крупномасштабного корпуса AffectNet [5] авторам удалось достичь точности 65,2% для 7 категорий эмоций («нейтральное состояние» или «нейтральность», «счастье», «печаль», «удивление», «страх», «отвращение» и «злость»). На сегодняшний день данный метод считается state-of-the-art для проверочной выборки корпуса AffectNet.

Исследование в рамках данной работы проводится также на корпусе AffectNet. Корпус содержит более 1 млн. изображений локализованных лиц из Интернета, из которых 300 тыс. изображений аннотированы на 8 категорий эмоций (дополнительно рассматривается «презрение»). Данный корпус был выбран для исследования, потому что он единственный на сегодняшний день крупномасштабный корпус статических изображений лиц, собранных в неконтролируемых условиях. Для сравнения эффективности предлагаемого в данной работе метода машинной классификации с эффективностью метода предложенного в [4] категория эмоций «презрение» не рассматривается. В табл. 1 представлено распределение по 7 категориям эмоций, где

категориям эмоций: «нейтральность», «счастье», «печаль», «удивление», «страх», «отвращение» и «злость» соответствуют номера от 1 до 7. Как можно заметить из таб. 1 в обучающей выборки имеется сильный дисбаланс экземпляров по категориям эмоций. Так около 74,0% экземпляров приходится на две категории эмоций «нейтральность» и «счастье». Для уменьшения дисбаланса применяется увеличение данных с помощью экземпляров из корпуса FER2013 для категорий эмоций «печаль» на 16,0%, «удивление» - 18,4%, «страх» - 39,1%, «отвращение» - 12,2%, «злость» - 13,8%.

Таблица 1

Распределение экземпляров по категориям эмоций

Выборка	1	2	3	4	5	6	7
Обучающая	74874	134415	25459	14090	6378	3803	24882
Проверочная	500	500	500	500	500	500	500
После увеличения данных экземплярами из корпуса FER2013							
Обучающая	74874	134415	40289	17261	10475	4239	28877

Для создания автоматической системы распознавания эмоций человека по мимике лица необходимо разработать метод машинной классификации. На рис. 2 представлена функциональная схема предложенного метода машинной классификации.

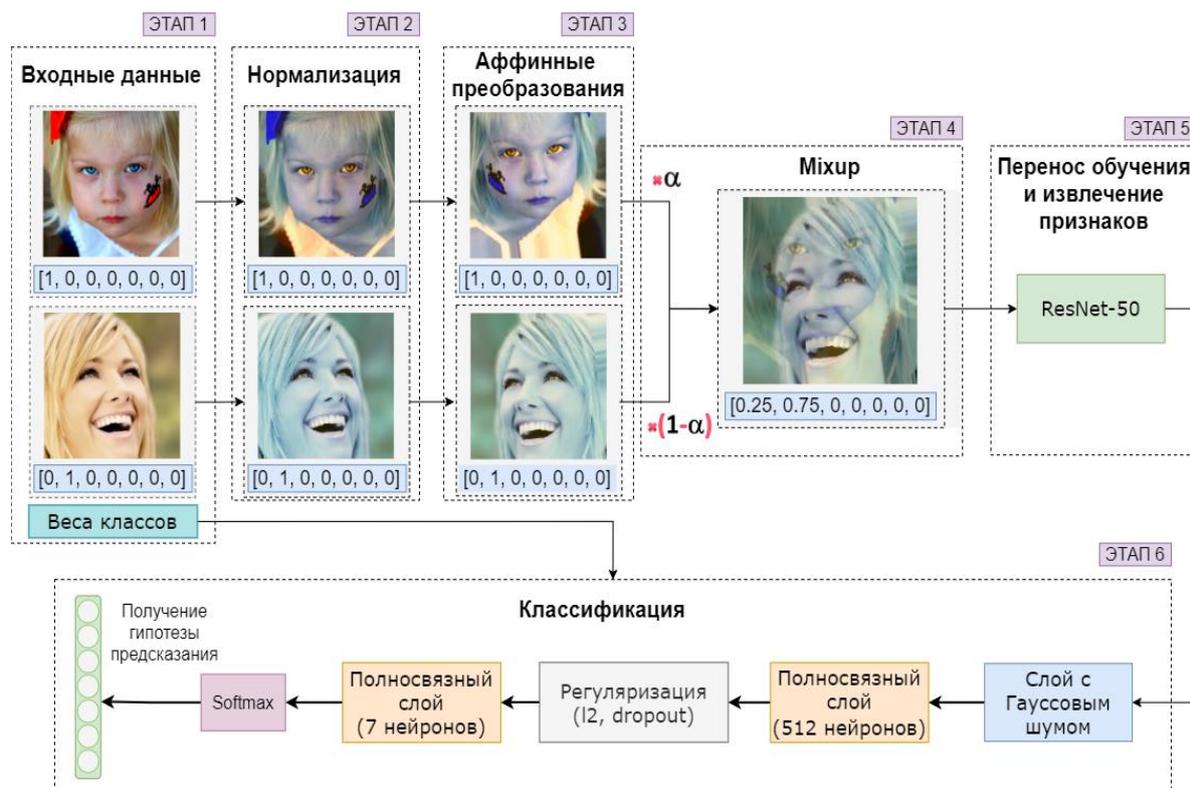


Рис. 2. Функциональная схема метода машинной классификации эмоций

Из рис. 2 видно, что метод машинной классификации включает в себя 6 этапов. Этапы 1-4 отвечают за предварительную обработку изображений. На 5 этапе выполняется дообучение предварительно обученной модели нейросети ResNet-50 с последующим извлечением текстурных лицевых признаков. Последний этап представляет собой многослойный перцептрон (от англ. Multilayer Perceptron, MP) –

нейросеть выступающая в качестве классификатора эмоций. Отличительной особенностью данного метода является использование 3 способов аугментации данных (аффинные преобразования, регулировка контрастности изображений и Mixup), 3 способов регуляризации классифицирующей нейросети (слой с Гауссовым шумом, L2-регуляризация и прореживание нейронов (от англ. Dropout)), использование обратного пропорционального взвешивания классов и способ снижения скорости косинусный отжиг с холодным перезапуском (от англ. Cosine Annealing). Косинусный отжиг выполняется 5 циклов на протяжении 30 эпох, с максимальной и минимальной скоростью 0,0001 и 0,00001, соответственно. Также предлагается способ генерации обучающих данных на основе Mixup (см. рис. 3).

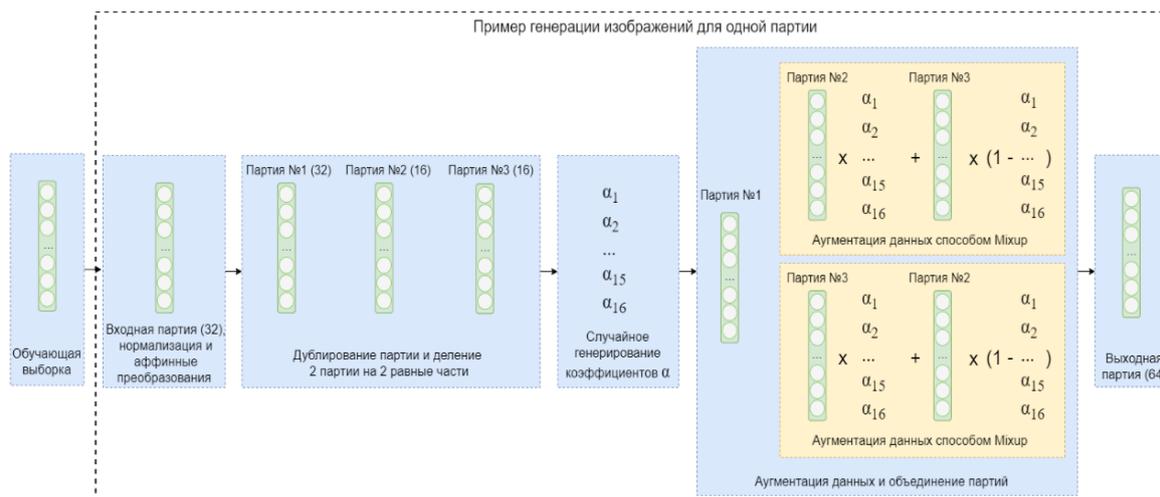


Рис. 3. Генерация изображений на примере одной партии

Как можно заметить из рис. 3, на вход генератора обучающих данных подается партия, состоящая из 32 изображений. К каждому изображению применяются нормализация (канальная нормализация и приведение изображений к разрешению 224×224 пикселей), а также способы аугментации данных в виде аффинных преобразований и регулировки контрастности изображения. Затем, партия дублируется, ее копия делится на 2 равные части, далее генерируются коэффициенты α . На следующем шаге выполняется линейная интерполяция изображений и их меток согласно Mixup ко второй и третьей партиям. На выходе генератора к исходным 32 изображениям добавляются новые 32 изображения. Таким образом, происходит увеличения данных в двое. При классическом способе генерации данных, на вход поступают две обучающие выборки, одна из которых является копией основной. Затем выборки перемешиваются и извлекаются по N изображений из каждой выборки. Далее выполняется попарное линейное интерполирование изображений, на выходе генератора получается такое же количество изображений, как на входе. В табл. 2 представлены результаты экспериментов при применении различных способов улучшения точности метода машинной классификации. Параметры для базового метода машинной классификации установлены: аффинные преобразования и регулировка контрастности изображений; обратное пропорциональное взвешивание классов; модель нейросети ResNet-50; прореживание нейронов с вероятностью 20%; алгоритм оптимизации SGD с фиксированной скоростью обучения равной 0,0001; размер партии 64; количество эпох 30.

Результаты экспериментов

№ метода	Способ улучшения точности метода машинной классификации	Точность, %	Δ, %
1	Базовый метод машинной классификации	62,8	-
2	Метод №1 + расширение обучающей выборки с помощью корпуса FER2013	63,2	0,4
3	Метод №2 + L2-регуляризация (0,0001)	63,6	0,8 (0,4)
4	Метод №3 + Слой с Гауссовым шумом	64,3	1,5 (0,7)
5	Метод №4 + Cosine Annealing	64,6	1,8 (0,3)
6	Метод №5 + Mixup (классический способ генерации данных)	65,2	2,4 (0,6)
7	Метод №5 + Mixup (предложенный способ генерации данных)	66,4	3,6 (1,8)

Из табл. 2 видно, что с помощью предложенного метода машинной классификации удалось повысить точность в сравнении с базовой точностью на 3,6%. В том числе точность, полученная с помощью предложенного метода, превосходит state-of-the-art точность на 1,2%. Таким образом, была получена Emo-AffectNet модель нейронной сети для классификации эмоций.

Предложенный метод машинной классификации был включен в автоматическую систему распознавания эмоций человека по мимике лица. В систему также встраиваются детектор лица RetinaFace, метод сглаживания вероятностей на основе окна Хэмминга и другие необходимые сторонние библиотеки для считывания, отображения и хранения информации (Flask, OpenCV, Pandas и другие). Архитектура системы представлена на рис. 4.

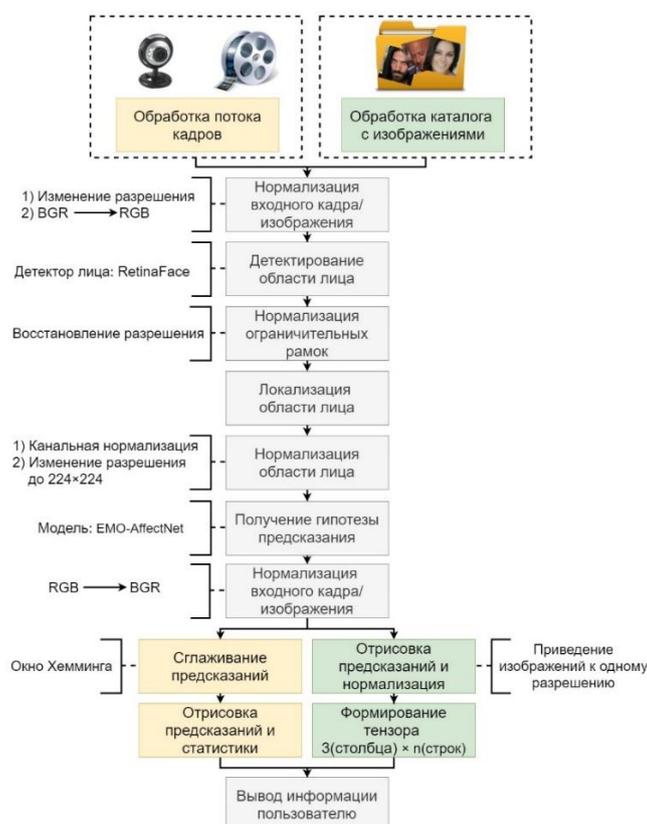


Рис. 4. Архитектура автоматической системы распознавания эмоций

Как можно заметить из рис. 4 система работает в трех режимах: видео, web-камера и каталог с изображениями. На выходе пользователь получает графическую информацию о результате распознавания в пользовательском Интернет-браузере. К основным достоинствам системы можно отнести:

1. Система является web-приложением, а значит не требует загрузки и установки.
2. Система работает в режиме реального времени (более 40 кадров в секунду при частоте кадров исходного видео 30).
3. Нет ограничений в разрешении и расширении входного видео или изображений.
4. Применяется метод временного сглаживания вероятностных прогнозов на основе окна Хемминга (вероятностные прогнозы по текущему кадру, вычисляются на основе прогнозов по предыдущим кадрам, причем чем дальше находится предыдущий кадр от текущего, тем меньше его вес при сглаживании текущего кадра).

На рис. 5 представлен вывод графической информации в Интернет-браузере пользователя о результате распознавания эмоций на примере каталога с изображениями.

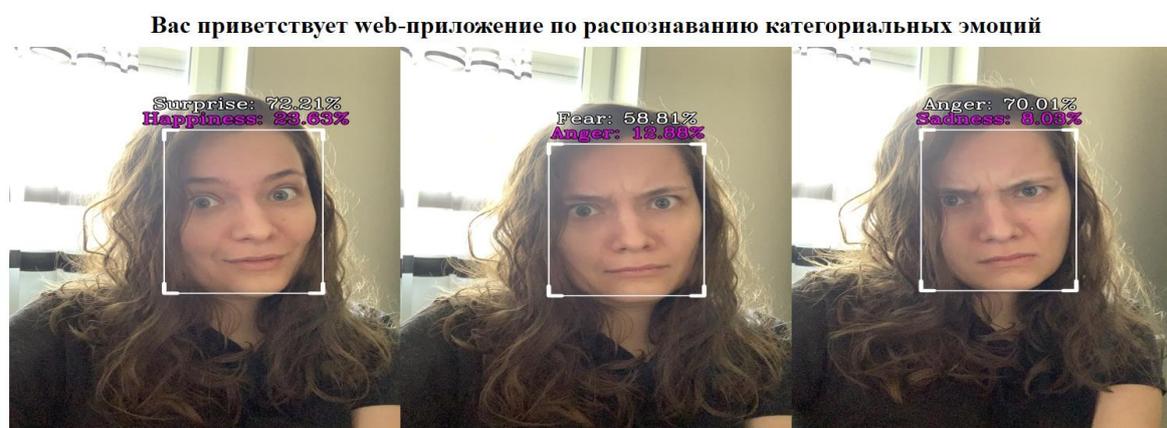


Рис. 5. Пример вывода графической информации в Интернет-браузере

Из результата можно заметить, что система достаточно уверенно распознает три категории эмоций из трех имитированных, а именно: «удивление» (от англ. Surprise), «страх» (от англ. Fear) и «злость» (от англ. Anger). Кроме того, можно заметить, что на первом изображении представлена смешанная эмоция «радостное удивление» и система также способна это распознать, как и человек, что говорит о том, что система научилась распознавать эмоции человека.

В ходе работы были рассмотрены основные этапы анализа изображений для распознавания эмоций человека по мимике лица. Были изучены и экспериментально исследованы различные способы улучшения точности машинной классификации эмоций. Был предложен метод машинной классификации эмоций, точность машинной классификации превосходит state-of-the-art точность на 1,2%. Была реализована автоматическая система распознавания эмоций человека по мимике лица, работающая в режиме реального времени и способная с высокой вероятностью распознавать эмоции на реальных данных.

В дальнейшей работе планируется повысить точность метода машинной классификации эмоций за счет использования динамических кадров и рекуррентных нейросетей для пространственно-временного анализа изменений в мимике лица человека.

Литература

1. Семёнова А.П., Павлыш В.Н. Анализ мимических выражений для задачи распознавания эмоций // Проблемы искусственного интеллекта. 2020. N 4 (19). С. 69–79.
2. Рюмина Е.В., Карпов А.А. Аналитический обзор методов распознавания эмоций по выражениям лица человека // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. N 2(126). С. 163–176.
3. Ryumina E., Verkholyak O., Karpov A. Annotation Confidence vs. Training Sample Size: Trade-off Solution for Partially-Continuous Categorical Emotion Recognition // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. 2021 (в печати).
4. Farzaneh A.H., Qi X. Facial expression recognition in the wild via deep attentive center loss // Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. 2021. P. 2402–2411.
5. Mollahosseini A., Hasani B., Mahoor M.H. Affectnet: A database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild // IEEE Transactions on Affective Computing. 2017. Vol. 10. No 1. P. 18–31.

Токбаева Асемгуль Амамбаевна

Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
студент группы №Т42151с,
направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,
e-mail: asematok@gmail.com

Баракова Надежда Васильевна

Год рождения: 1954
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: n.barakova@mail.ru

УДК 82.893:574.9

**БИЗНЕС-ТЕЗИС "PREUT": РАЗРАБОТКА
ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО**

А.А. Токбаева

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.В. Баракова

Работа выполнена в рамках темы НИР №620146 «Дизайн функциональных продуктов питания адаптогенного действия, для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, метаболического синдрома и онкологических заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ».

Аннотация

В работе рассмотрено использование инвазивного растения борщевика Сосновского как субстрата для получения биоэтанола и целлюлозы. Для этого проведен анализ сока борщевика и определены показатели, влияющие на степень сбраживания и динамику выделения диоксида углерода. Из жома борщевика после прессования методом кислотно-щелочной обработки получена целлюлоза с содержанием 90,2% α-целлюлозы. Получение таких продуктов из нетрадиционного сырья, как борщевик, может использоваться для разработки комплексной технологии переработки борщевика.

Ключевые слова

Борщевик, разработка технологии, ферментные препараты, биоэтанол, целлюлоза.

Борщевик Сосновского является инвазивным видом, который быстро приспособляется к изменяющимся климатическим условиям. Данный вид встречается почти во всех регионах России, особенно в центральной его части. В советское время именно в этой части страны борщевик выращивали как силосную культуру, однако доводы об ухудшении качества молока, возникновение отравлений у крупного рогатого скота и получение ожогов при соприкосновении с этим растением, обусловленных содержанием фуранокумаринов, свело к минимуму использование борщевика как кормовой культуры и в дальнейшем привело к его полному исключению из сельскохозяйственных культур, несмотря на то, что в течение двух-трех последних десятилетий двадцатого века активно разрабатывались сорта, в которых содержание фуранокумаринов сводилось к минимуму [1].

С прекращением должного ухода за растением и появлением большего количества заброшенных сельскохозяйственных площадей борщевик стал неконтролируемо распространяться.

На территории Ленинградской области площадь распространения борщевика составляет более 100 тыс. га. Агроземель, пораженных борщевиком, насчитывается уже более 16,2 тыс. га на административных землях – более 83,8 тыс. га [2].

На сегодняшний день на территории Ленобласти действуют программы по уничтожению борщевика. За период 2018-2021 годы на борьбу с борщевиком из бюджета Ленинградской области выделено более 160 млн рублей [3]. Мероприятия по устранению этого растения осуществляются с применением химических, механических и биологических методов. Распространено применение гербицидов сплошного действия, но высокий оборот химических веществ при обработке почв наносит вред экосистемам.

Прогресс по очистке территорий от борщевика незначительный, так как его удаление идет в одних и тех же районах в течение нескольких лет, а борщевик продолжает распространяться. Имеется необходимость разработать такую стратегию, которая позволит восполнять затраты, которые идут на борьбу с борщевиком и извлекать при этом еще и пользу.

Одним из способов борьбы с борщевиком является скашивание его зеленой массы и выкорчевывание. Актуально использовать эту биомассу для переработки и получения альтернативных продуктов, например, для получения биоэтанола либо для получения целлюлозы. Химический состав борщевика позволяет рассматривать его для получения из него альтернативных источников энергии взамен традиционным ресурсам, таким как нефть, или получение целлюлозы с применением биотехнологических способов переработки растительного сырья взамен традиционным способам получения целлюлозы из древесных материалов. Решение этих вопросов является актуальной задачей.

Для производства биоэтанола необходимо определить вещества, которые могут влиять на процесс брожения. Химические вещества борщевика обычно рассматриваются как характеристика качества силосного растения, состав сока борщевика как компонента, пригодного для сбраживания, проанализирован в меньшей степени. В связи с этим определены основные химические составляющие борщевика, необходимые для питания дрожжей в процессе брожения, а также для наибольшего выхода биоэтанола.

Для проведения экспериментов использовалась биомасса борщевика, собранного в Волхонском СНТ (город Пушкин, Санкт-Петербург) в сентябре 2019 г. Образцы для анализов были помещены в пакеты и хранились при температуре -18°C .

Химический состав сока борщевика 2019 г сбора, хранившегося при температуре -18°C , представлен в табл. 1. Влажность борщевика при его анализе составила $86,22 \pm 0,67\%$.

Таблица 1

Химические показатели сока борщевика Сосновского

Содержание α -аминного азота, мг/дм ³	Массовая концентрация растворимых углеводов, г/100 мл	Массовая доля сухих веществ, °Brix	Титруемая кислотность, г винной кислоты/дм ³ сока	pH
215,91±2,72	1,69±0,14	6,12±0,42	2,35±0,20	5,51±0,04

Количество свободного азота 215,91 мг/дм³ достаточно для питания и поддержания физиологического состояния дрожжей. Концентрация растворимых углеводов и доля сухих веществ ниже, чем в стандартном осажаренном сусле из зернового сырья, поэтому

перед внесением дрожжей, сырье необходимо обработать для извлечения из него гидролизуемых соединений. Таким способом обработки может являться ферментативная обработка с использованием пектолитических, протеолитических или целлюлолитических ферментов.

На интенсивность и продолжительность брожения влияет штамм дрожжей. Штаммовые особенности дрожжей определяют устойчивость дрожжей к негативным воздействиям, например, высокой токсичности среды или низким количеством быстро сбраживаемых сахаров.

Для проведения исследований были использованы штаммы спиртовых дрожжей DistilaMax DS, Fermiol, Thermosacc, как наиболее используемые в спиртовой промышленности. Готовили водные суспензии с содержанием дрожжей 1%, 2% и 10%. Для проведения анализа из измельченных листьев и стеблей борщевика получали сок с содержанием 6°Brix сухих веществ. Далее смешивали 1 см³ суспензии и 1 см³ сока. Получившуюся смесь объемом 2 см³ набирали в одноразовые медицинские шприцы объемом 10 см³. Открытый конец шприца запаивали и перемешивали растворы пятикратным переворачиванием шприцов. Инкубировали суспензии при 30°С в течение 24 часов [4]. По высоте подъема поршня определяли количество образовавшегося CO₂ (рис. 1).

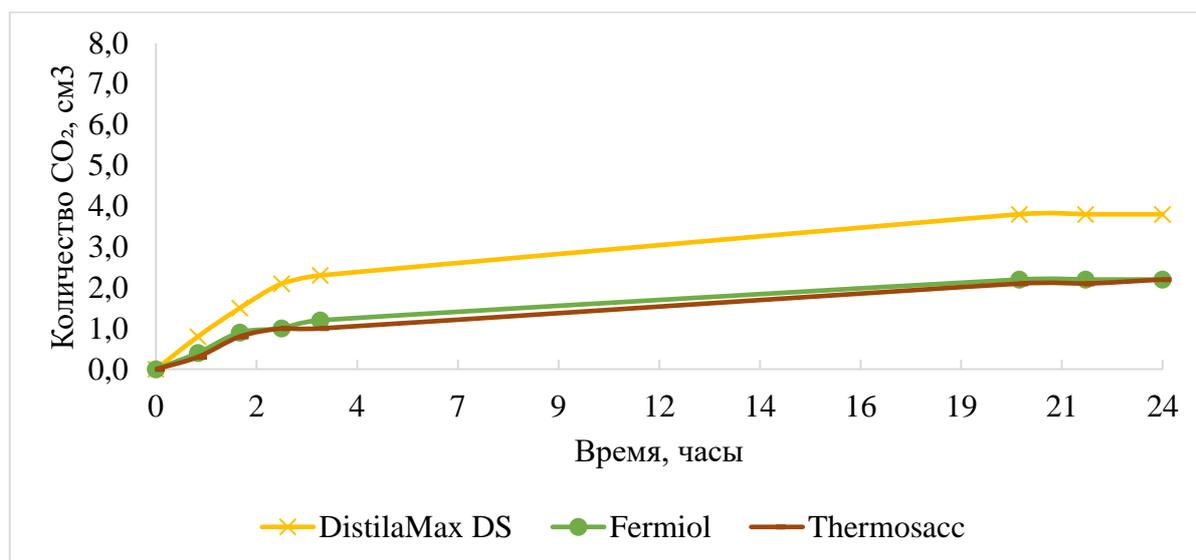


Рис. 1. Динамика выделения CO₂ в соке борщевика при использовании 10% дрожжевой суспензии

Как следует из графиков, представленных на рис. 1, наибольшая бродильная активность наблюдается при использовании дрожжевой суспензии DistilaMax в количестве 10%, количество выделившегося диоксида углерода при этом составляло 3,8 см³.

При сбраживании сока с внесением дрожжевых суспензий с концентрацией 1% и 2% выделение CO₂ по прошествии 24 ч не наблюдалось.

Для увеличения выхода сока, а также для увеличения редуцирующих веществ используют ферментные препараты, которые позволяют направленно моделировать состав сока. Из-за наличия в борщевике пектино-белкового комплекса [5], для увеличения выхода сока выбраны ферментные препараты комплексного действия, обладающие протеолитическо-пектиназной активностью.

Для проведения исследования листья и стебли борщевика измельчали механически до достижения размера частиц не более 10 мм. В полученную мезгу вносили ферментные

препараты комплексного действия: Fructozym UF, Fructozym P6-L, Fructozym Flux (Erbsloeh, Германия). Количество вносимых ферментных препаратов выбирали, основываясь на рекомендациях, приведенных в сертификатах от производителя ферментных препаратов, доза внесения составила 0,05% от массы измельченного борщевика.

Ферментативную обработку измельченной зеленой массы проводили при температуре 50 °С в течение 1,5 часов, при этом каждые 0,5 часа отбирали пробу для определения сухих веществ на рефрактометре PTR45. По окончании ферментативной обработки проводили прессование мезги и выделение сока.

Показатели выхода сока борщевика после трехчасовой тепловой обработки отражены на рис. 2.

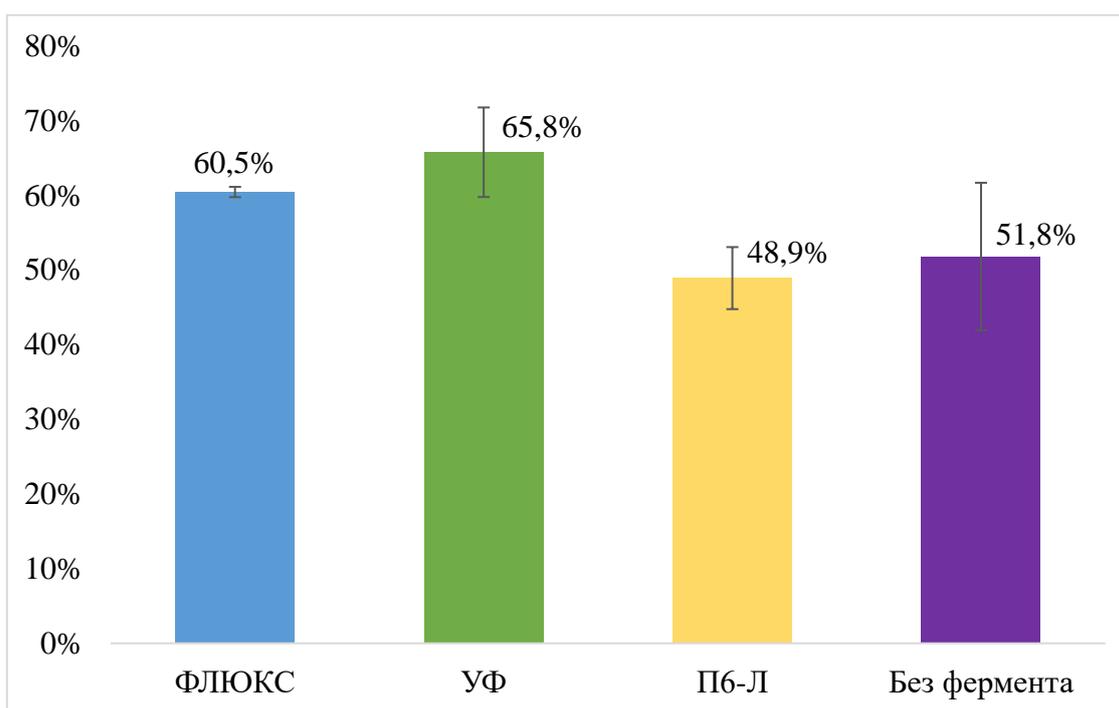


Рис. 2. Выход сока после ферментативной обработки измельченного борщевика с применением ферментных препаратов

Было получено, что применение ферментных препаратов Fructozym UF и Fructozym Flux увеличивает выход сока по сравнению с образцом без добавления фермента на 14,0% и 8,7% соответственно. Внесение ферментного препарата Fructozym P6-L привело к снижению выхода сока, что обусловлено более глубоким разрушением структуры биомассы борщевика и нарушением дренажного слоя.

Наибольший выход сока – 65,8% получен из мезги борщевика, обработанной ферментным препаратом Fructozym UF.

Динамика накопления экстрактивных веществ в соке во время ферментативной обработки измельченного борщевика отражена на рис. 3.

Максимальное содержание сухих веществ наблюдалось в образцах сока, прошедших обработки препаратами Fructozym UF – 10,6% – и Fructozym P6-L – 9,8% в течение 1,5ч.

Данные экспериментов показывают, что для интенсификации извлечения сока из борщевика рационально использовать ферментные препараты, в состав которых входит пектиназа. Лучшим из исследованных ферментных препаратов является препарат Fructozym UF.

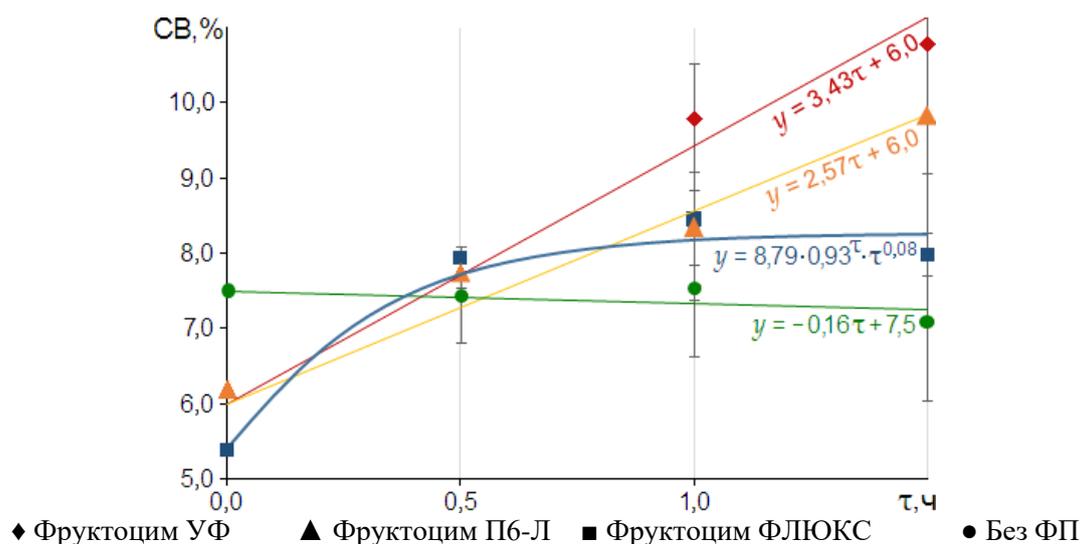


Рис. 3. Динамика накопления растворенных сухих веществ в соке

Далее проводили сбраживание сока, полученного из борщевика, обработанного с добавлением Fructozym UF в количестве 0,05% от зеленой массы растения в течение 1,5 часов. Доза внесения спиртовых дрожжей DistilaMax DS составила 25 г/г. Температура реактивации сухих спиртовых дрожжей – 30 °С. В течение срока брожения отмечали уменьшение массы бродящего сока. По окончании изменения массы бражки проводили перегонку и определяли содержание спирта ареометрическим способом, результаты представлены на рис. 4.

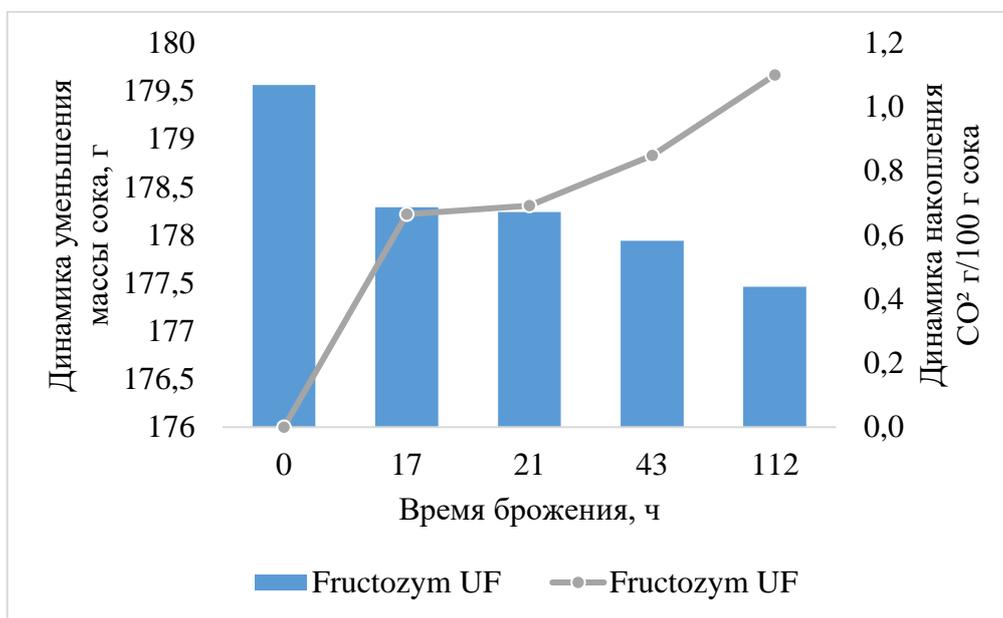


Рис. 4. Динамика брожения сока борщевика с использованием Fructozym UF

Интенсивность брожения сока борщевика оценивали по количеству диоксида углерода, выделявшегося в единицу времени из определенного объема среды. Так в исследуемом образце накопление углекислого газа шло медленно вследствие низкого содержания сбраживаемых углеводов. Низкое содержание сбраживаемых углеводов в соке и получение в сброженном соке спирта в количестве 1,5 % об. говорит о необходимости в проведении дальнейших исследований для повышения количества

сбраживаемых углеводов путем кислотного или ферментативного гидролиза целлюлозы целлюлолитическими ферментами и получение сбраживаемого моносахарида – глюкозы.

Из надземной части растения, помимо биоэтанола, можно получать целлюлозу, содержание которой в борщевике достигает 40% [6]. Актуально из спрессованной после получения сока части борщевика извлекать целлюлозу.

Для получения целлюлозы из борщевика сырье измельчали до размера частиц не более 10 мм. Затем сырье прессовали ручным прессом, отделяли сок и жом.

Жом в количестве 200 г с влажностью 73,2% смешивали с 0,4н раствором соляной кислоты в соотношении 1:6 и выдерживали на водяной бане при температуре 90 °С в течение 3 ч. После проведения кислотнo-тепловой обработки полученное сырье промывали дистиллированной водой до pH 5-6.

Полученную массу целлюлозы борщевика в количестве 1000 г с влажностью 98,3%, смешивали с 1% раствором едкого натра в соотношении 1:5. Полученную массу выдерживали в бане при температуре 60 °С в течение 1,5 ч. По прошествии щелочно-тепловой очистки целлюлозу промывали дистиллированной водой до pH 5,5.

После проведенных манипуляций получили целлюлозу массой 167,9 г влажностью 91,3%, которую повторно обрабатывали соляной кислотой с концентрацией 0,1 н в течение 1 ч при температуре 60 °С. Полученную целлюлозу промывали водой до pH 5-6, отжимали и получали целлюлозу массой 108,8 г с влажностью 72%.

Очищенную целлюлозу высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 60 °С. Выход целлюлозы из жома борщевика составил 6,75%.

Для проверки чистоты целлюлозы определяли содержание α -целлюлозы [7], который показывает однородность сырья и его стойкость к воздействию щелочей. Содержание альфа-целлюлозы по отношению к полученной целлюлозе составляет 90,2%.

В результате проведенных испытаний проанализирован химический состав борщевика и определены компоненты, которые могут влиять на продолжительность и активность брожения. Из сока борщевика при предварительной обработке в присутствии ферментов получена бражка с массовой долей спирта до 1,5% об. Из жома борщевика получена целлюлоза с 90,2% содержанием α -целлюлозы.

Мировой рынок целлюлозы активно развивается и для уменьшения использования древесины актуально использовать альтернативное сырье. Производство целлюлозы из сырья с низкой добавочной стоимостью, каким является борщевик, целесообразно экономически.

Расширение сферы переработки биологического сырья в биотопливо позволит снизить экологическую нагрузку на природу, а переработка борщевика на целлюлозу позволит снизить использование ценных хвойных пород деревьев.

Полученные данные в дальнейшем могут быть использованы для разработки комплексной технологии переработки борщевика.

Литература

1. Озерова Н.А., Кривошеина М.Г. Особенности формирования вторичных ареалов борщевиков Сосновского и Мантегацци (*Heracleum sosnowskyi*, *H. mantegazzianum*) на территории России //Российский журнал биологических инвазий. 2018. Т. 11. №. 1. С. 78-87.
2. Жиглова О.В., Ходачек О.А. Опыт борьбы с распространением борщевика сосновского на территории ленинградской области //Региональная экономика и развитие территорий. 2020. С. 190-195.

3. Сведения о закупках, связанных с выполнением мероприятий по борьбе с зарослями *H. sosnowskyi* //Единая информационная система в сфере закупок Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/erz/main/public/home.html> (дата обращения: 07.03.21).
4. Давыденко С.Г., Дедегкаев А.Т., Меледина Т.В. Новый экспресс-метод оценки физиологического влияния слабоалкогольных и безалкогольных напитков //Пиво и напитки. 2014. №. 5. С. 58-61.
5. Шахматов Е.Г., Михайлова Е.А., Макарова Е.Н. Структурно-химическая характеристика и биологическая активность полисахаридов *Heracleum Sosnowskyi* Manden //Химия растительного сырья. 2015. №. 4. С.15-22.
6. Мусихин П.В., Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава борщевика сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката / П.В. Мусихин, А.И. Сигаев // Современные наукоемкие технологии. 2006. №. 3. С. 65-67.
7. ГОСТ 6840-78. Целлюлоза. Метод определения содержания альфа-целлюлозы.

Южакова Дарья Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

физико-технический мегафакультет,

факультет нанoeлектроники,

студент группы № L42173,

направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника

и лазерные технологии,

e-mail: yuzhakovadasha@gmail.com

Синев Дмитрий Андреевич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

физико-технический мегафакультет,

факультет нанoeлектроники,

к.т.н.,

e-mail: sinev@itmo.ru

УДК 544.032.65

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ
ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ
ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ТИТАНА**

Д.С. Южакова

Научный руководитель – к.т.н. Д.А. Синев

Работа выполнена в рамках темы НИР №620169 «Разработка методов и средств решения прикладных задач лазерной и волноводной фотоники, оптоэлектроники и современной оптики».

Аннотация

В данной работе продемонстрировано формирование термохимических лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур (ЛИППС) на тонких пленках титана, а также показана возможность записи функциональных оптических элементов. Структурирование поверхности проводилось с помощью коммерчески-доступного наносекундного комплекса, позволяющего получать высококачественные структуры гораздо эффективнее, чем при использовании фемтосекундной лазерной системы.

Ключевые слова

ЛИППС, лазерная термохимическая запись, титановые пленки, лазерное окисление, микроструктурирование.

Формирование лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур (ЛИППС) наблюдается на широком спектре материалов под действием лазерного излучения и привлекает как фундаментальное, так и прикладное внимание в современной фотонике. Такие структуры в основном формируют под действием фемто- и пикосекундных лазерных импульсов и высокотемпературном нагреве (выше порога абляции). При этом наблюдаются случайные отклонения структур от линейности, из-за которых их упорядоченность нарушается. Создание ЛИППС в доабляционном температурном режиме позволило бы избежать плавления и термических напряжений, а это в свою очередь помогло бы уменьшить отклонения в периоде. Также во избежание нарушения дальнего порядка область обработки ограничена малым размером пучка

(порядка микрона), что влияет на производительность обработки поверхностей с большой площадью.

В настоящей работе для получения ЛИПЭС была использована пленка титана толщиной порядка 10 нм (исходное пропускание в видимом диапазоне около 10%) на подложке из стекла К8 толщиной 2,85 мм. В качестве источника излучения был использован иттербиевый волоконный лазер со случайной поляризацией излучения, с длиной волны 1,07 мкм в составе лазерного комплекса МиниМаркер™ (рис. 1а). В некоторых экспериментах использовалась призма Глана-Тейлора, изменяющая поляризацию на линейную. Поляризация исходного пучка – смешанная, частично поляризованная, имеющая магистральное направление с наибольшей амплитудой (рис. 1б).

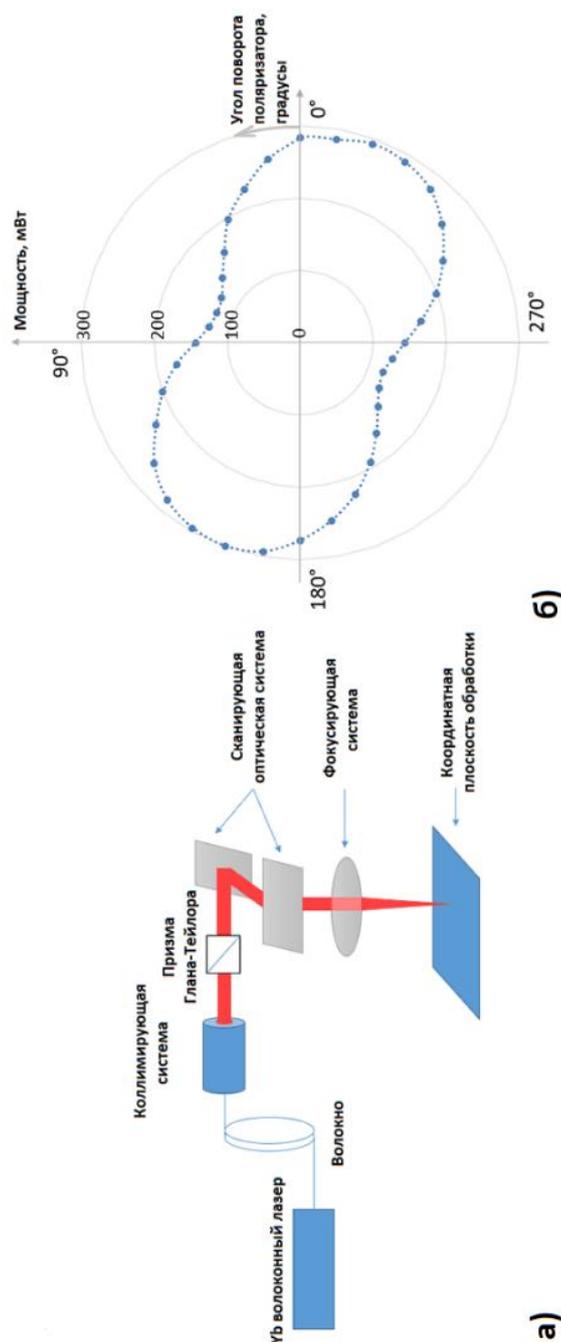


Рис. 1. а) схема эксперимента; б) результаты измерения мощности лазерного излучения, прошедшего через оптическую систему, в зависимости от угла поворота поляризатора (призмы Глана-Тейлора), при длительности импульсов 4 нс, частоте следования импульсов 100 кГц

На рис. 2 приведены характерные оптические микрофотографии структур (а-е), записанных при длительностях импульса $\tau = 4 - 8$ нс, а также соответствующие им измеренные температурные распределения (рис. 2 к-м). Все треки записаны исходным частично поляризованным лазерным лучом. Во всех рассмотренных случаях, как при обработке частично поляризованным пучком, так и линейно-поляризованным, период составлял $0,72 \pm 0,02$ мкм. Результаты СЗМ-анализа (рис. 2 ж-и) показывают, что глубина ЛИППС в среднем составляет 70 - 110 нм без какой-либо зависимости от параметров излучения, что свидетельствует о стабильности и воспроизводимости структур.

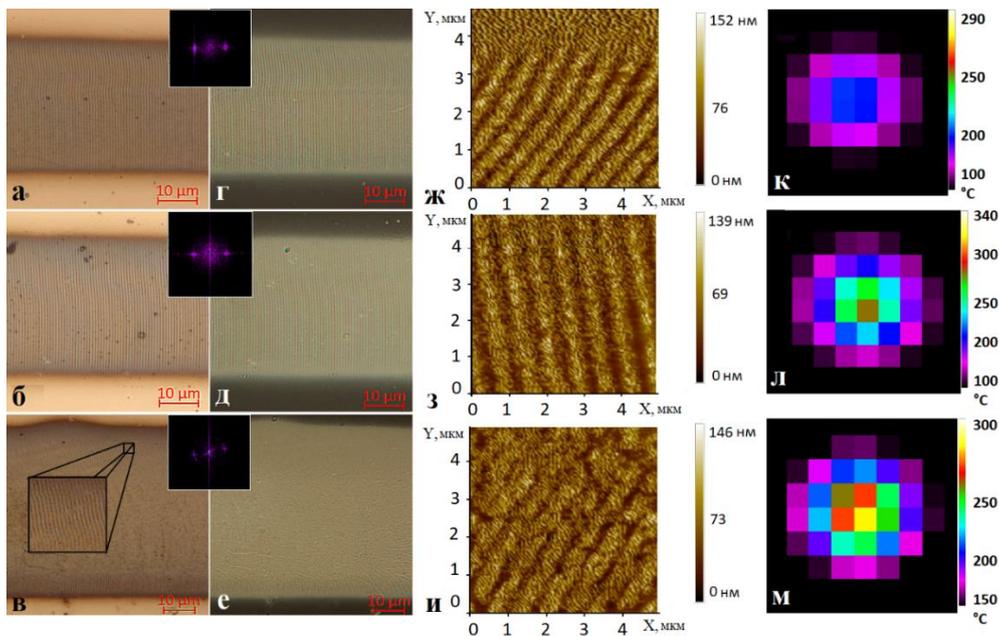


Рис. 2. Оптические микрофотографии записанных микроструктур в отраженном (а - в) и проходящем (г - е) свете, СЗМ-изображения фрагментов поверхности, содержащих ЛИППС (ж - и), и соответствующие им термофотографии (к - м). На вставках показаны 2D-FFT-спектры фрагментов соответствующих изображений. Режимы записи: (а, г, ж, к) $\tau = 4$ нс, $P_{cp} = 90$ мВт, $f = 50$ кГц, $\epsilon = 20$ мДж/см²; (б, д, з, л) $\tau = 4$ нс, $P_{cp} = 140$ мВт, $f = 100$ кГц, $\epsilon = 24$ мДж/см²; на рис. (в, е, и, м) $\tau = 8$ нс, $P_{cp} = 160$ мВт, $f = 50$ кГц, $\epsilon = 44$ мДж/см²

Исходя из полученных данных, было определено, что оптимальное значение средней плотности энергии для формирования ЛИППС в окислительном режиме лежит в диапазоне от 20 мДж/см² до 60 мДж/см², при этом экспериментально определённая средняя температура на поверхности не превышает 350°C, исходя из тепловизионных картин (рис. 2к - м). Пиковое значение температуры, достигаемое в центре облучённой области на плёнке в момент окончания одиночного импульса было оценено по формуле [1]:

$$T_1 = \frac{q_0 A_1 \tau}{\rho_1 c_1 h \left(1 + \frac{\sqrt{\pi}}{2\psi}\right)} + T_H, \quad (1)$$

где q_0 – плотность мощности падающего излучения, A_1 – поглощательная способность, ρ – плотность, c – теплоемкость, a – температуропроводность, h – толщина пленки, T_H – начальная температура ($\approx 20^\circ\text{C}$), τ – длительность импульса, $\psi = \frac{\rho_1 c_1 h}{\rho_2 c_2 \sqrt{a_2 t}}$ – коэффициент, определяющий величину теплоотвода в подложки. Значения физических и оптических параметров материалов, использованных в расчете, приведены в таблице.

Физические и оптические характеристики титана и стекла К8

Титан [2]	
Плотность, ρ_1	$4,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Теплоемкость, c_1	$530,8 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
Поглощательная способность на $\lambda=1,07 \text{ мкм}$	0,42
Стекло К8 [3]	
Плотность, ρ_2	$2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Теплоемкость, c_2	$720 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
Температуропроводность, a_2	$0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Модельные оценки значений пиковой температуры показывают числа значительно ниже температуры плавления титана (1660°C [2]), а точнее, находятся в пределах от 470°C до 1065°C для длительностей импульсов в диапазоне 4-14 нс в области экспериментально определенных режимов окисления с появлением четко выраженных ЛИППС. Результаты микроскопии (рис. 2а - и) не показывают признаков плавления или других признаков термически индуцированных аберраций, что делает вероятным окислительный характер процесса формирования структур.

Экспериментально определенные режимы, оптимальные для формирования ЛИППС на тонкой металлической пленке титана, связанного с окислительным механизмом записи, изображены на рис. 3а. При увеличении длительности или энергии импульсов наблюдается смещение ЛИППС из центра облученной области в зону с меньшей интенсивностью излучения (рис. 2в и 3в), вплоть до полного их исчезновения. Оптимальная частота следования наносекундных импульсов лежит в диапазоне от 40 до 70 кГц, однако, этот диапазон расширяется при сокращении длительности единичного импульса. Сокращение частоты следования импульсов при сохранении средней мощности приводит к росту плотности энергии, повышению максимального мгновенного значения температуры плёнки, росту термонапряжений и, как следствие, экспериментально наблюдаемому растрескиванию материала плёнки и исчезновению высокоорганизованных ЛИППС (рис. 3б). Повышение частоты следования импульсов за пределы оптимального диапазона, по всей видимости, приводит к снижению средней плотности энергии ниже пороговых значений, необходимых для возбуждения ЛИППС.

С помощью ЛИППС можно придавать различные структурные цвета поверхности и делать ее свойства подобными дифракционной решетке. Благодаря данному факту возможно создание элементов с дифракционным блеском путем записи нескольких треков подряд с небольшим перекрытием (порядка 8%) (рис. 4). Благодаря прозрачности термохимических ЛИППС, дифракционные оптические элементы, записанные с их помощью, могут функционировать не только в отраженном, но и в проходящем свете.

Известное явление, согласно которому ориентация ЛИППС зависит от угла поворота оси поляризации лазерного излучения [3, 4], было экспериментально подтверждено в настоящей работе с помощью призмы Глана-Тейлора. Исходный частично поляризованный лазерный луч с помощью призмы преобразовывался в линейно поляризованный, а угол ориентации структур соответствовал углу поворота оси поляризации призмы. По результатам 2D-FFT-анализа структур, сформированных под действием линейно поляризованного излучения (рис. 5), период оказался равным $0,72 \pm 0,02 \text{ мкм}$. Направление сканирования (слева направо, сверху вниз) линейно поляризованного лазерного луча не влияет на угол поворота ЛИППС и их геометрические характеристики.

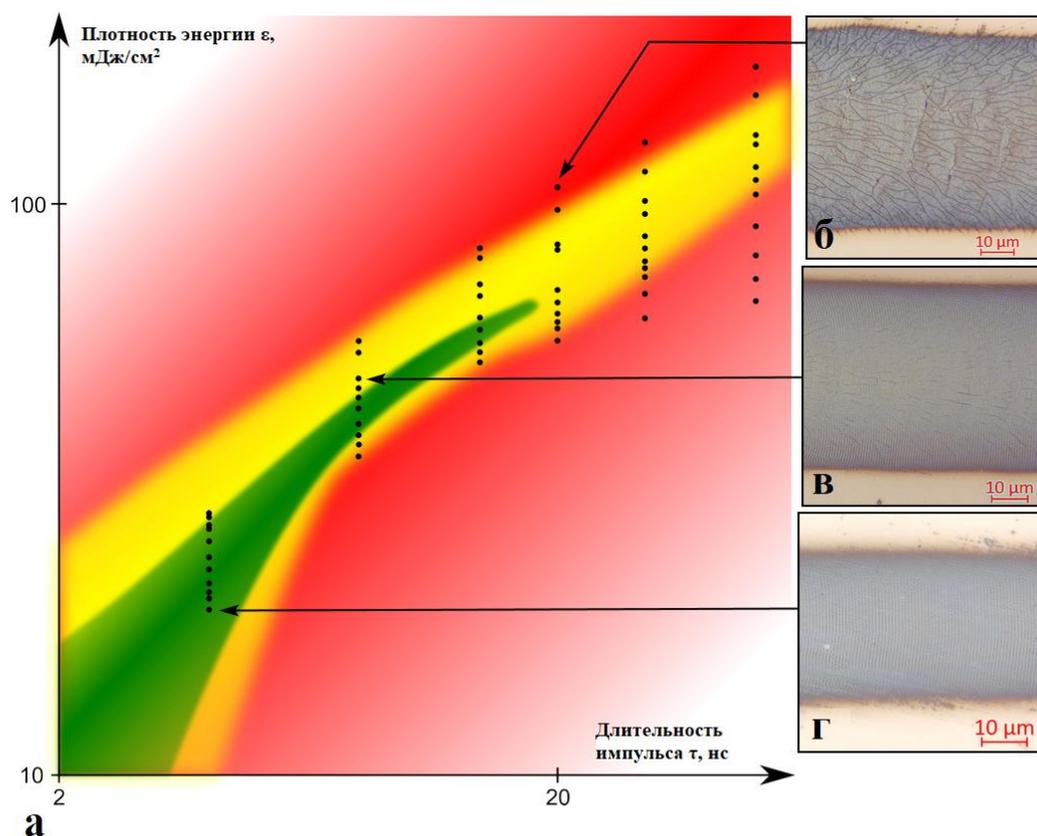


Рис. 3. а) Экспериментально определенные режимы записи для получения окислительных ЛИПСС на пленках титана выбранной толщины: зеленая зона - однородные, контрастные структуры по всей площади трека; желтая область - структуры преимущественно по краям треков; красная область - структур нет или наблюдается растрескивание пленки по всей площади трека. Черными точками отмечены экспериментально полученные результаты.

Режимы записи: (б) $\tau = 20$ нс, $P_{cp} = 100$ мВт, $f = 15$ кГц, $\varepsilon = 100$ мДж/см²; (в) $\tau = 8$ нс, $P_{cp} = 100$ мВт, $f = 30$ кГц, $\varepsilon = 48$ мДж/см²; (г) $\tau = 4$ нс, $P_{cp} = 100$ мВт, $f = 60$ кГц, $\varepsilon = 23$ мДж/см², с соответствующими точками на графике (а)

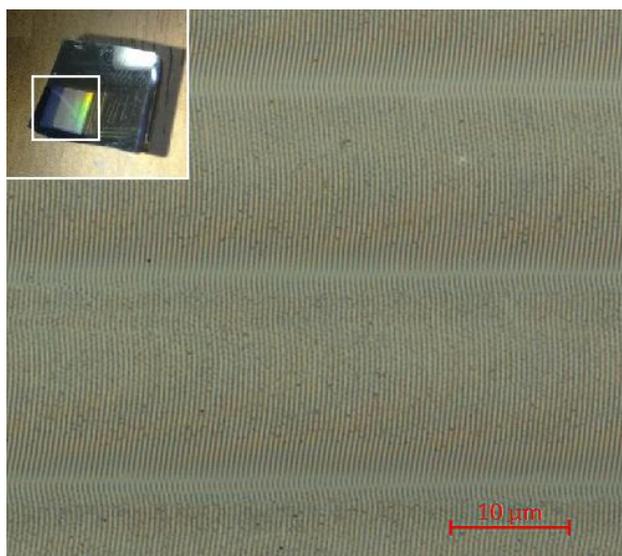


Рис. 4. Фрагмент структуры, состоящей из последовательно записанных треков с ЛИПСС, с использованием исходного частично поляризованного лазерного луча (режим записи на рис. 2а). На врезке фотография образца

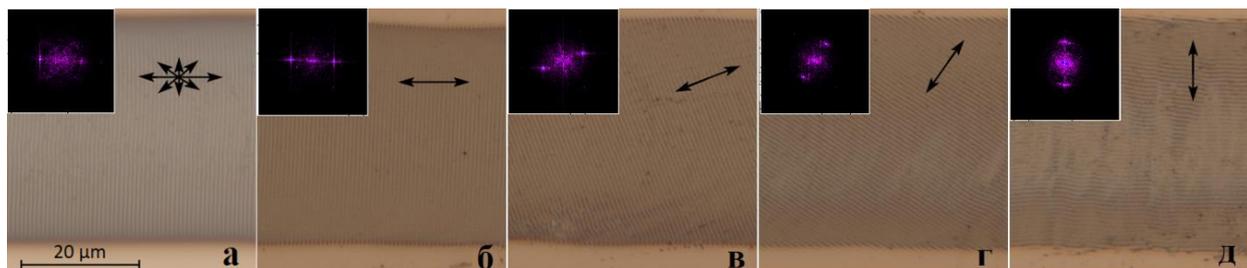


Рис. 5. Оптические микрофотографии ЛИППС, записанных в одинаковом энергетическом режиме $\tau = 4$ нс, $P_{cp} = 90$ мВт, $f = 50$ кГц, $\epsilon = 20$ мДж/см², (а) исходный пучок со случайной поляризацией, (б) – (д) линейно поляризованное излучение, двусторонними стрелками отмечено направление плоскости поляризации (0°, 30°, 60° и 90° соответственно).
На врезках приведены 2D-FFT спектры фрагментов соответствующих изображений (пространственные частоты до 2 мкм⁻¹).

Также благодаря дифракции и управление ориентацией ЛИППС с помощью призмы Глана-Тейлора возможно записывать знаки для защиты различной продукции от фальсификации обладающие определенным видимым цветом в его частях под определенным углом наблюдения. Пример записанного знака на пленке титана с помощью термохимических ЛИППС, а также схема ориентации структур в его различных сегментах приведены на рис. 6.

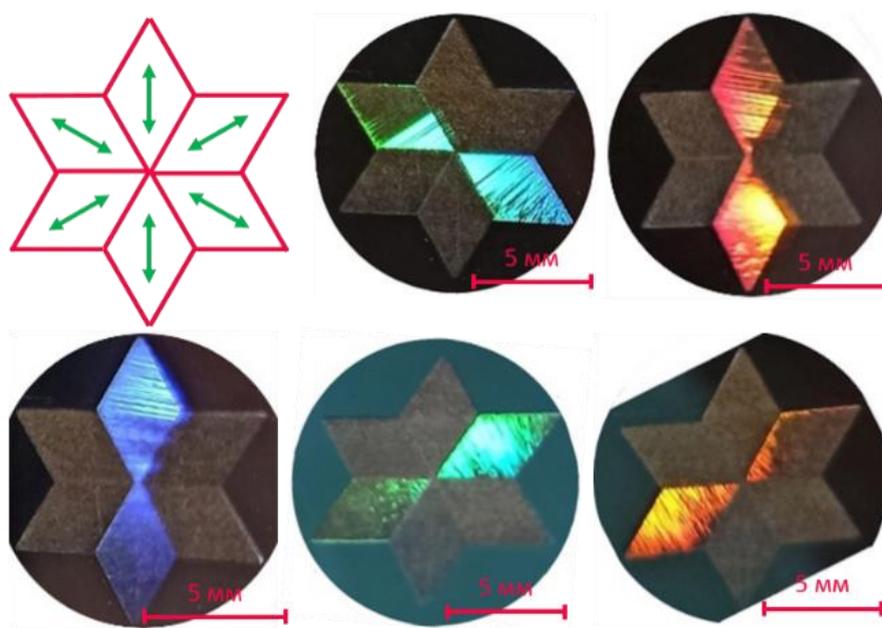


Рис. 6. Макрофотографии защитного знака под различными углами наблюдения, в верхнем левом углу схематичное изображение направления ЛИППС в каждом сегменте знака

Более того, с помощью термохимических ЛИППС были записаны двумерные элементы, образованные пересечением треков с разнонаправленными ЛИППС. Пример такого элемента с ортогональной решеткой представлен на рис. 7а, а также приведено СЭМ-изображение соответствующей отмеченной области и 2D Фурье-спектры, согласно которым период в вертикальном и горизонтальном направлении составляет $0,72 \pm 0,02$ мкм. Двумерная структура образована пересечением треков под углом $\sim 90^\circ$, внутри которых ЛИППС ориентированы перпендикулярно направлению сканирования.

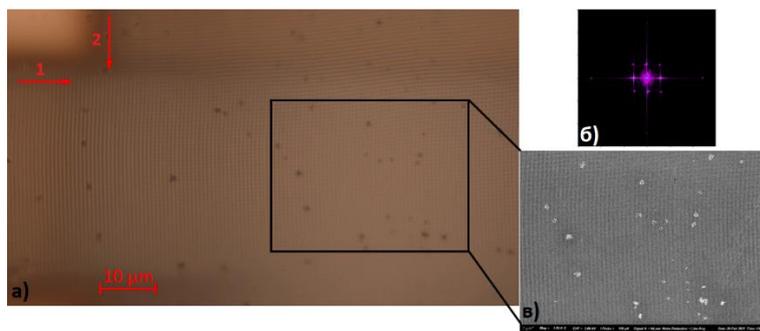


Рис. 7. а) ортогональная двумерная решетка, б) 2D-FFT спектр фрагмента рис. а), в) СЭМ-изображение выделенной области на рис. а); Пространственные частоты 2D-FFT спектр составляют до 2 мкм^{-1} . Стрелками отмечено направление записываемых треков, сначала записывался горизонтальный трек, затем вертикальный

В настоящей работе было исследовано формирование ЛИППС на тонкой пленке титана в доабляционном, окислительном режиме при температурах ниже точки плавления, благодаря чему структуры обладают высокой воспроизводимостью и упорядоченностью (отклонения в значении периода не превышают $0,02 \text{ мкм}$). Экспериментально определенные оптимальные режимы формирования термохимических ЛИППС находятся в диапазоне длительностей импульсов $4\text{-}14 \text{ нс}$ и плотностей энергии $10\text{-}70 \text{ мДж/см}^2$, а диапазон значений последней ограничен значениями плотности энергии, которые достаточны для возбуждения ЛИППС, но не превышают порог растрескивания пленки. Структурирование поверхности проводилось с помощью коммерчески-доступного наносекундного лазерного комплекса, позволяющий получать высококачественные однородные структуры гораздо эффективнее, чем при использовании фемтосекундной лазерной системы в аналогичных примерах структурирования металлических пленок [5]. Также в настоящей работе впервые продемонстрировано получение двумерных периодических структур, созданных на пересечении треков с разнонаправленными ЛИППС. Именно благодаря доабляционному температурному режиму удалось сформировать такие элементы, так как при плотностях энергии выше порога абляции структуры в областях пересечений перезаписываются. Формирование таких элементов в дальнейшем позволит разработать новые методы записи устройств фотоники, включая дифракционные оптические элементы, идентификационные метки и двумерные фотонные кристаллы.

Литература

1. Veiko V.P., Metev S.M. Laser-Assisted Microtechnology, 2nd ed. // Springer-Verlag GmbH, Berlin, Germany. 1998. P. 180.
2. Kikoin I.K. Tables of physical quantities // Atomizdat, Moscow, Russia. 1976.
3. Gedvilas M., Voisiat B., Indrišiūnas S., Račiukaitis G., Veiko V., Zakoldaev R., Sinev D., Shakhno E. Thermo-chemical microstructuring of thin metal films using multi-beam interference by short (nano- & picosecond) laser pulses // Thin Solid Films. 2017. Vol. 634. P. 134-140.
4. Bonse J., Höhm S., Rosenfeld A., Kruger J. Sub-100-nm laser-induced periodic surface structures upon irradiation of titanium by Ti:sapphire femtosecond laser pulses in air // Applied Physics A. 2012. Vol. 110, No.3. P. 547–551.
5. Öktem B., Pavlov I., Ilday S., Kalaycıoğlu H., Rybak A., Yavaş S., Ilday F.Ö. Nonlinear laser lithography for indefinitely large-area nanostructuring with femtosecond pulses // Nature Photonics. 2013. Vol. 7, No.11. P. 897–901.

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

Азизов Руслан Рахимович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V42373с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: azizov.ruslan.2008@mail.ru

Ушакова Елена Владимировна

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: elena.ushakova@itmo.ru

УДК 535.37

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ
ОТКЛИКОВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
НАНОКРИСТАЛЛОВ ПЕРОВСКИТА CsPbBr₃**

Р.Р. Азизов

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

Аннотация

Исследование направлено на разработку нового подхода создания композитного люминесцентного материала на основе нанокристаллов перовскита CsPbBr₃, отвечающего условиям резонанса для случайной лазерной генерации. В процессе работы были выполнены как исследования влияния интерфейса между поверхностью нанокристалла и матрицей, так и исследование стабильности характеристик получаемого композитного материала.

Ключевые слова

Нанокристаллы перовскита, пористый оксид кремния, микросферы, фотолюминесценция, случайная лазерная генерация.

Нанокристаллы перовскита (ПНК) – это люминесцентные нанокристаллы, которые являются перспективными для приложений фотоники благодаря их уникальным оптическим и электрическим свойствам. По сравнению с традиционными полупроводниковыми квантовыми точками групп II–VI, лазерная генерация в материалах на основе ПНК наблюдается при более низких пороговых значениях и возможна оптическая накачка через многофотонное поглощение. Однако их кристаллическая структура и, следовательно, физико-химические свойства могут претерпевать радикальные изменения при хранении в условиях окружающей среды. Для решения проблемы малой стабильности широко распространено встраивание ПНК в инертные твердые пористые матрицы. При этом подобная структура при использовании сферической матрицы удовлетворяет условиям резонанса при случайной лазерной генерации (рис. 1).

В рамках данной работы было проведено комплексное исследование, с точки зрения как создания стабильных композитных материалов с различными структурными параметрами, так и оценки влияния интерфейса между матрицей и НК на конечные оптические свойства получаемого композитного материала.

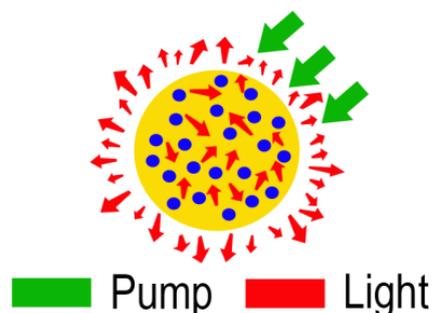


Рис. 1. Процесс случайной лазерной генерации с пространственно распределённой обратной связью [1]

Синтез CsPbBr_3 ПНК кубической формы со средним размером $10,0 \pm 1,5$ нм, далее обозначенных как ПНК-1, был проведён согласно работе команды Коваленко [2]. Методика синтеза ПНК большего размера (ПНК-2), схожа с синтезом малых НК, но изменение соотношений используемых прекурсоров обусловили получение нанокристаллов со средним размером 18 ± 4 нм, обозначенных далее, как ПНК-2.

Монодисперсные сферические микрочастицы пористого диоксида кремния (МС) диаметром 480 нм и 1,1 мкм были синтезированы в соответствии с работой [3]. Объем пор полученных МС, измеренный методом адсорбционной порометрии азота, составлял 20 и 50% от общего объема МС соответственно, а средний диаметр пор – 19 ± 11 нм и 20–100 нм.

Композитный материал представляет собой ПНК CsPbBr_3 , встроенные в МС. Для их изготовления исходный раствор ПНК-1 с концентрацией $\sim 10^{-5}$ М смешивался с МС в центрифужной пробирке для первичного проникновения ПНК в поры. Затем применялось центрифугирование, что способствовало дальнейшему внедрению ПНК в поры МС. Далее осадок был промыт для удаления ПНК с поверхности. Это было сделано путем добавления растворителя с последующим перемешиванием в течение 5 мин, после чего следовало центрифугирование и удаление надосадочной жидкости. Полученный раствор был нанесен на предметные стекла для получения образцов, названных pNC@MS-T , pNC@MS-H , и pNC@MS-AO , где буквы Т, Н, и АО использованы для обозначения применяемых растворителей, а именно толуол (Т), гексан (Н), и смесь ацетон/октан (АО), соответственно. Эталонный образец, обозначенный как pNC-glass , был изготовлен также нанесением исходного раствора чистых ПНК-1 на предметное стекло. На рис. 2А видно, что изготовленные композитные МС представляют собой однородные частицы с гладкой поверхностью (рис. 2).

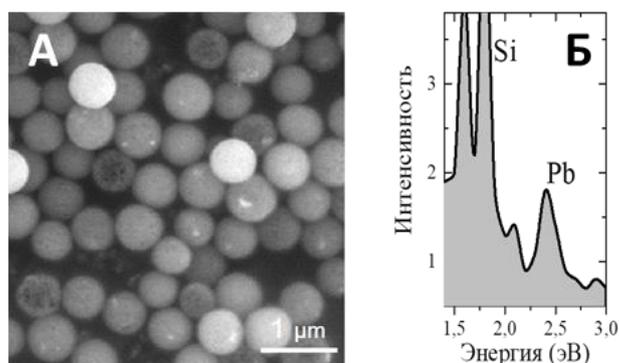


Рис. 2. Исследования образца pNC@MS-AO : А) изображение, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа; Б) энергодисперсионный рентгеновский спектр

Присутствие пика, характерного для атомов свинца, на энергодисперсионном рентгеновском спектре композитного материала также подтвердило успешное внедрение ПНК в МС. На рис. 3 приведены спектральные исследования образцов.

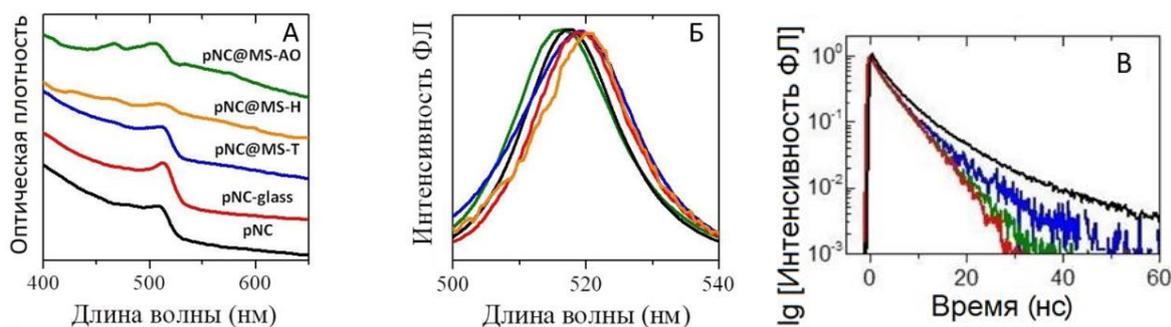


Рис. 3. А) Спектры поглощения и Б) фотолюминесценции (ФЛ) исходных ПНК-1 в растворе толуола (pNC, черный) и на стекле (pNC-glass, красный) и композитов pNC@MS-T (синий), pNC@MS-H (оранжевый) и pNC@MS-AO (зеленый); В) нормированные кривые затухания ФЛ трёх типичных композитных МС (синий, красный и зеленый) в сравнении с измерениями ансамбля ПНК в растворе толуола (чёрный)

Видно, что положение пиков полосы поглощения и ФЛ ПНК при внедрении в МС остается практически в той же спектральной области. При этом положение полосы поглощения остается практически неизменным для композитов, обработанных и нанесенных из неполярных растворителей – pNC@MS-T, pNC@MS-H, в то время как для композита pNC@MS-AO наблюдается небольшое смещение полосы в коротковолновую область спектра.

Среднее время затухания ФЛ исходных ПНК составило $6,7 \pm 1,0$ нс, что несколько превышает значение для композитов – $4,8 \pm 1,5$ нс. Наблюдаемая здесь разница в значениях незначительна, что указывает на то, что встраивание ПНК в МС не приводит к значительному увеличению количества каналов безызлучательной релаксации фотовозбужденных носителей заряда. Далее для изучения стабильности параметров ФЛ, образцы исследовались в течение 3 месяцев хранения при нормальных условиях. Для образца исходных ПНК наблюдалось значительное изменение параметров ФЛ при хранении образца в атмосфере: интегральная интенсивность ФЛ снизилась до 6% от исходного значения после 110 суток хранения. Напротив, как для образцов pNC@MS-T, так и для образцов pNC@MS-H положение пика ФЛ и полуширины практически не изменились. После 110 дней хранения интегральная интенсивность ФЛ снизилась до 31% и 11% для образцов pNC@MS-T и pNC@MS-H, соответственно.

Образец pNC@MS-AO был подвержен воздействию интенсивного ультрафиолетового (УФ) излучения с длиной волны $\lambda = 365$ нм со средней энергией излучения 200 мкДж/см² в течение 1 часа. Рис. 4 показывает, что в образце pNC@MS-AO после УФ облучения сохранилось достаточно большое количество люминесцирующих МС.

Анализ микроизображений сигнала ФЛ, собранных до и после УФ облучения, показал, что процент люминесцирующих МС в образце остался прежним, при этом интенсивность ФЛ некоторых МС уменьшилась. Кривые затухания ФЛ образца pNC@MS-AO после УФ облучения также были описаны моноэкспоненциальной зависимостью. Данное наблюдение показывает, что для композитов УФ облучение не приводит к появлению новых каналов релаксации фотовозбужденных носителей заряда. Среднее время затухания ФЛ для образца после УФ облучения составило $3,6 \pm 1,5$ нс, что несколько меньше по сравнению со значением, наблюдаемым для исходного образца. Полученные результаты свидетельствуют о том, что пористые МС

обеспечивают достаточную защиту от деградации структуры ПНК и, соответственно, позволяют сохранить параметры ФЛ люминесцентных композитов как при хранении при нормальных условиях, так и под воздействием УФ излучения.

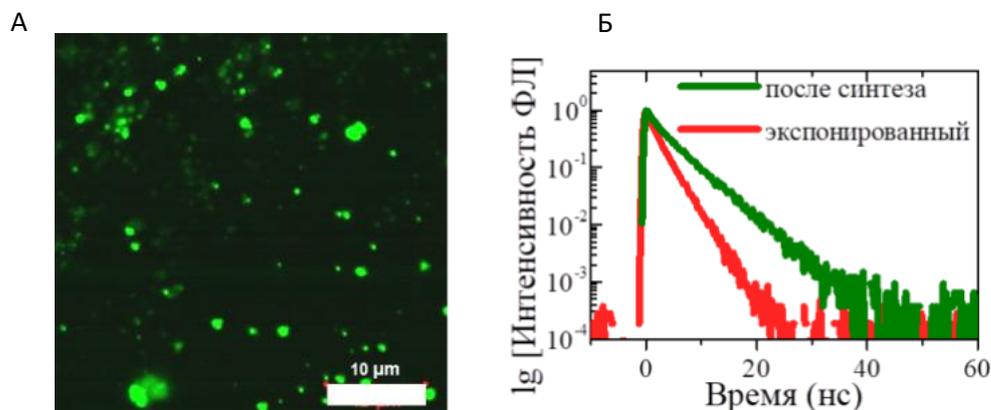


Рис. 4. Воздействие УФ излучения: А) микроизображение, полученное в люминесцентном канале; Б) кривые затухания ФЛ порядка 100 частиц до (зеленый) и после (красный) воздействия УФ излучения

Для расширения области применения предложенных композитов, необходимо получить композиты, которые могут быть диспергированы в полярных растворителях, в том числе воде. Для изготовления вододиспергируемых композитов на основе ПНК был использован метод послойного покрытия (Layer-by-Layer [4]) pNC@MS-AO с использованием противоположно заряженных полиэлектролитов: поли(аллиламина гидрохлорида) (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, PAH) и поли(4-стиролсульфоната натрия) (Poly(styrenesulfonate), PSS). На рис. 5 представлен процесс формирования оболочки и сравнение спектров ФЛ и кривых затухания ФЛ образцов pNC@MS-AO и pNC@MS-PAH/PSS, где сигнал был собран примерно от 100 частиц.

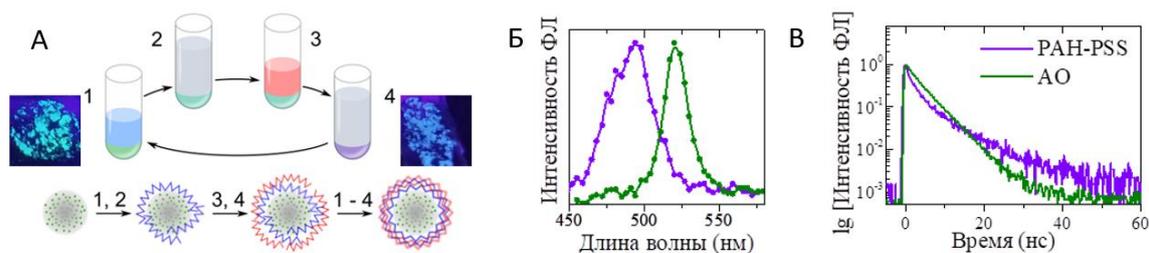


Рис. 5. А) Схема приготовления образца pNC@MS-PAH/PSS; Б) спектры ФЛ; В) кривые затухания ФЛ, собранные с порядка 100 частиц, образцов pNC@MS-PAH/PSS (фиолетовый) и pNC@MS-AO (зеленый)

Полоса ФЛ pNC@MS-PAH/PSS сдвинута в синюю область спектра на 26 нм по сравнению с полосой pNC@MS-AO, а полуширина ФЛ увеличилась с 19 до 36 нм. Такие заметные изменения скорее всего вызваны изменением окружения ПНК вблизи поверхности МС. Смещение ФЛ в синюю область спектра образца pNC@MS-PAH/PSS связано с фазовым переходом ПНК, расположенных вблизи поверхности МС, на которые с большой долей вероятности влияют молекулы H₂O, проникающие в полимерную сеть. Кривая затухания ФЛ pNC@MS-PAH/PSS аппроксимирована биэкспоненциальной функцией, среднее время затухания ФЛ составило 4,4±0,8 нс. Часть ПНК внутри частиц pNC@MS-PAH/PSS взаимодействуют только с матрицей, в то время как ПНК,

расположенные вблизи поверхности, могут также взаимодействовать с полимерными цепочками на поверхности МС, а именно с группой NH_2^+ в полиэлектролите РАН. Данный факт предположительно влияет на процесс излучательной рекомбинации носителей заряда, что приводит к появлению второй компоненты в затухании ФЛ.

Для исследования влияния химического состава интерфейса были выбраны два вещества: молекулы тетраэтилортосиликата (ТЭС) и раствор HCl . Как показал литературный обзор, молекулы ТЭС часто используются при пассивации поверхности ПНК, создавая защитную оболочку на их поверхности. При этом данные молекулы, как прекурсоры диоксида кремния, могут легко реагировать с выбранной для исследований пористой матрицей и прикрепляться к поверхности пор. Обработка раствором кислот зачастую приводит к увеличению заряженных групп на поверхности пор, в том числе ее окислению, что также изменяет химический состав интерфейса ПНК/матрица.

МС с диаметром 1,1 мкм были обработаны ТЭС и HCl и далее обозначены как MS/TEOS и MS/HCl, соответственно. На рис. 6 приведены типичные ИК спектры исходных и обработанных МС.

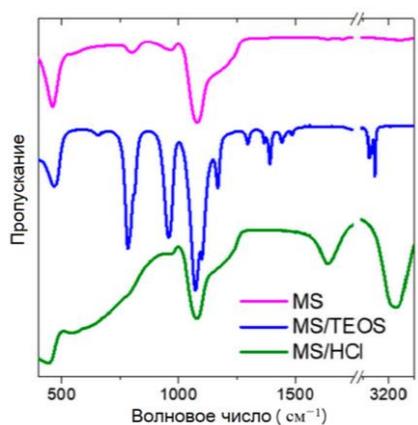


Рис. 6. ИК спектр исследуемых образцов: МС (MS, пурпурный), MS/TEOS (синий) и MS/HCl (зеленый)

Спектр исходных МС содержит широкие пики на 1210, 1080 и 965 cm^{-1} , которые характерны для материалов диоксида кремния и относятся к асимметричным валентным колебаниям Si-O-Si и деформационным колебаниям Si-OH. Обработка ТЭС привела к появлению дополнительных пиков в ИК спектре образца MS/TEOS: пики на {2979, 2935, 2887} и {1485, 1391, 1363, 1296} cm^{-1} характерны для молекулы ТЭС [5]. Образец MS/HCl помимо пиков, характерных для материалов диоксида кремния, имеет широкие и интенсивные пики на 3200 и 1640 cm^{-1} , которые характерны для H-связей и деформационных колебаний H-OH. Таким образом эти результаты подтвердили изменение функциональных групп на поверхности МС, в том числе пор, при простой постсинтетической обработке.

Образцы pNC@MS/TEOS и pNC@MS/HCl были изготовлены в соответствии с вышеупомянутой процедурой при использовании модифицированных МС: MS/TEOS или MS/HCl, соответственно. Для изучения оптических откликов связанных с морфологией полученных образцов были использованы методы люминесцентной микроскопии – стационарной и с временным разрешением. Анализ микроизображений, приведенных на рис. 7, показал, что процент встроенных ПНК в МС увеличивается в ряду: pNC@MS/HCl → pNC@MS → pNC@MS/TEOS.

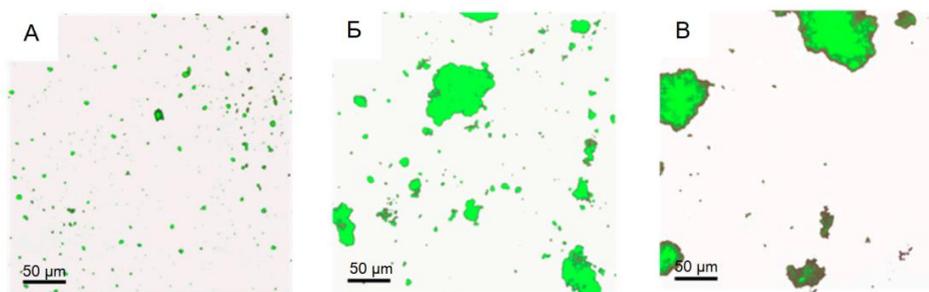


Рис. 7. Наложение микроизображений, полученных в каналах люминесценции и пропускания образцов: А) pNC@MS; Б) pNC@MS/TEOS; В) pNC@MS/HCl

В то же время для образцов, сформированных на основе модифицированных МС, в отличие от образца сравнения pNC@MS, наблюдается агломерация МС, что указывает на наличие сил связывания между обработанными МС. При этом карты времен затухания ФЛ (рис. 8) показывают, что времена затухания ФЛ композита не зависят от степени агломерации МС.

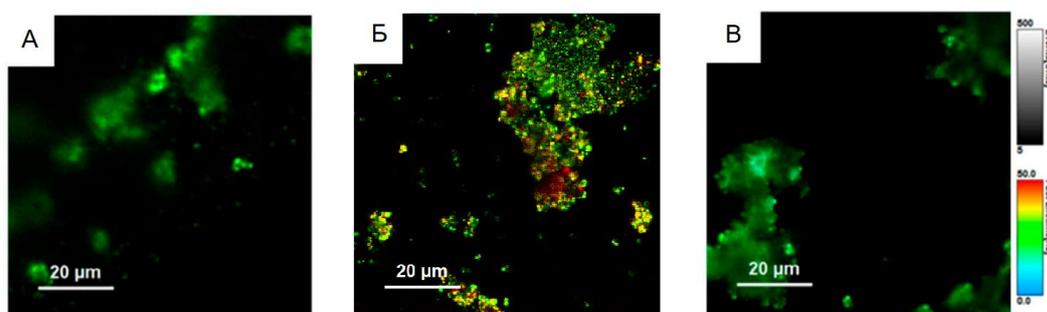


Рис. 8. Карты времен затухания ФЛ образцов: А) pNC@MS; Б) pNC@MS/TEOS; В) pNC@MS/HCl

Для композитов среднее время затухания ФЛ составило 6,4, 24,1 и 4,3 нс для pNC@MS, pNC@MS/TEOS и pNC@MS/HCl, соответственно. Внедрение ПНК в МС без обработки их поверхности не приводит к изменению числа безызлучательных каналов релаксации энергии фотовозбуждения. Этот факт вместе со слабым влиянием на стационарные оптические свойства подтверждает возможность использования данной матрицы для дальнейшего развития композитных материалов на основе ПНК. В то же время интерфейс между ПНК и МС играет большую роль в образовании связей между ПНК и матрицей, в частности, влияет на их излучательные переходы. Обработка МС молекулами ТЭС привела к улучшению процесса проникновения ПНК вместе с пассивацией их поверхности, что привело к увеличению среднего времени затухания ФЛ при почти неизменных стационарных параметрах ФЛ.

В данной работе был разработан новый подход к формированию композитных материалов на основе нанокристаллов перовскита CsPbBr₃ и пористых микросфер диоксида кремния. Были проведены исследования стабильности получаемого композита и влияния химии интерфейса нанокристалл/матрица на оптические свойства. Применённый подход к изменению химического состава интерфейса композитов на основе нанокристаллов перовскита с молекулами тетраэтилортосиликата доказал возможность расширения инструментария в процедурах изготовления композитов с улучшенными характеристиками для новых материалов фотоники.

Литература

1. Shi Z. F. et al. Near-infrared random lasing realized in a perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ thin film // *Journal of Materials Chemistry C*. 2016. Т. 4. №. 36. С. 8373–8379.
2. Protesescu L. et al. Nanocrystals of Cesium Lead Halide Perovskites (CsPbX_3 , X = Cl, Br, and I): Novel Optoelectronic Materials Showing Bright Emission with Wide Color Gamut // *Nano Lett.* 2015. Т. 15. № 6. С. 3692–3696.
3. Trofimova E.Y. et al. Monodisperse spherical mesoporous silica particles: Fast synthesis procedure and fabrication of photonic-crystal films // *Nanotechnology*. 2013. Т. 24. № 15. С. 155601.
4. Zhao S. et al. The Future of Layer-by-Layer Assembly // *ACS Nano*. 2019. Т. 13. № 6. С. 6151–6169.
5. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Spectral Database for Organic Compounds SDBS. URL: <https://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/landingpage?sdbno=10418> (дата обращения 31.05.2021).

Антонов Кирилл Александрович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М42382,

направление подготовки: 01.04.02 – Программирование и искусственный интеллект,

e-mail: kirant9797@gmail.com

Буздалова Арина Сергеевна

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

к.т.н., программист,

e-mail: abuzdalova@gmail.com

УДК 004.021; 004.421.2

**АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ВЕРОЯТНОСТИ
МУТАЦИИ В ЭВОЛЮЦИОННОМ АЛГОРИТМЕ $(1+\lambda)$ ПРИ
ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ
С НЕТРИВИАЛЬНЫМ ЛАНДШАФТОМ**

К.А. Антонов

Научный руководитель – к.т.н. А.С. Буздалова

Работа выполнена в рамках темы НИР «Анализ динамической настройки вероятности мутации в эволюционном алгоритме $(1+\lambda)$ при оптимизации функций приспособленности с нетривиальным ландшафтом / Analysis of Mutation Rate Control in the $(1+\lambda)$ EA for Optimization of Functions with Non-Trivial Fitness Landscapes».

Аннотация

Разработан метод и его программная реализация для оценки эффективности методов динамической настройки параметров путем анализа влияния значений вероятности мутации на эффективность эволюционного алгоритма. Этот метод применен для анализа функций приспособленности Ruggedness и Plateau с нетривиальным ландшафтом. В результате впервые удалось получить верхнюю оценку на эффективность методов настройки силы мутации при оптимизации рассмотренных функций.

Ключевые слова

Искусственный интеллект, метаэвристики, оптимизация, эволюционные алгоритмы, настройка параметров, динамическое программирование, Марковские цепи, метод Монте-Карло.

Эволюционные алгоритмы [1] помогают находить достаточно хорошие решения сложных задач оптимизации за относительно небольшое время. На практике это свойство эволюционных алгоритмов оказывается очень полезным, однако характеристики практических задач могут часто меняться. В работе рассматривается класс так называемых Black-Box алгоритмов, каждый из которых может быть адаптирован для решения практически любых задач оптимизации. Этого свойства достаточно для того, чтобы один и тот же Black-Box алгоритм был применим к задачам с разными характеристиками, и это делает такой алгоритм очень удобным на практике. Однако, производительность таких Black-Box алгоритмов сильно зависит от значений параметров, которые в них используются. Одним из наиболее важных параметров

является вероятность мутации.

В работе рассматриваются элитические Black-Box $(1+\lambda)$ эволюционные алгоритмы (ЭА). Любой из таких алгоритмов можно представить в общем виде как алгоритм, работающий следующим образом. Итерации алгоритма повторяются до тех пор, пока не будет достигнут оптимум некоторой заданной функции приспособленности (ФП). На каждой итерации алгоритм генерирует поколение, состоящее из λ особей, применяя оператор мутации к единственному родителю. Этот оператор параметризован вещественным числом p , которое называется *вероятность мутации*. Из поколения выбирается наиболее приспособленная особь в соответствии с ФП. Итерация заканчивается заменой родителя на наиболее приспособленную особь, в случае если она оказалась не менее приспособленной, чем родитель.

Из теоретических соображений известно, что чем лучше алгоритм выбирает значение параметра p для каждой итерации, тем быстрее он будет работать [2]. Для некоторых задач и алгоритмов это наблюдение подтверждается с математической точностью [3]. Однако, в общем случае, до сих пор неизвестно, каким образом выбирать вероятность мутации на задачах с нетривиальными ландшафтами функции приспособленности для обеспечения наилучшей производительности ЭА. Для приближения к получению ответа на этот вопрос в работе предлагается метод для оценки влияния различных значений вероятности мутации на производительность алгоритма. Кроме того, предлагается способ анализа и сравнения различных существующих ЭА, на основании данных, которые возвращает наш метод. Подобные методы для вычисления оптимальных вероятностей мутации применялись ранее к более простым задачам в работах [4, 5]. Ограничение этих методов состоит в том, что вероятности переходов между состояниями в них должны быть записаны конечными математическими выражениями. Наш метод применим даже в тех случаях, для которых вероятности переходов не могут быть записаны таким образом. Кроме этого, методы из предыдущих работ были разработаны для конкретных функций, а предлагаемый метод допускает циклы между состояниями, и поэтому применим для любых функций приспособленности.

Перейдем к описанию реализации предлагаемого метода. Рассмотрим некоторое разбиение U всех особей на подмножества. Каждый элемент такого разбиения (т.е. подмножество исходного множества всех особей) назовем π -классом.

Рассмотрим особь, которая является родителем на некоторой итерации ЭА. После применения оператора мутации и выбора наиболее приспособленного потомка, ЭА получает нового родителя, который может быть либо той же самой, либо более приспособленной особью. Такую смену родителя назовем переходом. Еще раз отметим, что особь может сделать переход, в том числе, в саму себя. Вероятности переходов из одной особи в другие зависят от структуры особи и значения вероятности мутации. Пусть разбиение U построено таким образом, что для любых двух особей из одного π -класса вероятности перехода в другие π -классы одинаковы. Кроме того, все особи одного π -класса имеют одно и то же значение функции приспособленности. Назовем это значение приспособленностью всего π -класса.

Назовем разбиение U , которое удовлетворяет обоим этим свойствам, π -корректным разбиением. Заметим, что π -корректное разбиение существует для любой функции приспособленности, поскольку достаточно в каждый π -класс включить только одну особь и оба свойства окажутся выполнены. Однако размер такого разбиения экспоненциально увеличивается с ростом размера особи. Далее мы рассматриваем функции, для которых существуют π -корректные разбиения меньшего размера, растущие линейно от размера особи.

Предлагаемый метод использует идею динамического программирования. В качестве состояния используется математическое ожидание количества итераций до

достижения оптимума ФП, которое требуется сделать ЭА с идеальной настройкой параметров, при условии, что будет использована вероятность мутации p до увеличения значения ФП. Обозначим такое состояние как $T_{j,p}$, где j – это π -класс, в котором ЭА начинает свою работу. Введем обозначение: $T_{j,p}^* = \min_p(T_{j,p})$. Предположим, что мы знаем значения $T_{j,p}^*$ для всех j из некоторого множества π -классов B . Для осуществления перехода в динамическом программировании, достаточно уметь вычислять $T_{i,p}$ для всех i из некоторого множества A , отличного от множества B . Для демонстрации идеи того, как этого делать, представим π -классы как вершины некоторого графа, а переходы между π -классами как ориентированные ребра этого графа. Пример такого графа приведен на рис. 1.

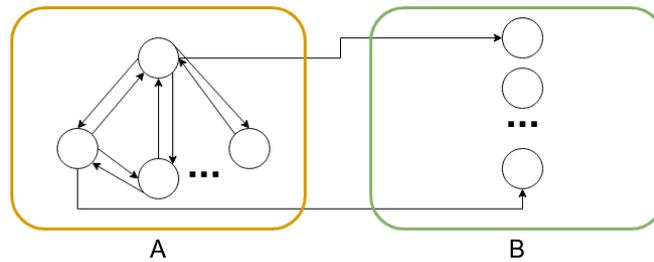


Рис. 1. Представление π -классов и переходов между ними как графа

Из рис. 1 становится понятно, что для конкретного π -класса x из множества A величина $T_{x,p}$ зависит от множества величин $T_{i,p}$ для остальных особей i из A . Поэтому для вычисления $T_{i,p}$ достаточно составить систему уравнений относительно $T_{i,p}$ для каждого i и решить ее.

В листинге приведен псевдокод предложенного метода, в котором применяется описанная выше идея (рис. 2).

```

1: Initialize optimal times:  $T_{f_{\max}}^* \leftarrow 0$ 
2: for  $f \leftarrow f_{\max} - 1, \dots, f_{\min}$  do
3:   for  $p \in \{p_1^{(f)}, p_2^{(f)}, \dots, p_{m_f}^{(f)}\}$  do
4:     Initialize empty system:  $S \leftarrow \{\emptyset\}$ 
5:     for  $i \in A_f$  do
6:        $(\tilde{p}_j)_{j \in (A_f \cup B_f)} \leftarrow \text{MonteCarlo}(i, p)$ 
7:        $S \leftarrow S \cup \left\{ T_{i,p} = 1 + \sum_{j \in A_f} \tilde{p}_j T_{j,p} + \sum_{j \in B_f} \tilde{p}_j T_j^* \right\}$ 
8:     end for
9:     Process and solve the system:  $(T_{i,p})_{i \in A_f} \leftarrow \text{solve}(S)$ 
10:    Store optimal time: for  $i \in A_f$  do  $T_i^* \leftarrow \min_p(T_{i,p})$  end for
11:    Store optimal rate: for  $i \in A_f$  do  $P_i^{\text{opt}} \leftarrow \arg \min_p(T_{i,p})$  end for
12:  end for
13: end for
14: return  $\{P^{\text{opt}}, T^*, T\}$ 

```

Рис. 2. Листинг. Псевдокод алгоритма для общего случая дискретной фитнес-функции

В строке 2 листинга перебираются значения ФП в обратном порядке. Для каждого из них в строке 3 листинга перебираются значения вероятности мутации из некоторого, заранее заданного, множества. Для каждой пары (f -значение ФП, p -вероятности мутации) множество A задается как множество особей с одинаковым значением ФП f (в псевдокоде оно обозначено как A_f), а множество B (в псевдокоде обозначено B_f) как множество всех особей с ФП большей чем f .

В строке 5 листинга перебираются все π -классы множества A_f и для каждого из них в строке 6 производится оценка вероятностей переходов в другие π -классы с помощью метода Монте-Карло. В этом методе много раз повторяется одна итерация ЭА и собирается статистика по переходам, которые были сделаны из данного π -класса. Статистика, в том числе, включает информацию о том, сколько раз было увеличено значение ФП. С помощью этой статистики производится оценка всех вероятностей переходов из данного π -класса.

Вероятности переходов, которые получаются таким образом, являются неточными. Чтобы уменьшить шум, достаточно использовать плотное пространство вероятностей мутаций и выполнять много повторений одной итерации ЭА, чтобы собрать большую статистику. Для того чтобы все это посчиталось за приемлемое время, в работе была реализована масштабируемая система, которая применялась для вычислений на кластере Международной лаборатории «Компьютерные технологии» университета ИТМО. При использовании этого кластера время расчета всех вероятностей переходов для каждой конфигурации метода занимало около суток.

В строке 7 листинга создается новое уравнение и добавляется к системе. Система решается в строке 9, после чего полученное решение используется для обновления хранилища минимальных математических ожиданий и оптимальных вероятностей мутации. Система решается с помощью специально разработанного алгоритма, запускаемого на графе π -классов. Если в системе n уравнений, то этот алгоритм работает за линейное от n время, а асимптотика времени решения всей системы составляет $O(n^3)$. В строке 14 листинга метод возвращает все собранные данные.

Сам метод и все необходимые для него части были реализованы на языке Java и выложены на GitHub. Весь код можно найти по ссылке: https://github.com/kant97/ea/tree/cluster_experiments/.

Предложенный метод был применен к ФП, характеризующейся наличием локальных оптимумов (Ruggedness), а также к ФП с областями неразличимых по приспособленности особей – плато (Plateau). Для обеих функций, π -корректным является такое разбиение особей, что каждый π -класс состоит из особей, удаленных на одно и то же расстояние по Хэммингу от нуля. Математическое доказательство этого факта приводится в полном тексте пояснительной записки. Размер такого разбиения особей на π -классы линейно зависит от длины особи, и поэтому предложенный метод может быть применен для особей большого размера.

Ruggedness имеет ландшафт приспособленности с множеством локальных оптимумов. Ни один из ЭА с настройкой вероятности мутации не смог превзойти самый простой ЭА без настройки, и ранее считалось, что это следствие того, что настройка параметров плохо работает на Ruggedness. Поэтому в работе было решено исследовать, как будет себя вести алгоритм с идеальной настройкой параметров. Для этого был построен график зависимости T^* от размера популяции λ , изображенный на рис. 2 зеленым цветом. Такому графику соответствует алгоритм, использующий оптимальные значения вероятности мутации на каждой итерации. Кроме того на графиках, приведенных на рис. 3, изображены линии, показывающие зависимость количества итераций, требуемых для достижения оптимума, от размера популяции λ для популярных ЭА. На рис. 3 приводятся два таких графика, для разных настроек контроля вероятности мутации.

Оказалось, что алгоритм без настройки вероятности мутации, который показан красным на рис. 3, демонстрирует эффективность, близкую к оптимальной, а для остальных алгоритмов с правого графика улучшение времени работы возможно только в константу раз. Однако возникает следующий вопрос про левый график на рис. 3: почему алгоритм (A, b) работает настолько медленнее алгоритма 2-rate?

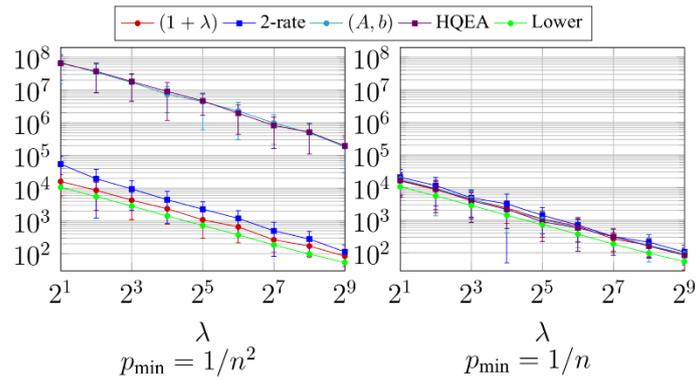


Рис. 3. Зависимость количества итераций от размера популяции λ

Чтобы дать ответ на этот вопрос и другие похожие вопросы, было предложено использовать тепловые карты для визуализации данных, которые возвращает наш метод. Пример такой тепловой карты для задачи Ruggedness с особями длины 100 приведен на рис. 4. Для каждой пары значения ФП (отложенного по оси ОХ) и вероятности мутации (отложенной по оси ОУ) на тепловой карте есть точка определенного цвета. Цвет точки обозначает относительное математическое ожидание количества итераций, требуемых для достижения оптимума. Чем более желтый цвет у точки, тем быстрее алгоритм будет достигать оптимума из соответствующего состояния.

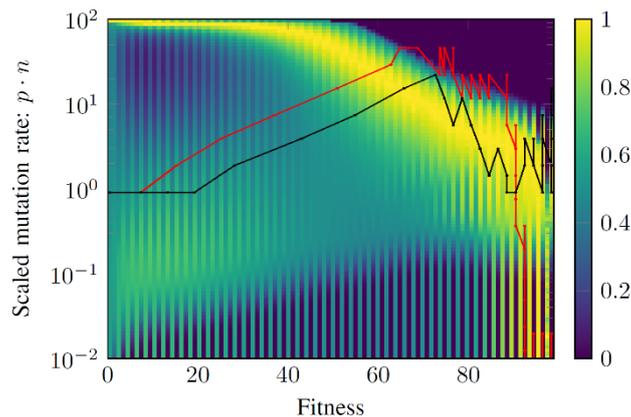


Рис. 4. Тепловая карта для задачи Ruggedness размера 100 с наложением траекторий работы алгоритма (A, b) и алгоритма $2-rate$

На рис. 4 траектория работы алгоритма (A, b) показана красным цветом, а траектория алгоритма $2-rate$ показана черным цветом.

Из тепловой карты на рис. 4 можно сделать вывод, что множество хороших вероятностей мутации для задачи Ruggedness является достаточно широким. Кроме того, видно, что для нечетных значений ФП оптимальные вероятности мутации больше, чем для четных.

Для сравнения и анализа ЭА с настройкой вероятности мутации траектории работы этих алгоритмов могут быть наложены на такие тепловые карты. Здесь это сделано для алгоритма (A, b) , траектория которого обозначена красным цветом, и $2-rate$, траектория которого обозначена черным. Теперь можно дать ответ на поставленный ранее вопрос про причину замедления (A, b) относительно $2-rate$. Как можно видеть, до некоторого момента алгоритмы работают примерно одинаково, но в конце процесса оптимизации красная кривая падает вниз и переходит только между сиреневыми полосками. В то же время, черная траектория остается в желтой области и не падает вниз. Именно в этом месте метод настройки вероятности мутации в алгоритме (A, b) ошибается. Поэтому $2-rate$ работает быстрее, чем (A, b) .

С помощью разработанного метода также был проведен аналогичный анализ для функции Plateau, результаты которого приведены на рис. 5. Подробнее с полученными результатами можно ознакомиться в пояснительной записке к ВКР.

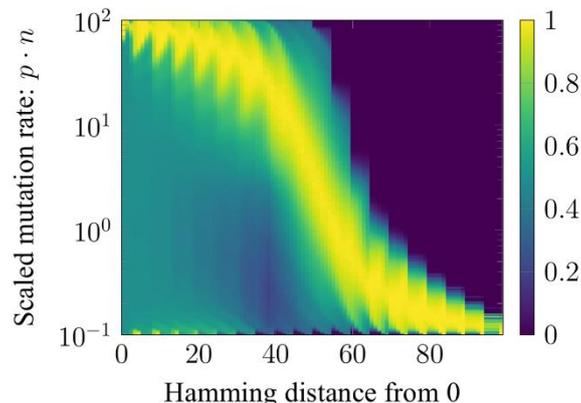


Рис. 5. Тепловая карта для задачи Plateau размера 100 со значением числа неразличимых особей, равным пяти

Таким образом, в работе был предложен метод, для определения оптимального (насколько это вообще возможно с использованием частично эмпирического подхода) поведения ЭА с возможностью настройки параметров. Разработанный метод позволяет получить информацию, необходимую для анализа эффективности выбора значений вероятности мутации, производимого существующими алгоритмами настройки параметров. Этот метод применим для функций с нетривиальными ландшафтами приспособленности, в том числе с наличием существенно различающегося поведения в разных состояниях алгоритма с одинаковым значением ФП. Подобные функции были проанализированы с этой точки зрения впервые. Для анализа был осуществлен обширный вычислительный эксперимент, а для реализации метода применялись нетривиальные технические решения. Предложенный метод является удобным инструментом для эмпирического анализа сложных функций приспособленности, точный математический анализ которых затруднителен и, таким образом, представляет существенный интерес для теории эволюционных вычислений. Также в дальнейшем планируется применить полученные средства анализа для разработки ЭА, выбирающих близкие к оптимальным значения параметров на каждой итерации и, тем самым, повысить эффективность решения задач оптимизации.

Литература

1. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений. Донецк: ДонНТУ. 2008.
2. Karafotias G., Hoogendoorn M., Eiben A., «Parameter Control in Evolutionary Algorithms: Trends and Challenges» // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2015. Vol. 19. P. 167–187.
3. Doerr B., Doerr C., «Theory of Parameter Control for Discrete Black-Box Optimization: Provable Performance Gains Through Dynamic Parameter Choices» // Theory of Evolutionary Computation: Recent Developments in Discrete Optimization. Springer, 2020. P. 271–321.
4. Buskulic N., Doerr C., «Maximizing Drift is Not Optimal for Solving OneMax» // Evolutionary Computation. 2021. P. 1–20.
5. Buzdalov M., Doerr C., «Optimal Mutation Rates for the $(1 + \lambda)$ EA on OneMax» // Proc. of Parallel Problem Solving from Nature (PPSN'20). Vol. 12270. Springer, 2020. P. 574–587.

Бойцова Юлия Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42472,

направление подготовки: 38.04.01 – Экономика,

e-mail: yulia.bojtzova@yandex.ru

Янова Елена Алексеевна,

Год рождения: год

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент (квалификационная категория "ординарный доцент"),

e-mail: prof.yanova.ea@gmail.com

УДК 641.11; 338.23; 338.28

**РЫНОК ФУНКЦИОНАЛЬНО-ИННОВАЦИОННЫХ
ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ РОССИИ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО
СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ**

Ю.С. Бойцова

Научный руководитель – к.э.н., доцент Е.А. Янова

Работа выполнена в рамках темы НИР №619404 «Обеспечение коммерциализации и капитализации проектов в области Life Science в ситуации цифровой трансформации инновационных социально-экономических систем».

Аннотация

На сегодняшний день у людей возникает потребность в восполнении микро- и макроэлементов в организме из-за постоянной психоэмоциональной нагрузки и ухудшением экологической среды. Поэтому исследование в области рынка функционально-инновационной продукции является актуальным. Растущая роль в специализированных товарах повысит уровень здоровья населения, а также расширит рынок новейших разработок в области продовольствия и экономически активизирует хозяйство страны в целом.

Ключевые слова

Функциональное питание, специализированные товары, функциональные компоненты, государственная программа, объем рынка, здоровье населения.

Термин «функциональный продукт» на данный момент понимается по-разному, так он может быть рассмотрен в трех контекстах: как модифицированный продукт; пища, обогащенная микро- и макроэлементами; и БАДы (т.е. добавки, которые употребляются как лекарственный препарат) [1, 2] (см. рис. 1).

Рассматривая эволюцию специализированных товаров, было выявлено несколько этапов становления:

1. Управление весом – поддержание своего оптимального веса и желание следить за фигурой.
2. Пищеварение – создание спроса на ингредиенты положительно сказывающихся на здоровье пищеварительного тракта.
3. Пища против добавок – стремление к «чистому» составу продуктов питания и повышение функционала товаров.



Примечание. Схема составлена автором на основе данных: Plat J., Mensink R.P. Effects of plant sterols and stanols on lipid metabolism and cardiovascular risk. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2001. - 31–40 с

Рис. 1. Классификация функциональных товаров

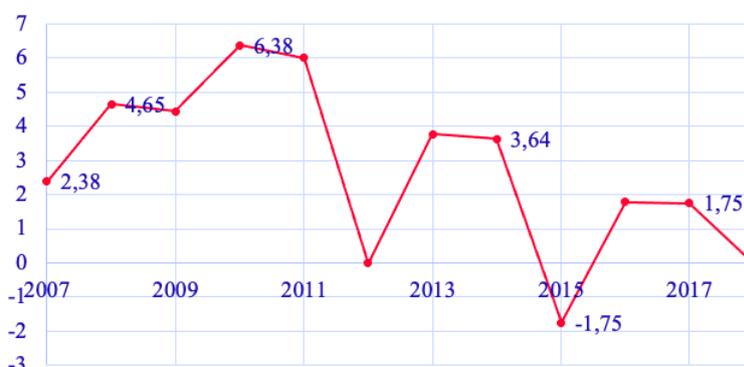
Появляются новые тренды на продуктовом рынке, которые указывают на необходимость расширения товаров функционально-инновационного назначения, такие как: уникальная обработка; детское здоровье; мгновенное питание; натурализация; поиск биоактивных веществ и так далее.

Россия на сегодняшний день не готова законодательно регулировать рынок специализированной продукции и пока создает только «нормативно-правовые предпосылки», в то время как в европейском союзе, США и Японии, активно внедряются маркировки товаров и вводятся государственные законы, определяющие структурированную базу для данной категории товаров.

Основные компании, специализирующиеся в России на функциональных товарах – это «Биопродукт», «Nestle Россия», «ЭФКО», «Valio» и другие. Обращая внимание на географию производственных мощностей, можно заметить преобладание центральных регионов, что говорит о неразвитости структуры. Также экспорт намного больше импорта, что говорит об отставании страны несмотря на то, что предпосылки появления специализированной продукции в России появились еще в 1986 году [3-12].

За последние 5 лет рынок экологически чистых продуктов вырос более чем на 60%, а примерно 3 % населения в 2018 году стали выбирать более здоровое питание.

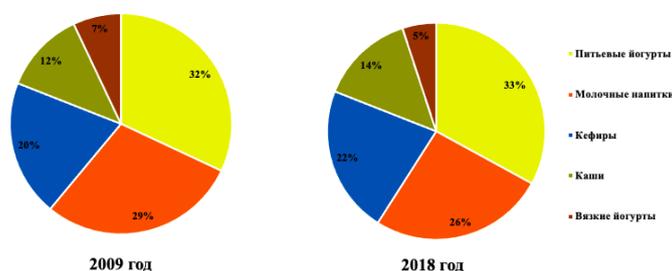
Потребление специализированных товаров постоянно растет и при отсутствии экономических стрессов в ближайшие 4–5 лет мы увидим ежегодный прирост на 3–4% (см. рис. 2).



Примечание. Диаграмма составлена автором на основе данных: ФСГС, оценки ИА «КредИнформ»

Рис. 2. Темп прироста специализированных продуктов в России, в % к предыдущему году

Рассматривая структуру потребления, заметно, что в России преобладает доля питьевых йогуртов и молочных напитков, однако ожидается рост доли каш и хлопьев в общем объеме специализированной пищевой продукции, а также снижение доли молочной продукции (см. рис. 3).



Примечание. Диаграмма составлена автором на основе данных: «Евромонитор», оценки ИА «КредИнформ»

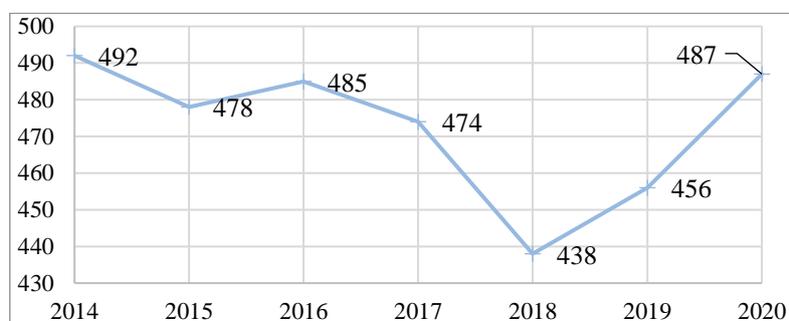
Рис. 3. Структура потребления функциональных молочных продуктов в расчете на душу населения

Из-за преобладания экспортной продукции в России, цены на товары сильно зависят от мировых. Поэтому необходимо дальнейшее продвижение рынка и повышение узнаваемости товаров с целью привлечения как новых производственных компаний, так и повышения количества потребителей. Все это должно являться первоочередной задачей на данный момент.

Также в работе был проведен анализ взаимосвязей заболеваемости и недостатков микро- и макроэлементов, где выявлено, что корреляция высокая (0,83). Таким образом, для улучшения демографических показателей необходимо отслеживать элементарный статус людей. Профессор Скальный со своей группой в Центре биотической медицины создали метод анализа волос, благодаря которому можно выявить дефициты и профициты элементов организма человека.

Если обратить внимание на конкурентоспособность товаров функционального назначения, то она довольно высока, однако существуют барьеры по входу в отрасль, как финансовые, так и технологические.

Расширение в области государственных программ, направленных на данный рынок, помогут производителям и потребителям осознать необходимость и перспективу данной отрасли. Так, мы видим, что несмотря на экономические трудности и изменения в стране объемы кредитов на развития агропромышленного комплекса колеблются незначительно (см. рис. 4).



Примечание. Диаграмма составлена автором на основе данных: Государственные программы Российской Федерации URL: <https://programs.gov.ru>

Рис. 4. Объем кредитов, выданных акционерным обществом «Россельхозбанк» на развитие агропромышленного комплекса, млрд. руб.

В рамках диссертации было обращено внимание на проекты Профессора Скального, которые направлены на оздоровление нации и повышению узнаваемости продукции с функциональным назначением. Были выявлены сильные и слабые стороны и даны рекомендации по продвижению специализированной продукции как выходящих на рынок впервые, так и существующих товаров.

Из результатов видно, что это перспективная сфера развития, поэтому государство разрабатывает новейшие программы (например, «Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания») и реализует конференции направленные на продовольственное развитие страны (например, Foodtech).

В ходе работы был проведен анализ функциональных товаров, который подтвердил необходимость повышения объемов производства данной продукции в Российской Федерации и перспективы развития.

В дальнейшей работе планируется конкретизировать исследование рынка специализированной продукции на отдельном регионе в сравнении с заболеваемостью и преобладанием недостатка микро- и макроэлементов с возможностью получения улучшений в области демографических и социально-экономических показателей.

Литература

1. Plat J., Mensink R.P. Effects of plant sterols and stanols on lipid metabolism and cardiovascular risk. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2001. P. 31–40.
2. Литвин Н., Клиффорд Дж., Джонсон С. Functional Foods for Health // Extension Colostate [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://extension.colostate.edu/topic-areas/nutrition-food-safety-health/functional-foods-for-health-9-39> (дата обращения: 20.02.2021).
3. Julian M. Functional Foods 2.0: A Natural Evolution // *Nutraceuticals World* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nutraceuticalsworld.com/issues/2013-11/view_features/functional-foods-20-a-natural-evolution/ (дата обращения: 25.02.2021).
4. Elizabeth S. Top 10 Functional Food Trends // IFT [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2018/april/features/top-10-functional-food-trends-2018> (дата обращения: 25.02.2021).
5. Законодательное обеспечение государственной политики в области производства функциональных и специализированных пищевых продуктов питания в Российской Федерации // Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/88318/> (дата обращения: 25.02.2021).
6. Скобелев В. Обзор российского рынка функциональных ингредиентов // *Российский продовольственный рынок* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.foodmarket.spb.ru/current.php?article=18> (дата обращения: 20.03.2020).
7. Статистика // Федеральная служба государственной статистики URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 16.03.2021).
8. Functional Food // *Euromonitor International* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.euromonitor.com/-functional-food/report> (дата обращения: 01.03.2020).
9. Kihan K., Yunjae C., Lu Z. The current practices in food advertising // *International Journal of Advertising.* 2009. 28 с.
10. Микрюкова Н. В. Основные аспекты получения функциональных продуктов питания // *Молодой ученый.* 2012. №12. С. 90–92.
11. Государственные программы Российской Федерации // ПОРТАЛ ГОС ПРОГРАММ РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://programs.gov.ru> (дата обращения: 01.03.2021).

12. Fortified/Functional Packaged Food in Russia // Euromonitor International [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.euromonitor.com/fortified-functional-packaged-food-in-russia/report> (дата обращения: 15.03.2021).

Григорьев Дмитрий Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В42621с,

направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,

e-mail: dmitriy-get@rambler.ru

Успенская Майя Валерьевна

Год рождения: 1970

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

д.т.н., профессор,

e-mail: mv_uspenskaya@itmo.ru

УДК 691.175.5/.8

**СОЗДАНИЕ МИЦЕЛЛЯРНОЙ
И ПРОЛОНГИРОВАННОЙ ФОРМЫ
ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ
СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛСУКЦИНИМИДА
С ВИНИЛАЦЕТАТОМ И N-ВИНИЛПИРРОЛИДОМ**

Д.В. Григорьев

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.В. Успенская

Аннотация

Четыре десятилетия назад в фармакологической химии наметился путь на модификацию имеющихся лекарственных веществ. Примерно в то же время после открытия полимеризации с обратимой передачей цепи (ОПЦ) началась новая эра в полимерной химии. Как связаны два эти события? Очень просто. Раскрыть самые важные преимущества ОПЦ полимеризации позволяет ее применение в био-медицинской области. Имобилизация лекарственного вещества (ЛВ) на узкодисперсный полимер с контролируемыми молекулярно-массовыми характеристиками позволяет пролонгировать действие ЛВ, уменьшить его токсичность и избежать флуктуаций концентрации. В работе рассмотрено создание узкодисперсных, нетоксичных, водорастворимых блок- и градиентных сополимеров методом ОПЦ полимеризации, получение на их основе матриц, способных к иммобилизации ЛВ и использование полученных матриц для создания комплексов с ЛВ.

Ключевые слова

RAFT-полимеризация, сополимеризация, полимер, RAFT-агент, N-винилсукцинимид, винилацетат, N-винилпирролидон, дибензилтретиокарбонат, [(О-этилксантил)метил]бензил, молекулярная масса, гидролиз, тримекаин, ремантадин.

В последние десятилетия применение синтетических и природных полимеров в медицине, связано с их уникальными физико-химическими характеристиками и возможностью их модификации в широких пределах. В настоящее время создано огромное количество полимеров используемых в различных медицинских областях: от создания имплантов до медицинских нитей, от восстановительной хирургии до посуды, катетеров, шприцов и т.д. Но кроме этого одной из ведущих тенденций, появившихся на стыке современной фармакологии и разработок в химии ВМС, стала модификация

лекарственных веществ и методов их введения в организм человека. Предпосылкой к появлению данного направления стало то обстоятельство, что введение в организм препарата традиционными способами, приводит к его относительно равномерному распределению и проникновению не только в органы-мишени, но и в другие органы, где действие препарата может носить негативный характер. Кроме этого, при таком введении лекарственное вещество достигает своих биологических мишеней в концентрации, значительно меньшей по сравнению с необходимой терапевтической. Это вынуждает использовать дозы, которые в 10, а иногда и 100 раз превышают теоретически необходимые, что особенно проблематично в случае использования препаратов с повышенной токсичностью. Поэтому создание пролонгированной формы лекарственных веществ, позволяющее уменьшить число приемов, устранить колебания концентрации активного вещества и увеличить вводимые дозы без увеличения токсичности, является важной и актуальной задачей.

Сополимеры, рассматриваемые в данной выпускной квалификационной работе, могут найти применение, как полимерные матрицы для иммобилизации лекарственных средств, позволяющие пролонгировать их действие, а так же, снизить иммунный ответ и обеспечить необходимую биосовместимость. Большой интерес в качестве прекурсоров для получения водорастворимых полимерных матриц, способных к иммобилизации низкомолекулярных веществ, в том числе и лекарственных, содержащих аминогруппу, представляют сополимеры N-винилсукцинимиды (ВСИ) [1]. В ходе биологических исследований сополимеров N-виниламидоэтановой кислоты (получены гидролизом звеньев ВСИ) было показано, что они нетоксичны и могут являться неинертными носителями биологически активных соединений, и при этом обладают собственной биологической активностью - проявляют противовирусное действие. В случае сополимеров ВСИ с N-винилпирролидоном (ВП) присутствие звеньев ВП обеспечивает отличную растворимость полимеров в воде и отсутствие токсичности. Гомополимер поли (ВП) давно был исследован на предмет токсичности, и полученные результаты позволили использовать его водные растворы в течение долгих лет в качестве заменителя плазмы крови. Также для пролонгирования действия ЛВ могут быть использованы матрицы на основе сополимеров ВСИ с винилацетатом (ВА). В острых опытах на животных (белые мыши и крысы) установлено, что сополимер ВАЯК-ВС нетоксичен и характеризуется показателем средне-летальной дозы $LD_{50} = 5800$ мг/кг [2]. Таким образом синтезируемые в данной работе сополимеры являются нетоксичными и водорастворимыми. Но ещё одним важным свойством, которым должны обладать лекарственные формы на основе полимеров, является заданная молекулярная масса. Это обеспечивает как прохождение различных биологических барьеров, так и вывод полимерной матрицы из организма и отсутствие кумуляции её в органах. Проблема контроля молекулярно-массовых характеристик и получения узкодисперсных полимеров в данной работе была решена с помощью методов псевдоживой радикальной полимеризации.

Одной из насущных задач современной науки о полимерах является «программирование» их молекулярной архитектуры и молекулярно-массового распределения. В 1980-х для замены реакции квадратичного обрыва цепи в процессе радикальной полимеризации был предложен вариант, в котором макрорадикалы обратимо взаимодействуют со специально введенными добавками (агентами обрыва или передачи цепи). Такой тип радикальной полимеризации получил в литературе название псевдоживой. Основная идея данного типа полимеризации заключается в том, что радикалы роста при взаимодействии с добавками агента обратимой передачи цепи на время переходят в «спящее» состояние, а затем вновь «оживают» и участвуют в реакции роста до следующего акта временного его ограничения [3]. Различают различные способы активации макромолекул. В данной работе сополимеры были получены по

механизму присоединения – фрагментации (RAFT). Интерес к данному механизму обусловлен возможностью получения узкодисперсных полимеров с контролируемой ММ, а так же толерантностью используемых соединений к функциональным мономерам, широкими возможностями в получении макромолекул сложной архитектуры и достаточно мягкими условиями их синтеза [3].

В качестве передатчика цепи в данной работе использовался дибензилтрителиокарбонат (БТК). Выбор данного симметричного трителиокарбоната был сделан исходя из плюсов, которыми он обладает, являясь эффективным контролирующим агентом для широкого ряда винильных мономеров. Кроме этого RAFT полимеризация в присутствии БТК обеспечивает [3]: получение полимеров, синтез которых в традиционном процессе осложнен сшивкой и реакциями передачи цепи; создание достаточно "мягких" условий синтеза полимеров, для которых характерен гелевый эффект; синтез сложных архитектур линейных полимеров: градиентные, блок, мультиблок; синтез узкодисперсных, композиционно однородных сополимеров из мономеров, сильно различающихся по своей активности [4]. На рис.1 показана схема RAFT-полимеризации в присутствии симметричных трителиокарбонатов.

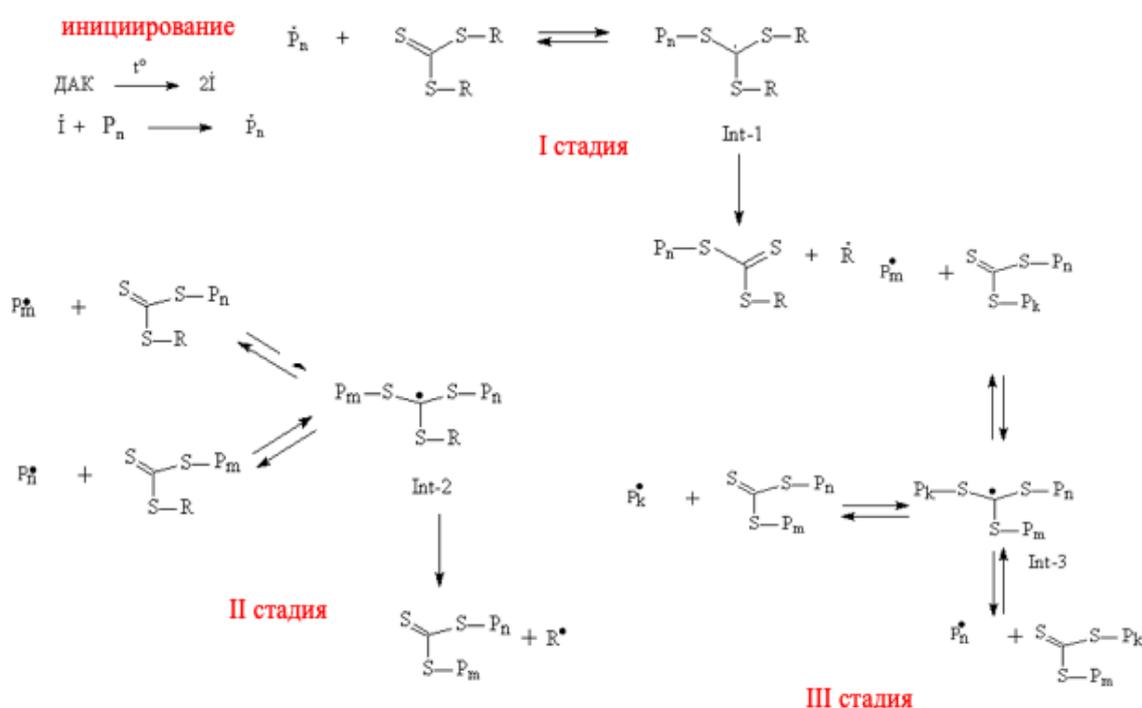


Рис. 1. Схема процесса RAFT-полимеризации в присутствии симметричных трителиокарбонатов

Свойством, позволяющим переводить сополимеры ВСИ-ВА и ВСИ-ВП в форму пригодную для иммобилизации низкомолекулярных веществ со свободной аминогруппой (в том числе лекарственные) является способность сополимеров гидролизываться под действием растворов щелочей. Под действием водных растворов щелочей, органических оснований происходит раскрытие имидного цикла в полимерах N-винилсукцинимида с образованием поли-N-виниламидоантарной кислоты [5]. Кроме этого, в случае гидролиза сополимеров ВСИ-ВА происходит отщепление ацетатной группы и образование звеньев винилового спирта. Звенья ВП гидролизу не подвергаются.

В первую очередь были синтезированы сополимеры ВСИ с ВА. Было проведено 9 загрузок сополимеров с различным мольным соотношением мономеров ВСИ к ВА: 25:75 (образцы 271, 272 и 273), 50:50 (образцы 551, 552 и 553) и 75:25 (образцы 721, 722 и 723).

Полученные образцы также отличались временем сополимеризации. В табл. 1 представлены данные о выходах полученных сополимеров.

Таблица 1

Конверсия сополимеров винилсукцинимида с винилацетатом

Продолжительность полимеризации, ч	Конверсия, %		
	ВСИ:ВА=25:75	ВСИ:ВА=50:50	ВСИ:ВА=75:25
1	3,45	29,5	34,1
2,5	17,5	42,3	58,2
4	24,4	50,6	75,1

Как видно из табл. 1 происходит увеличение конверсии сополимеров в зависимости от времени сополимеризации. Кроме этого образцы были охарактеризованы методом гель-проникающей хроматографии. Из полученных зависимостей видно, что во всех случаях происходит рост молекулярной массы с конверсией. Два этих обстоятельства свидетельствуют о достаточной эффективности БТК в условиях сополимеризации ВСИ с ВА.

Далее были синтезированы три сополимера ВСИ-ВА с различной концентрацией передатчика цепи. Данные образцы были подвергнуты гидролизу и ионному обмену. Ионный обмен необходим для перевода полученной солевой формы виниламидоантарной кислоты в кислую – пригодную для иммобилизации ЛВ. Схема реакций гидролиза и ионного обмена показана на рис. 2.

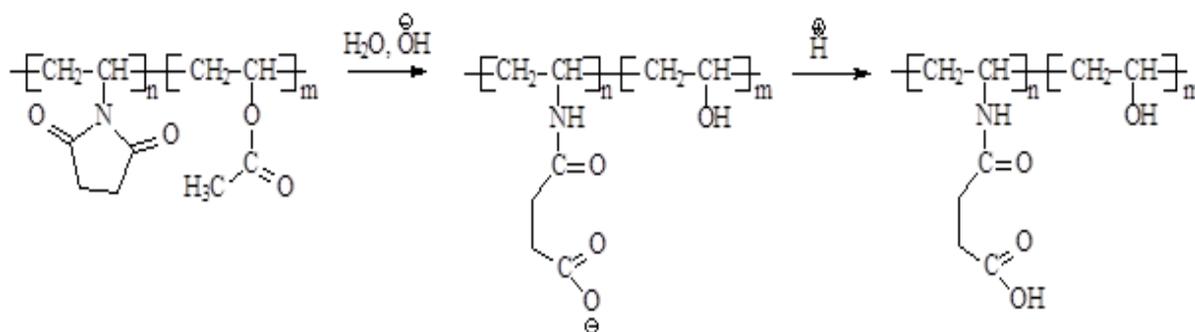


Рис. 2. Схема реакции гидролиза и ионного обмена сополимеров винилсукцинимида с винилацетатом

На рис. 3 представлены ИК спектры сополимера ВСИ с ВА (красная кривая – ВАЯК-ВС (конечный полимер, после гидролиза, ионного обмена, диализа и лиофильной сушки); синяя кривая – ВАЯК(Na)-ВС (полимер после гидролиза, диализа и лиофильной сушки); черная кривая – ВСИ-ВА (исходный полимер после синтеза, диализа и сушки).

В результате были получены сополимерные матрицы виниламидоантарной кислоты с виниловым спиртом, на основе которых были получены комплексы с такими модельными лекарствами как тримекаин и ремантадин. Схема всего процесса создания пролонгированной формы ЛВ приведена на рис. 4.

Следующим этапом стал синтез сополимеров ВСИ с ВП. В ходе работы были синтезированы сополимеры ВСИ с ВП с различным соотношением мономеров и в различных растворителях, однако во всех синтезах конверсии составляли от 5 до 30%. В результате было сделано предположение, что причиной низких выходов полимеров может быть то, что образующийся на первой стадии RAFT-полимеризации в присутствии симметричных тритиокарбонатов (см. рис. 1) радикальный интермедиат Int-1 в меньшей

степени распадается в сторону образования полимерного ОПЦ-агента, участвующего в последствии в аналогичной реакции с образованием интермедиата Int-2.

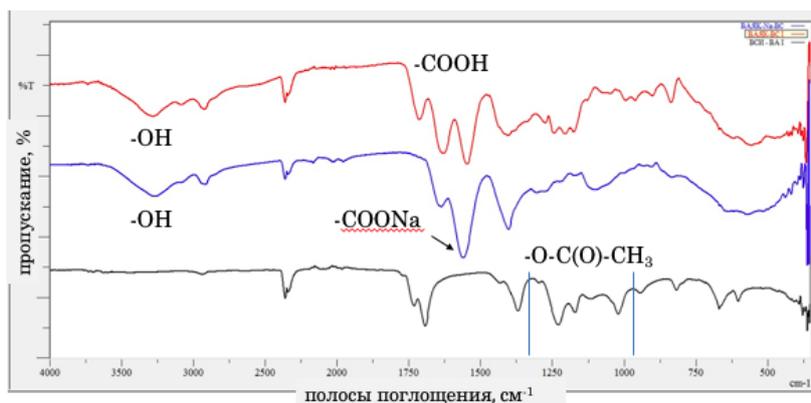


Рис. 3. ИК спектры сополимера винилсукцинимида с винилацетатом на различных стадиях синтеза матрицы виниламидоантарной кислоты с виниловым спиртом

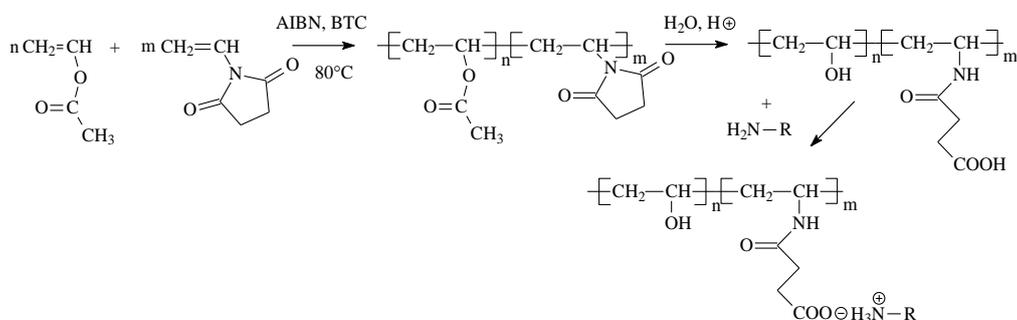


Рис. 4. Процесс создания комплекса сополимерная матрица – низкомолекулярное вещество (лекарственное)

Поэтому одним из возможных путей решения данной проблемы стал синтез олигомерного ОПЦ агента и использование его вместо мономерного. В результате был синтезирован сополимер ВСИ с ВП с молекулярной массой 2400 г/моль. На основе полученного олигомерного ОПЦ агента была синтезирована серия сополимеров ВСИ с ВП. На рис. 5 представлена зависимость конверсии полученных образцов от времени сополимеризации.

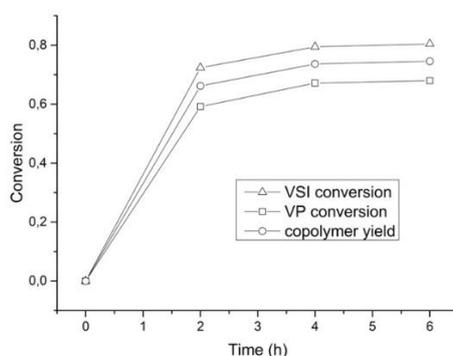


Рис. 5. Зависимость конверсии сополимеров винилсукцинимида с винилпирролидоном от времени сополимеризации

Как видно из полученной зависимости уже к двум часам конверсия сополимера составила 70%. Таким образом возникшая проблема была решена. Полученные сополимеры ВСИ с ВП были подвергнуты гидролизу и ионному обмену. Процессы проходили аналогично описанным на рис. 2, за исключением того, что ВП сохраняет своё химическое строение входе всех преобразований и в итоге получается сополимер виниламидоянтарной кислоты с ВП. Так как мономерный БТК зарекомендовал себя не достаточно эффективным передатчиком цепи в случае пары ВСИ с ВП был синтезирован другой ОПЦ агент - [(О-этилксантил)метил]бензил. После анализа ЯМР спектров полученных на его основе сополимеров ВСИ с ВП было показано, что уже ко времени сополимеризации 3 ч КСТ полностью расходуется и конверсия сополимера составляет 30%.

Кроме градиентных сополимеров были проведены также несколько серий синтезов блок-сополимеров, однако в этом случае не наблюдалось изменения молекулярно-массовых характеристик в зависимости от времени сополимеризации. Это может быть связано с недостаточной эффективностью используемых передатчиков цепи. В дальнейшем планируется синтезировать другие передатчики цепи и провести синтезы с их использованием. Также в дальнейшем на основе блок-сополимеров ВСИ с ВП планируется получить мицеллу блок-сополимера, в которую будет инкапсулировано ЛВ. Мицелла будет построена таким образом что гидрофобные блоки, состоящие из звеньев ВСИ (гидрофобное ядро) будут обращены внутрь, создавая нетоксичный контейнер для ЛВ. А гидрофильные блоки, состоящие из звеньев ВП будут снаружи молекулы. С помощью векторов прикрепленных к ВП звеньям будет возможно производить адресную доставку лекарственных средств непосредственно к органу-мишени или в пораженную область.

В результате данной работы удалось методом RAFT-полимеризации синтезировать узкодисперсные сополимеры ВСИ с ВА и ВП, которые являются прекурсорами водорастворимых нетоксичных полимерных матриц для иммобилизации низкомолекулярных веществ. И щелочным гидролизом полученных сополимеров синтезированы матрицы N-виниламидоянтарной кислоты с виниловым спиртом и винилпирролидоном, строение которых подтверждено ИК-спектроскопией. И на основе данных матриц получены пролонгированные формы ЛВ. Кроме этого было показано, что [(О-этилксантил)метил]бензил и дибензилтретиокарбонат могут быть использованы в качестве агентов обратимой передачи цепи при сополимеризации ВСИ с ВА и ВП.

Литература

1. Лавров Н.А. Полимеры на основе N-винилсукцинимиды: монография. М.: Профессия. 2011. 240 с. ил.
2. Особенности синтеза биологически активных карбоксилсодержащих (со)полимеров винилового и акрилового ряда / Шальнова Л.И. [и др.]. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. С. 18-21.
3. Черникова Е.В., Сивцов Е.В. Полимеризация с обратной передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации: фундаментальные основы и практическая реализация // Высокомолекулярные соединения. 2017. Т. 59. С. 1-31.
4. Chernikova E.V., Yulusov V.V., Mineeva K.O., Garina E.S., Sivtsov E.V. Controlled synthesis of copolymers of vinyl acetate and n-butyl acrylate mediated by thritiocarbonates as reversible addition-fragmentation chain-transfer agents // Polymer Science, Series B. 2012. Vol. 54. P. 349 – 360.

5. Способ получения поли-и сополимеров n-виниламидоянтарной кислоты: пат. 891689 Рос. Федерация. № 2858169/23-05 / Николаев А.Ф., Лавров Н.А., Бондаренко С.Г.; заявл. 25.12.79; опубл. 23.12.81, Бюл. № 47. 4 с.

Егорова Евгения Владимировна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

студент группы №С42101,

направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные

технологии и системы связи,

e-mail: jannee24@gmail.com

Суриков Анатолий Георгиевич

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

Национальный центр когнитивных разработок,

к.т.н., н.с. НКЦР,

e-mail: anatoliy.surikov@gmail.com

УДК 004.04

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА С ПОМОЩЬЮ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ

Е.В. Егорова

Научный руководитель – к.т.н., н.с. НКЦР А.Г. Суриков

Работа выполнена в рамках темы НИР №620174 «Инкрементальное обучение моделей психоэмоциональной динамики пользователей и сообществ в цифровых социальных системах».

Аннотация

В настоящей работе представлена вероятностная модель эмоционального анализа русскоязычных текстов с учетом эмоциональных индикаторов. Данная модель осуществляет классификацию текстов по эмоциональной шкале Экмана, в которую входит 6 базовых эмоций (радость, печаль, страх, удивление, злость и отвращение), и определяет эмоциональную интенсивность текста.

Ключевые слова

Анализ эмоций, Инкрементальное обучение, Социальные сети.

1. Введение

Социальные сети позволяют пользователю воссоздать свою личность в Интернете. Пользователи размещают у себя в профиле личные тексты, фотографии, ссылки, записи, видео и т. д. Личные тексты, которые размещают у себя пользователи, содержат большое количество информации не только об их смысловом содержании, но и о слабо формализуемом эмоциональном контексте их написания. В данной работе мы пытаемся извлечь эмоциональную подачу из текстов с помощью байесовской вероятностной модели, обученной на экспертно-размеченных текстах. Цель данной работы заключается в получении комплексного вывода об эмоциях, проявленных в текстах и их интенсивности, а также в получении промежуточных предикторов (эмбедингов) для улучшения качества вывода других моделей (например, моделей психотипирования пользователей по их цифровым следам). Для данного исследования используется модель шести базовых эмоций П. Экмана [1].

2. Литературный обзор

Определение эмоций в текстах [2–4] – относительно новая область в анализе тональности текстов, связанная с извлечением и анализом эмоций.

Анкуш Чаттерджи и др. [2] предложил подход к обнаружению эмоций (счастья, печали, гнева) в текстовых диалогах. Суть подхода заключается в сочетании семантических и эмоциональных представлений для выявления эмоций. Данные были собраны из Twitter [12–14] с использованием полуавтоматического подхода. Метод SS-BED дает лучшие результаты по шкале F1 для каждого класса эмоций (счастье = 59,68, грусть = 80,79, гнев = 73,55) по сравнению с базовыми моделями. SS-BED была обучена использованию Microsoft Cognitive Toolkit [7].

В [3] предложен метод классификации твитов по эмоциональным классам на основе лексикона NRC [8]. Авторы провели эксперимент, используя два подхода: (1) модель центроида слов [9], создавая векторы слов из атрибутов уровня твита (униграммы и кластеры Брауна) путем усреднения всех твитов с целевым словом, и (2) встраивание слов работа с непрерывными словесными векторами низкой размерности, обученными в документе. Результаты показывают, что расширенный лексикон значительно улучшает классификацию эмоций по сравнению с исходным лексиконом.

В статье [11] представлен метод обнаружения эмоций с использованием байесовских сетей [15]. В статье представлены две модели на основе байесовских сетей: полная байесовская сеть (FBN) и байесовская сеть с индикатором настроения (BNM). F1-оценка для FBN составляет 53,71%, а для BNM – 54,07%.

Различные проблемы и решения, связанные с обнаружением эмоций, обобщены в [4]. Предложения обсуждаются там с учетом их основных вкладов, используемых подходов, использованных наборов данных, полученных результатов, их сильных и слабых сторон.

Инкрементное и онлайн-машинное обучение [5, 6] привлекает все большее внимание, особенно в контексте обучения потокам данных, в отличие от традиционного предположения о полных данных.

Никола Капуано и др. в [5] предложен подход, основанный на иерархических сетях внимания [10], для определения полярности настроений, при общении с клиентами. Точность классификатора (макро-средний балл F1 0,79 для английского языка) и механизм переподготовки повысили точность классификации на новых образцах без ухудшения общей производительности системы.

3. Модель предсказания эмоций

Разработанная модель имеет две стадии обучения (рис. 1). На первой стадии сеть обучается на экспертной разметке, в которой коротким текстам, взятым из открытых источников, сообщается оценка их эмоциональности по шкале Экмана. Эксперты выделяют наличие той или иной эмоции (E1, E2 и т. д.) для каждого из текстов, в дальнейшем оценки разных экспертов обобщаются. Сеть изучает выделенные в размеченных текстах токиены – леммы и коллокации лемм (n-граммы), включающие не только нормализованные слова и последовательности слов, но также, и разнообразно проявленные эмоции – эмоджи и эмотиконы, их комбинации со словами и друг с другом.

Принцип выделения токиенов заключается в выявлении устойчивых выражений, статистически неравномерно распределенных по классам эмоций, выделенных в содержащих их текстах. Таким образом, формируется первоначальный словарь, элементы которого становятся узлами сети, а ребрами – их связи с узлами эмоциональных классов, взвешенные статистикой условных вероятностей выделения данного эмоционального класса в тексте с данным токиеном.

Дальнейшее обучение сети осуществляется итеративно с помощью пакетов данных, поступающих из открытых источников (рис. 1). Разметкой, в данном случае,

выступают хеш-теги, проставленные для текстов их авторами. Например, хеш-тег «#фууу» нами проассоциирован с эмоцией «отвращение», а хеш-тег «#страшно» с эмоцией «страх». Сопоставление хеш-тегов с эмоциями является отдельной задачей, требующей методического осмысления, решение которой является предметом дальнейшего исследования. На данный момент схема маппинга была задана экспертами в жесткой форме, этого достаточно для проведения экспериментов по обучению сети, запланированных на данной стадии исследования.

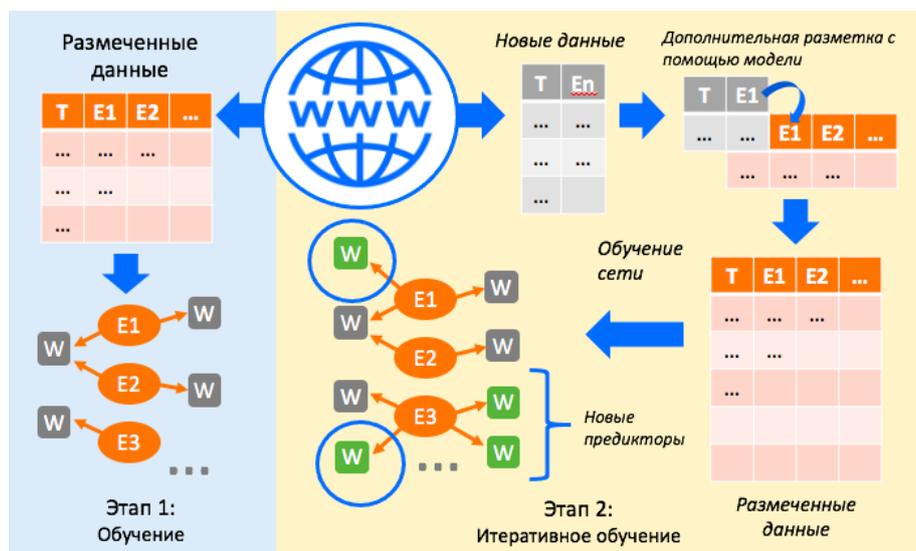


Рис. 1. Модель предсказания эмоций с использованием байесовской сети с применением инкрементального обучения

Далее модель дообучалась итеративно на пакетах данных новых образцов, также взятых из открытого источника, где регулярно размещаются короткие истории с разметкой хеш-тегами. Были собраны данные за 8 лет существования данного канала, а это более 100000 текстов. В результате сопоставления хеш-тегов на эмоции было отобрано 10187 образцов, которые и стали материалом для проведения эксперимента на стадии 2.

Модель обучалась итерациями в 1 месяц: то есть, на каждом инкременте жизненного цикла модели для ее обучения брались материалы за прошедший месяц из «жизни» наблюдаемого сообщества (это около 100 текстов). В общей сложности, опубликованных текстов было значительно больше, но достаточно точный маппинг на эмоции был возможен менее чем для 10% из них. Для валидации модели из пакета каждой итерации откладывалось 20% текстов, остальные 80% использовались для дообучения сети. Результаты валидации модели на нескольких промежуточных итерациях представлены на рис. 2 (iterate 20, 40, 60, 80, 100).

Таблица 1

Результаты валидации модели на разных промежуточных итерациях

Итерация	0	20	40	60	80	100
Размер словаря	1564	2926	3477	4165	4256	4490
Ассурасу	67,8%	70,5%	72,1%	73,2%	75,0%	77,0%
ROC AUC	72,1%	75,0%	77,0%	78,8%	80,3%	81,0%
F1	46,6%	49,6%	51,4%	52,7%	53,3%	53,9%

Анализируя результаты эксперимента, можно сделать вывод, что, в целом, качественные показатели работы модели, по мере ее дообучения, значительно улучшаются (см. рис. 2). Можно наблюдать заметную неравномерность роста показателей по разным эмоциональным классам, что объясняется разным количеством и качеством дополнительной разметки. За время экспериментального жизненного цикла модель выросла почти втрое по количеству узлов сети (с 1564 до 4493), на 8,9% по ROC AUC и на 7,3% по показателю F1 см. таблицу.

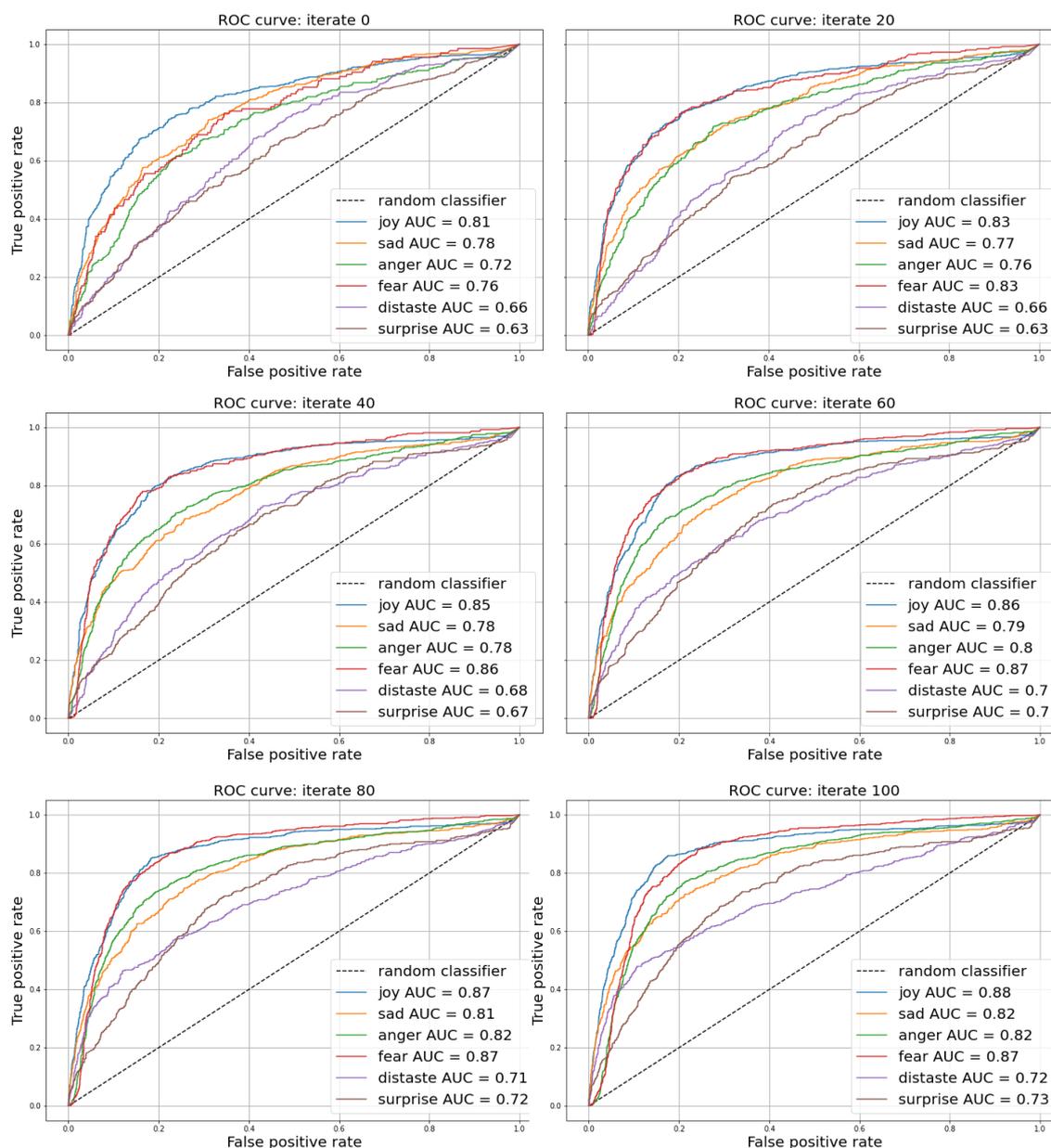


Рис. 2. Валидация модели (Roc кривые с разным количеством итераций)

4. Заключение и дальнейшая работа

Можно сделать вывод, что качественные характеристики модели значительно улучшились в процессе инкрементального обучения. Наблюдается заметная неравномерность роста показателей по разным эмоциональным классам, что можно объяснить разным количеством и качеством дополнительной разметки. В течение экспериментального жизненного цикла модель почти утроила количество узлов (с 1564 до 4490), на 8,9% в ROC AUC и на 7,3% в F1-метрика (см. таблицу).

Как видно из показателей целевые величины меняются неравномерно для разных классов эмоций. Например, результаты для радости, лучшие после обучения, немного ухудшаются к концу этапа 2 эксперимента, в то время как наблюдается значительное улучшение для гнева и страха. Это объясняется различием качества и количества исходной экспертной разметки. Очевидно, что проблемы отображения хэштегов на классы эмоций и оценки ясности получаемых данных требуют отдельного исследования.

Инкрементальная модель эмоционального анализа имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными моделями предварительного разового обучения, что является научной новизной предлагаемого подхода. В частности, по мере постепенного обучения модель активно изучает новые паттерны, и качественные характеристики модели также значительно повышаются.

Отдельным плюсом является то, что модель не требует постоянной работы с данными ручной разметки. Модель автоматически извлекает информацию разметки из контекста представлений данных в источнике (в данном случае из хэш-тегов).

Литература

1. Ekman P. Universals and cultural differences in facial expressions of emotions. In: Nebraska Symposium on Motivation, 207–283. 1972.
2. Ankush Chatterjee, Umang Gupta, Manoj Kumar Chinnakotla, Radhakrishnan Srikanth, Michel Galley, and Puneet Agrawal.: Understanding emotions in text using deep learning and big data. *Computers in Human Behavior*, 309–317. 2019.
3. Bravo-Marquez F., Eibe F., Saif M.M., Pfahringer B. Determining word–emotion associations from tweets by multi-label classification. In *Proceedings of the 2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence*, Omaha, NE, USA. 536–539. 2016.
4. Acheampong F.A., Wenyu C., Nunoo-Mensah H. Text-based emotion detection: Advances, challenges, and opportunities. *Eng. Rep.* 1–24. 2020. <https://doi.org/10.1002/eng2.12189>. (дата обращения 23.03.2021).
5. Capuano N., Greco L., Ritrovato P. et al. Sentiment analysis for customer relationship management: an incremental learning approach. *Appl Intell* (2020). <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01984-x>. (дата обращения 23.03.2021).
6. Shubhanshu M., Diesner J., Byrne J., and Surbeck E. Sentiment Analysis with Incremental Human-in-the-Loop Learning and Lexical Resource Customization. In *Proceedings of the 26th ACM Conference on Hypertext Social Media (HT '15)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 323–325 (2015). <https://doi.org/10.1145/2700171.2791022>. (дата обращения 23.03.2021).
7. The Microsoft Cognitive Toolkit, <https://docs.microsoft.com/en-us/cognitive-toolkit/>. Last accessed 4 Feb. 2021. (дата обращения 23.03.2021).
8. Mohammad S.M., Turney P.D. *C emotion lexicon* (NRC Technical Report). 2013.
9. D.R. Radev, Hongyan J., M. Stys, and D. Tam. Centroid based summarization of multiple documents. *Inf. Process. Manage.*, 40 (6). 919–938. 2004.
10. Yang Z., Yang D., Dyer C., He X., Smola A., Hovy E. Hierarchical attention networks for document classification. In *Proceedings of the 2016 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies*, 1480-1489. 2016.
11. Asriadi M.S., Mubarak M.S. Classifying emotion in Twitter using Bayesian network. In *Journal of Physics: Conference Series*. 012041. 2018.
12. Abbasi, M.M., Beltyukov, A.P.: Analysis of emotions from the text in Russian using syntactic methods. In *Information Technology and Systems*, 137-142. 2019.
13. Surikov A., Egorova E. Alternative method sentiment analysis using emojis and emoticons. *Procedia Computer Science* 178, 182-193. 2020.

14. Salovey P. and Mayer J.D. Emotional intelligence. In Imagination, cognition and personality. 185-211. 1990.
15. Pearl J. Bayesian networks. 2011.

Защитин Роман Александрович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42331с,

направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: roman.zashchitin@itmo.ru

Борисов Иван Игоревич

Год рождения: 1993

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., ассистент,

e-mail: borisovii@itmo.ru

УДК 621.01, 621.837.3

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ
И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГАЛОПИРУЮЩИХ РОБОТОВ
ОТКРЫТОЙ И ЗАМКНУТОЙ КИНЕМАТИКИ**

Р.А. Защитин

Научный руководитель – к.т.н., ассистент И.И. Борисов

Работа выполнена в рамках темы НИР №52152 «Разработка алгоритмического и программного обеспечения для адаптивных антропоморфных и автономных мобильных роботов».

Аннотация

В проекте «Конструирование, моделирование, анализ и управление галопирующих роботов открытой и замкнутой кинематики» рассматривается комплексный подход при проектировании галопирующих роботов с точки зрения энергоэффективности. Решение задач энергоэффективного перемещения шагающих роботов позволяет более активно внедрять роботов повышенной проходимости в сложную человеческую среду. Работа посвящена анализу и оптимизации решений на каждом этапе разработок: Морфологический синтез кинематической схемы конструкций необходимый для придания пассивной рекуперации энергии на механическом уровне; Кинематические и динамические расчеты и анализ для выявления ключевых параметров механизма и варьирование их во время оптимизации; Синтез алгоритмов управления для осуществления корректной отработки сигналов двигателями.

Ключевые слова

Галопирующие роботы, оптимизация, анализ механических структур, динамическая локомоция, энергоэффективность.

Бег четвероногих роботов – один из самых длительных вызовов перед робототехникой. Основным преимуществом шагающих роботов перед колесными является способность передвигаться по неровной местности за счет минимального времени контакта с поверхностью и возможности смещения центра масс относительно точки контакта. Механизмы ног расширяют область применения роботов и позволяют использовать их в таких областях как: промышленность, инспекция, строительство, уход за пожилыми людьми, безопасность дома и в иных разнообразных областях.

Наибольший интерес в области шагающих роботов вызывают два аспекта: осуществление динамического и физического взаимодействия с окружающей средой и энергоэффективность такого передвижения. Четвероногие же роботы являются хорошей платформой для изучения физического и динамического взаимодействия с окружающей средой из-за осуществляемой динамической локомоции.

Основная цель - изучение двух типов механических конструкций и управление ими с точки зрения энергоэффективности. Чтобы сделать систему максимально простой, мы рассматриваем только плоское движение в сагиттальной плоскости. Тела роботов могут перемещаться по горизонтальной \hat{x} и вертикальной оси \hat{y} без вращения вокруг оси \hat{z} ; таким образом, мы рассматриваем проблему поступательного движения, а не балансировки.

Для корректности эксперимента механизмы должны иметь одинаковые условия. Массы и размеры механизмов должны быть одинаковыми, а центры масс должны располагаться примерно в одних и тех же местах. Основные параметры механизмов ног представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры механизмов конечностей

Кинематическая цепь	Компонент	Масса	Инерция	Высота центра масс
Открытая	Тело	0,6 кг	0.01 кг м ²	0.27 м
	Нога	0,3 кг	0.01 кг м ²	0.13 м
Замкнутая	Тело	0,6 кг	0.01 кг м ²	0.26 м
	Нога	0,3 кг	0.01 кг м ²	0.13 м

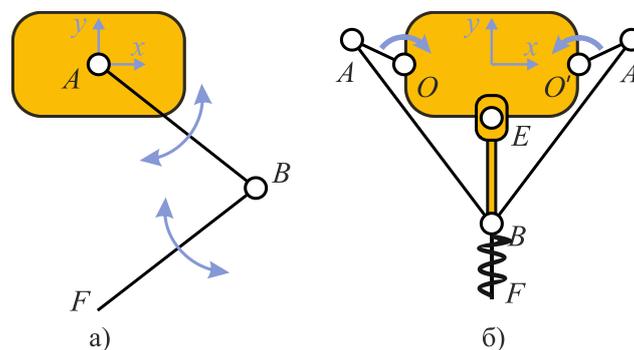


Рис. 1. Принципиальные схемы конечностей

На рис. 1 (а) показана механическая конструкция робота с кинематикой открытой цепи. Конструкция состоит из корпуса массой M и двух последовательно соединенных частей опор. Поскольку это полноприводный механизм, то нога оснащена двумя двигателями в тазобедренном и коленном суставах для приведения в действие звеньев. Считается, что метод управления импедансом осуществляет динамическое взаимодействие с землей через виртуальную пружинно-демпферную систему. Рассмотрены системы с реальными пружинами физического вращения, встроенными в шарниры, и без них.

На рис. 1 (б) представлена конструкция робота с замкнутой кинематической цепью. Конструкция конечности состоит из тела массой M и малоинерционного замкнутого рычажного механизма со встроенной реальной физической пружиной. Механизм минтаура и его полная структура были представлены в работе. У минтаура имеется два кривошипа OA и $O'A'$, которые приводят в действие весь механизм. Шатуны AB и $A'B$ образуют замкнутый контур. Звено EB является направляющей для звена

переменной длины (ЗПД) BF , имеющего встроенную физическую пружину. Траектория конечной точки F зависит от угловой скорости кривошипов и разности фаз между ними. Следует отметить, что геометрические параметры звеньев также определяют траекторию движения F . Изменение угловой разности фаз кривошипов позволяет изменять скорость галопирования робота.

Крутящий момент передается через планетарный редуктор от мощного двигателя постоянного тока к кривошипам. Серводвигатель регулирует угловую разность фаз между кривошипами. При помощи дифференциального механизма скорость вращения кривошипов управляется при помощи мощного двигателя, а разность фаз между кривошипами при помощи маломощного сервопривода.

Метод управления по импедансу необходим для динамического управления физического взаимодействия робота с открытой кинематической цепью и землей. Управление по импедансу помогает создать практически пассивную систему, которая может динамически взаимодействовать с окружающей средой.

Неполноприводный робот с замкнутой кинематической цепью был создан с использованием морфологического синтеза. Это означает, что он был синтезирован с учетом механических свойств системы: распределения массы, податливости и преобразования движения посредством звеньев. Идея использовать небольшие управляющие усилия для возбуждения, стабилизации или увеличения естественной динамики механической конструкции робота. Поскольку профиль движения выходного звена уже «записан» внутри синтезированного механизма, а желаемая динамика движения робота по своей сути заложена в механике, можно использовать простые алгоритмы отслеживания положения и скорости.

Двигатель и сервопривод должны управляться независимо друг от друга для управления конечной точкой F , поэтому необходимо разделить системы управления на части. Таким образом, проблема управления сводится к стабилизации положения кривошипов. Угловая разность фаз задается одним из двигателей. Здесь алгоритм управления намного проще и не требует математической модели робота. Тогда проблема физического взаимодействия ложится на физическую пружину, встроенную в конструкцию конечности. Для корректной работы физические свойства этой пружины соответственно должны быть оптимизированы.

Для изучения затрат энергии для обеих конструкций конечностей было проведено имитационное моделирование. MATLAB с пакетами Simscape использовался для моделирования жестких многотельных систем, упругих элементов, электронных схем двигателей и систем управления.

При моделировании все двигатели для механизмов с разомкнутой и замкнутой кинематической цепью считаются одинаковыми. Физические параметры двигателей приведены в табл. 2. Такие условия позволят создать корректную модель и установить пороговые значения для генерируемого крутящего момента. Редуктор смоделирован при помощи Matlab Simscape Driveline. Подробные данные о моделировании можно найти в работе [1].

Таблица 2

Физические параметры моделируемых двигателей

Параметр	Символ	Значение	Ед. измерения
Инерция двигателя	J	0	$г \cdot см^2$
Электромеханическая константа	K_m	0,02	$Н \cdot м / А$
Сопротивление	R	1	$Ом$
Индукция	L	1.2e-6	$Гн$
Коэффициент демпфирования	D	0	$Н \cdot м / (рад / с)$

Библиотека контактных сил использовалась для моделирования физического взаимодействия роботов с поверхностью. Нормальная сила моделируется вязкоупругой моделью Ханта – Кроссли для конечной точки F . Моделирование силы трения основывается на кулоновской модели трения.

Схемы управления рассматривались как дискретные, чтобы сделать модель максимально приближенной к реальности. Одна из проблем заключается в постоянном влиянии среды, в которой робот вынужден работать. Отсюда нестабильная работа напрямую может быть связана с низкой частотой дискретизации. В моделировании частота дискретизации $T_0 = 0,01$ сек. В ходе эксперимента выяснилось, что необходимо применять дополнительные меры для обеспечения пассивного регулирования.

Для измерения энергии, потребляемой роботами во время передвижения, использовался метод измерения энергии для исполнительных механизмов. Блок-схема оценки энергии представлена на рис. 2.

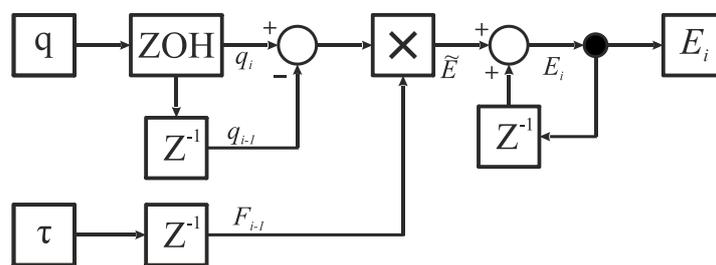


Рис. 2. Блок-схема расчета энергии

Изучение затрат энергии на передвижение мобильных роботов принято измерять при помощи коэффициента затрат на перемещения (CoT) [2]. Коэффициент затрат на перемещение – коэффициент, позволяющий определять энергоэффективность не только роботов, но и животных, людей и иных передвигающихся механизмов.

$$CoT = \frac{E}{mgd},$$

где E – это энергия необходимая для перемещения тела массой m на расстояние d при гравитационной постоянной g . Чем меньше значение CoT, тем энергоэффективнее считается передвижение.

Физические упругие элементы в виде пружин позволяют повысить энергоэффективность, путем снижения крутящего момента, действующего на двигатели. Упругие элементы также позволяют увеличить стабильность системы за счет непрерывной работы по сравнению с дискретным режимом работы системы управления двигателями. Таким образом, будет проведено всего три типа моделирования: конструкция конечности с открытой кинематической цепью с физическими пружинами в сочленениях, конечность с открытой кинематической цепью без физических пружин и конечность с замкнутой кинематической цепью с использованием физической пружины.

Коэффициенты жесткости пружин подбирались на основе веса конструкции робота. Таким образом жесткость торсионной пружины в бедре конструкции составила $K_{sh} = 3,5$ Н·м/рад и жесткость в коленном суставе составила $K_{sk} = 1,9$ Н·м/рад.

Для изучения зависимости энергоэффективности передвижения конструкции конечности от коэффициентов управляющего регулятора в уравнение управления по импедансу были подставлены коэффициенты K и D . В некоторых случаях конструкция ведет себя нестабильно и теряет функциональность, однако в узком диапазоне значений

коэффициент затрат на перемещение варьируется в пределах 0,83-0,88. Наиболее интересные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты затрат на перемещение в зависимости от коэффициентов регулятора в механизме с открытой кинематической цепью

K	D	CoT без пружин	CoT с пружинами
90	0	0,83	1,42
100	2	0,86	0,60
110	2	0,92	0,62
120	4	0,88	0,52
130	4	0,85	0,51
180	6	7,37	0,48
190	6	8,68	0,46
200	6	13,54	0,45

Анализируя полученные значения в таблице, следует отметить, что, используя только управление по импедансу без физических пружин, можно достигнуть значения $CoT = 0.83$, но с использованием пружин этот коэффициент может быть уменьшен до 0,45. Таким образом значение коэффициента улучшилось в 1,8 раз только за счет добавление пружин. Значения в таблице ограничиваются тем, что дальнейшее увеличение коэффициентов регулятора не дает повышения энергоэффективности либо оно слишком незначительно.

В конструкции с замкнутой кинематической цепью на энергоэффективность передвижения влияют ряд параметров: коэффициенты ПИД-регуляторов, разность фаз между кривошипами, жесткость пружины и её рабочая длина. Коэффициент жесткости $K_s = 1600$ Н/м пружины был выбран экспериментально исходя из веса конструкции и при рабочей длине пружины $L = 0,05$ м. Более подробные данные представлены в работе. Параметры контроллера же были выбраны исходя из минимизации времени переходных процессов. Итого соотношение коэффициента затрат на перемещение от разницы фаз кривошипов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Зависимость коэффициента затрат на перемещение от разницы фаз кривошипов для механизма замкнутой кинематики

Разница фаз	CoT
0,1	0,82
0,3	0,36
0,5	0,25
0,7	0,19
0,9	0,17
1,1	0,15
1,3	0,14
1,5	0,12

На рис. 3 продемонстрирован фрагмент потребления энергии системой в каждый момент времени. На графике видно, что в определенном диапазоне коэффициентов K и D с пружинами в конструкции механизма тратится примерно $\approx 3,5$ Дж/с.

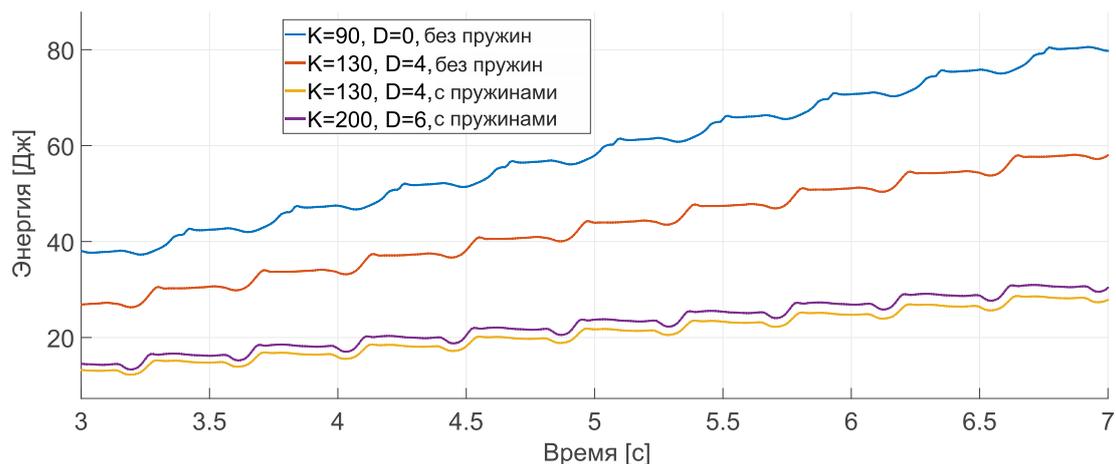


Рис. 3. График зависимости затрат на передвижение от параметров регулятора и наличия пружин для механизма с открытой кинематической цепью

Графики энергопотребления механизма с замкнутой кинематической цепью представлены на рис. 4. Анализируя данные, можно заметить, что наклон графиков, полученных из моделирования, примерно одинаков для каждого значения разниц фаз. Тогда для механизма с замкнутой кинематикой трата энергии примерно ≈ 1 Дж/с.

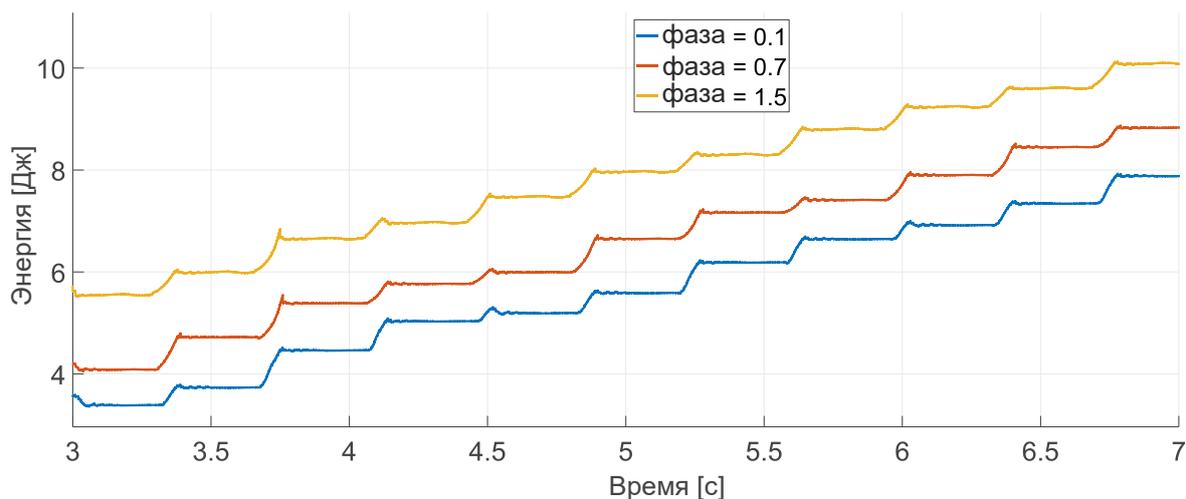


Рис. 4. График зависимости энергии от разницы фаз между кривошипами в механизме с замкнутой кинематической цепи

Моделирование показало, что интеграция реальной пружины в механизм галопирующего робота значительно уменьшает трату энергии на передвижение практически во всех случаях. Существенным преимуществом механической пружины можно ответить непрерывный характер работы, что увеличивает устойчивость системы. Количественно было доказано преимущество в меньшем энергопотреблении механизма замкнутой кинематики перед открытой. Лучшим показателем коэффициента затрат на перемещение для замкнутой кинематики достигался до $CoT = 0,12$, когда для открытой кинематики всего $CoT = 0,45$, что хуже в 3,75 раз. Несмотря на несомненное преимущество закрытой кинематической цепи с точки зрения энергоэффективности, открытая цепь остается универсальной за счет возможности воспроизведения разных траекторий без изменения самой конструкции.

Литература

1. Borisov I.I. Study on Elastic Elements Allocation for Energy-Efficient Robotic Cheetah Leg // 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2019. P. 1696–1701.
2. Bhounsule P.A., Cortell J. Ruina A. Design and control of ranger: an energy-efficient, dynamic walking robot // Adaptive Mobile Robotics. 2017. P. 441–448.

Кондратьев Валерий Игоревич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

физический факультет,

студент группы №Z41402,

направление подготовки: 14.04.00 – Техническая физика,

e-mail: kondratyevvalery.i@gmail.com

Кравцов Василий Андреевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

физический факультет,

Ph.D.,

e-mail: vasily.kravtsov@metalab.ifmo.ru

УДК 53.097

**ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЯРИТОНАМИ
В ДВУМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ
С ПЛАНАРНЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ ВОЛНОВОДАМИ**

В.И. Кондратьев

Научный руководитель –Ph.D. В.А. Кравцов

Аннотация

В ходе работы нами были изготовлены гибридные структуры из монослоев ДПМ, интегрированные с высокоиндексным планарным оптическим волноводом для электростатического и радиационного контроля экситон-поляритонов. Нами был разработан новый подход к изучению экситон-поляритонов в планарных системах на основе ДПМ, интегрированных с фотонными структурами при комнатной температуре. Мы продемонстрировали сильную связь между экситонами в монослое WS_2 и волноводной модой в слое Ta_2O_5 в изготовленных образцах с расщеплением Раби порядка нескольких десятков мэВ. Мы продемонстрировали экситон- и трион-поляритоны в гетероструктуре $MoSe_2 / hBN$, интегрированной с планарным фотонным кристаллом, и продемонстрировали контроль над такими поляритонами при помощи электростатического управления.

Ключевые слова

Экситоны, поляритоны, сильная связь, оптический волновод, разрешенная по углу спектроскопия, расщепление Раби.

Быстрое развитие области полностью оптических устройств, таких как оптические переключатели и транзисторы, ускоряет поиск высоко нелинейных оптических систем. Системы, которые работают в режиме сильной связи между светом и веществом, показывают себя очень перспективными. Монослои дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ), такие как WS_2 , WSe_2 , MoS_2 и $MoSe_2$, демонстрируют прямые запрещенные зоны [1] и подходят для интеграции в микросхемы [2]. Во взаимодействии ДПМ со светом преобладают квазичастицы - экситоны с энергией связи порядка 100 мэВ, большой силой осциллятора [3] и способностью сильно связываться с модами оптических резонаторов и образовывать поляритоны. Также ДПМ поддерживают формирование трионов (заряженных экситонов): такие квазичастицы имеют заряд, в отличие от электронейтральных экситонов, что позволяет электростатически управлять ими. Поляритоны в ДПМ изучались в различных оптических системах, таких как

плазмонные резонаторы [4], брэгговские зеркала [5] и субволновые решетки [6, 7]. Большинство изученных до сих пор систем требуют относительно сложных процессов изготовления, в то время как их конструкция учитывает излучательную связь с волнами в свободном пространстве с фиксированной эффективностью. В первой части нашей работы мы реализуем простой гибридный планарный волновод на основе ДПМ и демонстрируем подход к исследованию неизлучающих поляритонов, распространяющимися ниже светового конуса. Во второй части нашей работы мы показываем электростатическое управление экситон-/трион- поляритонами в монослое ДПМ, интегрированным с планарным фотонным кристаллом.

В данной работе для всех образцов мы использовали подложку, которая состоит из слоев $Ta_2O_5/SiO_2/Si$ (сверху вниз), где толщина Ta_2O_5 90 нм, толщина SiO_2 1 мкм, толщина $Si \sim 1$ мм. Для переноса монослоев на подложку мы использовали метод сухого переноса [8, 9]. Монослои ДПМ были получены механической эксфолиацией из коммерческого объемного кристалла. Первый образец, который мы сделали, состоял из монослоя WS_2 размерами 50 мкм x 20 мкм, перенесенного на волновод из Ta_2O_5 . Схематичное изображение образца показано на рис. 1 (b).

Для подтверждения сильной связи между квазичастицами в ДПМ и волноводными модами мы использовали спектроскопию задней фокальной плоскости дополненной частью с линзой твердой иммерсии (ЛТИ) (рис. 1 (a)). Для измерения мы использовали объектив с высокой численной апертурой, что позволило нам исследовать состояния с волновыми векторами до $NA_{obj} * n_{SIL} = 0.9 * 2.5 \sim 2.25$. Для измерения мы использовали полусферу из $ZnSe$, показатель преломления которой на 700 нм равен $n_{ZnSe} \sim 2.5$. Изменение воздушного зазора между ЛТИ и образцом позволило нам контролировать эффективность возбуждения волноводной моды и поляритона. Финальный результат для измерений для этого эксперимента показан на Рис. 3.

Для корректной интерпретации экспериментальных данных, мы провели серию численных моделирований изучаемой системы используя модальный метод Фурье [9]. Результат для эксперимента с WS_2 показан на рис.2 (a)-(b).

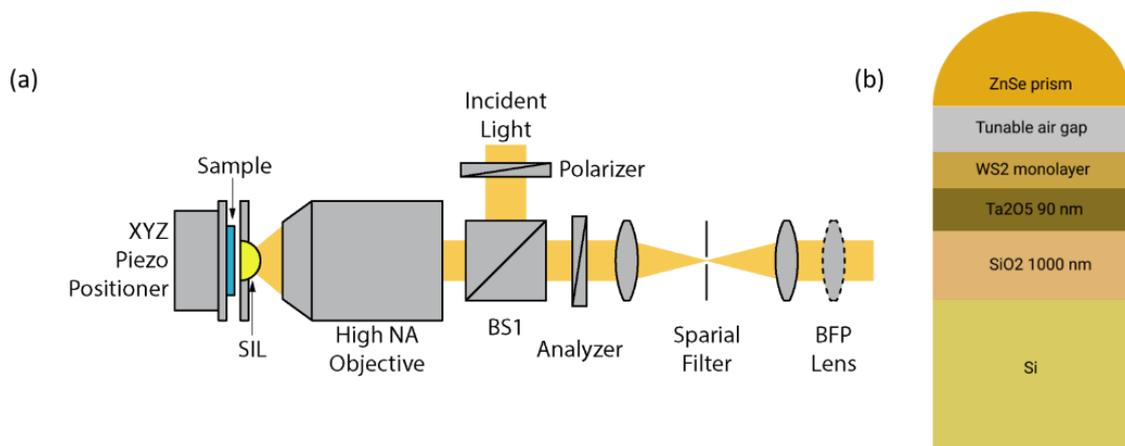


Рис. 1. (a) Схема установки для измерения разрешенной по углу спектроскопии отражения, дополненная линзой твердой иммерсии. (b) Схема изучаемого образца

На рис. 2 (a) показаны результаты моделирования без монослоя ДПМ. Волноводная мода четко видна на волновых векторах в диапазоне от $1.45 k_0$ до $1.8 k_0$ (синий цвет), где k_0 - волновой вектор свободного пространства. Провалы в отражении ниже $1.45 k_0$ соответствуют Фабри-Перо резонансам в слое оксида кремния (красный цвет). При добавлении монослоя в моделирование, мы можем наблюдать расщепление между оптической модой и экситонным резонансом в WS_2 (~ 2.01 эВ). Моделирование было

подтверждено экспериментальным измерением карт отражений, как показано на рис. 2 (с)-(d). Данные карты были получены при расстояниях воздушного зазора порядка 160 нм. Мы измерили и промоделировали карты отражений при разных воздушных зазорах между ЛТИ и образцом. Финальным результатом данного эксперимента было получение зависимостей характеристик волноводной моды и величина расщепления Раби от зазора между образцом и ЛТИ. Соответствующие зависимости показаны на рисунке рис. 3.

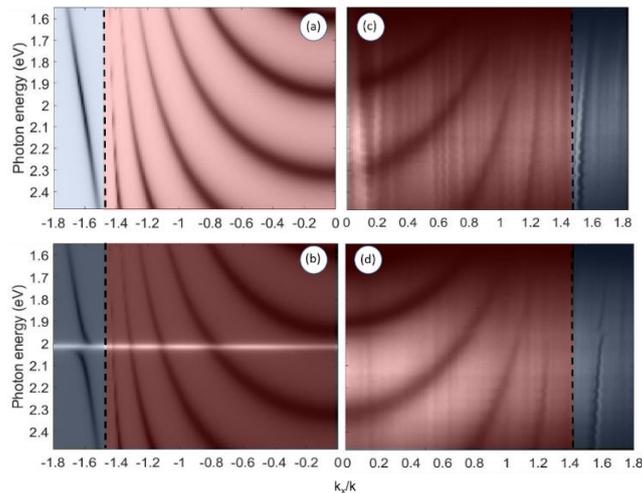


Рис. 2. Карты отражения от образца WS2/ Ta2O5/SiO2/Si: (a)-(b) карты отражения смоделированные при помощи метода Фурье, (с)-(d) экспериментальный результат

Из серии экспериментов мы получили зависимости полуширины волноводной моды от зазора, модуляции провала волноводной моды от зазора, и величины расщепления Раби от зазора. Оптимальное возбуждение оптической моды соответствует режиму критической связи между волноводной модой и ЛТИ. Этот режим соответствует расстоянию, когда радиационные потери моды равны ее нерадиационным (омическим) потерям. На рис. 3 такой режим показан прерывистой красной линией. В модуляции отражения режим соответствует пику на 160 нм. Главный результат этой части показан на правом рисунке. Для получения величины расщепления мы использовали модель двух связанных осцилляторов. На рисунке видно, что зависимость, предсказанная в моделировании, почти линейна, так как в нашем эксперименте мы меняем величину силы связи между экситоном и модой, в то время как величина расщепления слабо меняется на зазорах от 100 нм до 250 нм.

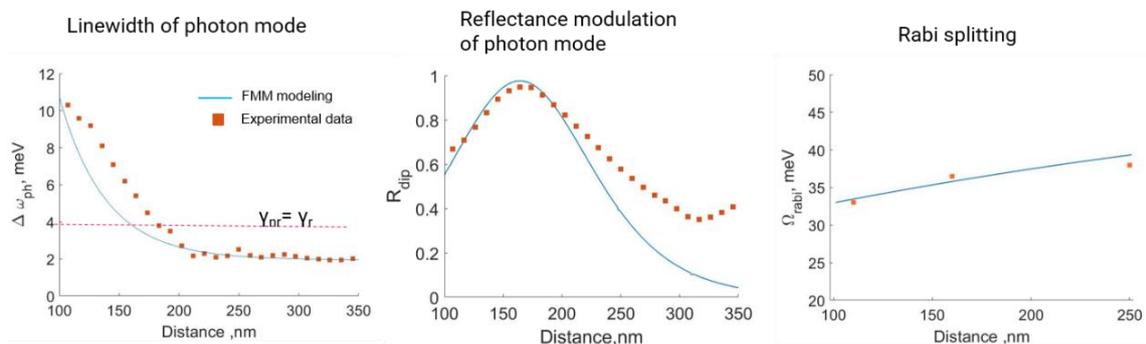


Рис. 3. Левый рисунок – зависимость ширины моды от зазора между ЛТИ и образцом. Центральный рисунок – модуляция в провале отражения волноводной моды от зазора. Правый рисунок – величина расщепления Раби от зазора

Для электростатического контроля поляритонов мы сделали образец, состоящий из гетероструктуры hBN/MoSe₂, которая была собрана на фотонном кристалле в слое Ta₂O₅ (рис. 4 (b)). Для создания гетероструктуры мы использовали метод сухого трансфера. Для создания контакта к образцу, была использована электронно лучевая литография (ЭЛЛ). Нанесение контакта из Ti/Au на маску, сделанную ЭЛЛ, производилось методом термического испарения. Мы выбрали Ti в качестве адгезионного слоя из-за того, что его работа выхода (4,3 эВ) близка к энергиям сродства к электрону MoSe₂ (3,8 эВ) и, следовательно, способствует низкому барьеру Шоттки на контакте металл / полупроводник. hBN был использован по трем причинам. Первая, слой hBN предотвращает провал монослоя внутрь полосок фотонного кристалла. Вторая, в системе, где монослой помещён между hBN и системой, поддерживающей оптическую моду, сильная связь между экситоном в ДПМ и модой выше. Третья, hBN подвигает оптическую моду к экситонному резонансу.

Для измерения сильной связи мы использовали установку показанную на Рис. 4 (a).

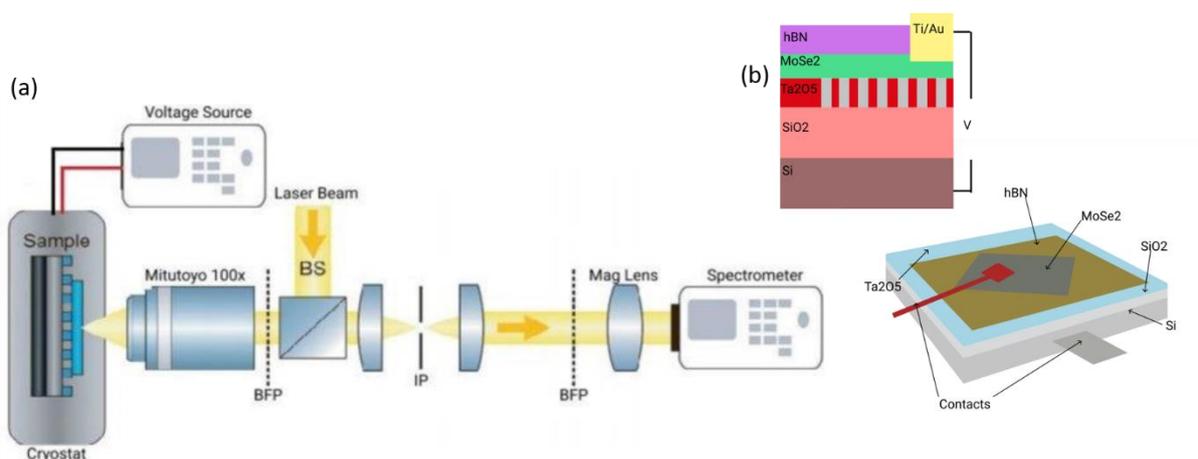


Рис. 4. (a) Схема установки для измерения разрешенной по углу спектроскопии отражения при 7К. (b) Схема образца

Моделирование изучаемой структуры показано на рис. 5. На этом рисунке можно увидеть расщепление между модой фотонного кристалла и экситонным резонансом в MoSe₂ (1.65 эВ). Подбор параметров фотонного кристалла производился численно. Финальные параметры фотонного кристалла: период 500 нм, ширина полоски 360 нм, глубина травления 90 нм. Размер монослоя 120 мкм x 40 мкм. Толщина hBN порядка 50 нм. Напряжение подавалось на верхний контакт, приводя к накачке заряда в монослой. Результат приложения электростатического управления показан на рис. 6. При отсутствии напряжения карта отражений соответствует карте, полученной в моделировании. При увеличении напряжения на контакте экситонный резонанс становится слабее, что соответствует уменьшению силы осциллятора экситона. Экситонный резонанс полностью пропадает на ~ 500 В. Вместе с этим появляется трионный резонанс на ~1.62 эВ. Величина расщепления Раби для экситон поляритона изменяется с ~ 25 эВ до 0 эВ.

Основная цель данной работы заключалась в разработке методов и демонстрации управления поляритонами в гибридных системах, состоящих из дихалькогенидов переходных металлов и нанофотонных волноводов. Для достижения этой цели мы провели две серии экспериментов, подкрепленных теоретическим моделированием.

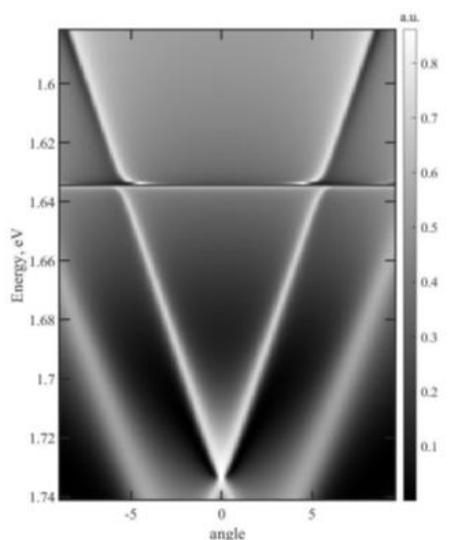


Рис. 5. Численный расчет карты отражения от гетероструктуры hBN/MoSe2 на фотонном кристалле

В первом эксперименте мы продемонстрировали подход к изучению экситон-поляритонов, поддерживаемых монослоями дихалькогенидов переходных металлов, связанных с неструктурированным плоским волноводом ниже световой линии. Продemonстрированный метод обеспечивает основу для будущих исследований радиационных / нерadiационных потерь, времени жизни и нелинейностей управляемых поляритонов на основе ДПМ.

Во втором эксперименте мы исследовали электрически перестраиваемый экситон-трион-поляритон в фотонном кристалле, интегрированном с монослоем ДПМ. Результаты показывают, что с помощью электрических контактов можно переключаться между созданием экситонных поляритонов и трионных поляритонов. Полученный результат представляет собой важный шаг на пути к созданию электрооптических устройств на трион-поляритонах.

В дальнейшем мы планируем продемонстрировать электростатическое управление при комнатной температуре в эксперименте с ЛТИ.

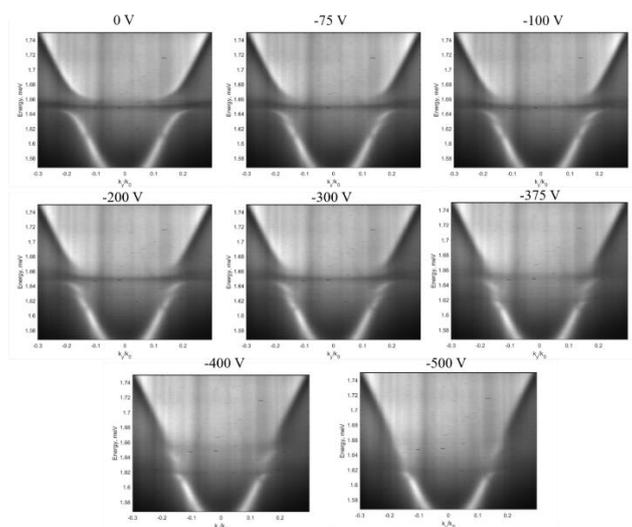


Рис. 6. Панель с экспериментально измеренным коэффициентом отражения с угловым разрешением для напряжений затвора 0 В, -75 В, -100 В, -200 В, -300 В, -375 В, -400 В, -500 В

Литература

1. Chernikov A. et al. Exciton binding energy and nonhydrogenic Rydberg series in monolayer WS₂ //Physical review letters. 2014. Т. 113. №. 7. С. 076802.
2. Akinwande D. et al. Graphene and two-dimensional materials for silicon technology //Nature. 2019. Т. 573. №. 7775. С. 507-518.
3. Wang G. et al. Colloquium: Excitons in atomically thin transition metal dichalcogenides //Reviews of Modern Physics. 2018. Т. 90. №. 2. С. 021001.
4. Munkhbat B. et al. Electrical control of hybrid monolayer tungsten disulfide–plasmonic nanoantenna light–matter states at cryogenic and room temperatures //ACS nano. 2020. Т. 14. №. 1. С. 1196-1206.
5. Schneider C. et al. Two-dimensional semiconductors in the regime of strong light-matter coupling //Nature communications. 2018. Т. 9. №. 1. С. 1-9.
6. Zhang L. et al. Photonic-crystal exciton-polaritons in monolayer semiconductors //Nature communications. 2018. Т. 9. №. 1. С. 1-8.
7. Kravtsov V. et al. Nonlinear polaritons in a monolayer semiconductor coupled to optical bound states in the continuum //Light: Science & Applications. 2020. Т. 9. №. 1. С. 1-8.
8. Frisenda R. et al. Recent progress in the assembly of nanodevices and van der Waals heterostructures by deterministic placement of 2D materials //Chemical Society Reviews. 2018. Т. 47. №. 1. С. 53-68.
9. Turunen J., Tervo J. Fourier modal method and its applications to inverse diffraction, near-field imaging, and nonlinear optics //Fringe 2013. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. С. 25-33.

Кузнецов Владимир Николаевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

студент группы №L42712,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: vtoes652@yandex.ru

Дейнека Иван Геннадьевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

к.т.н., доцент,

e-mail: igdeyneka@itmo.ru

УДК 621.373-187.4

**РАЗРАБОТКА МАКЕТА ГЕНЕРАТОРА
СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА БАЗЕ ПЛИС,
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЦАП (ДО 6 ГВЫБ/С) И КОМПОНЕНТОВ**

В.Н. Кузнецов

Научный руководитель – к.т.н, доцент И.Г. Дейнека

Работа выполнена в Университете ИТМО при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, название проекта – «Создание производства волоконно-оптических гироскопов для контрольно-измерительных устройств и наземных транспортных систем», Соглашение №075-11-2019-026 от 27.11.2019.

Аннотация

В работе предложена реализация генератора сигналов произвольной области в области частот от 500 кГц до 2.5 ГГц. Представлен способ организации работы нескольких цифровых блоков генераторов в параллельном режиме для уменьшения частоты тактового генератора. Подобрана оптимальная конфигурация усилительного тракта для повышения выходной мощности генератора. Разработан графический интерфейс пользователя для взаимодействия с аппаратной платформой.

Ключевые слова

Цифровой вычислительный синтезатор, прямой цифровой синтез, параллельная архитектура, генератор сигналов, ПЛИС.

Научная и исследовательская деятельность тесно связана с проведением измерений, преобразованием сигналов, изучением реакции систем на различные виды входных воздействий. В каждом из этих случаев необходим источник сигнала заранее известной формы. Устройство, выполняющее данную задачу, называется генератором сигналов. В области фотоники и оптоэлектроники существуют исследования, в которых необходимо использовать генератор сигналов высоких и сверхвысоких частот. Одним из таких исследований является изучение возможности расширения спектра источника излучения в волоконно-оптическом гироскопе [1].

Частотный диапазон генератора определяет возможные области его применения. Он напрямую определяется частотой дискретизации сигнала. Путем увеличения этого параметра источника можно расширить спектральный диапазон выходного сигнала. Добиться увеличения частоты дискретизации можно несколькими способами.

Одним из возможных вариантов является повышение частоты тактирования генератора. Использование высокочастотного тактового генератора накладывает ограничения на возможные архитектуры устройств. Этот вариант часто применяется в решениях на основе специализированных интегральных микросхем источников сигналов.

Другим способом быстрого формирования отсчетов является формирование нескольких отсчетов сигнала за один такт. Такой подход подразумевает работу нескольких источников сигнала в параллельном режиме. Эта архитектура дает возможность использовать частоту тактирования меньше требуемой частоты дискретизации сигнала в количество раз, равное числу используемых генераторов. Именно этот подход будет использоваться для разработки в рамках данной работы.

На рис. 1 представлена общая структура генератора сигналов. Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) выполняет функцию синтеза отсчетов сигнала, производит конфигурацию цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), а также предоставляет информацию о текущем статусе соединения по высокоскоростному интерфейсу JESD. Выходная мощность используемого цифро-аналогового преобразователя не превышает 1дБм (из расчета на нагрузку 50 Ом). Для увеличения максимальной выходной мощности был использован усилительный тракт.

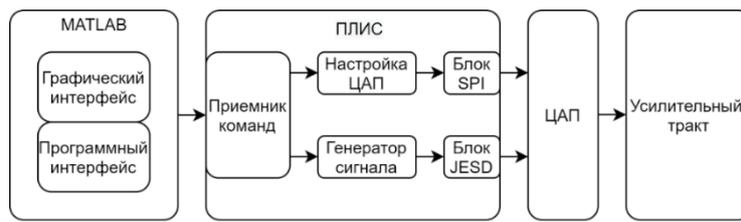


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого генератора

Первой задачей, решенной в рамках данной работы, стала подборка оптимальной конфигурации усилительного тракта. В качестве каскадов тракта использовались отладочные платы на базе усилителя ADPA9002 и аттенюатора RFSA2113. Выходные параметры тракта во многом зависят от последовательности соединения его элементов [2]. В качестве основополагающей характеристики при расчете был выбран результирующий коэффициент сигнал-шум SNR (Signal-to-noise ratio). Помимо выбора конфигурации с максимальным SNR необходимо согласование каждого каскада по входной мощности. В качестве регулируемой величины использовался коэффициент ослабления аттенюатора. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

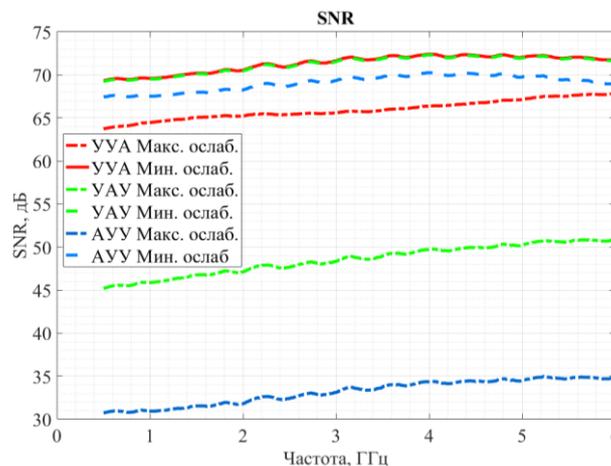


Рис. 2. Коэффициент сигнал-шум для рассмотренных конфигураций усилительного тракта

По графикам можно сделать вывод, что каскад Усилитель-Усилитель-Аттенюатор является наиболее подходящим из всех вариантов, т.к. он обладает наибольшими значениями SNR при минимальном и максимальном ослаблении аттенюатора. Однако при дальнейших расчетах было обнаружено, что практически во всем диапазоне частот наблюдается превышение максимальной входной мощности последнего элемента каскада.

Каскад Аттенюатор-Усилитель-Усилитель показывает существенный разброс показателя сигнал-шум. Это объясняется тем, что наибольший вклад в коэффициент шума схемы вносит первый элемент каскада [2]. Поскольку в данной конфигурации первым элементом является аттенюатор, именно его коэффициент шума будет определяющим при нахождении SNR. В этом варианте наблюдаются наименьшие значения верхней и нижней границы коэффициента SNR.

Согласно проведенным расчетам, оптимальным вариантом усилительного каскада является конфигурация Усилитель-Аттенюатор-Усилитель. Такая последовательность элементов обеспечивает согласованность работы по максимально допустимым характеристикам, а также характеризуется умеренным снижением коэффициента сигнал-шум при увеличении коэффициента ослабления аттенюатора.

После расчета усилительного тракта был разработан генератор сигналов на базе ПЛИС. Его структурная схема представлена на рис. 3. Синим цветом обозначены блоки, разработанные в рамках данной работы. Оранжевым – соответствующим образом сконфигурированные IP (Intellectual property) – ядра. Софтверное ядро Nios II и исполняемый на нем код на языке C используется в качестве мастера на шине SPI для настройки микросхем на отладочной плате ЦАП. Блок JTAG AXI Master используется для связи с графическим интерфейсом пользователя. Блок JESD TX Layer предназначен для корректного выравнивания данных и их передачи на сторону ЦАП. Ядром системы является блок Signal Generator. В своем составе он содержит блоки источников фиксированных форм сигнала, а также DDS генератор (Direct Digital Synthesis, генератор прямого цифрового синтеза). Управление блоком Signal Generator осуществляется по интерфейсу Avalon – MM.

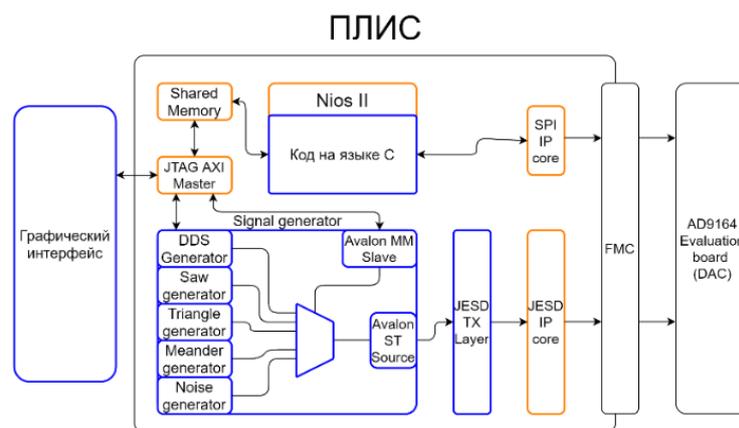


Рис. 3. Структурная схема цифровой реализации генератора сигнала

Именно DDS генератор является источником сигнала произвольной формы в рамках данной работы. В его состав входит несколько блоков. Аккумулятор фазы содержит в себе значение фазы сигнала. Каждый новый такт значение аккумулятора фазы инкрементируется на величину фазового инкремента. Регулируя фазовый инкремент можно добиваться увеличения или уменьшения выходной частоты сигнала. Выходное значение аккумулятора фазы далее суммируется с величиной общего смещения по фазе, и попадает на адресную шину оперативного запоминающего

устройства (ОЗУ). Значение, считанное по сформированному адресу, является результирующим выходным отсчетом сигнала [3]. Структурная схема DDS генератора, а также иллюстрация преобразования фазы в амплитуду представлены на рис. 4.

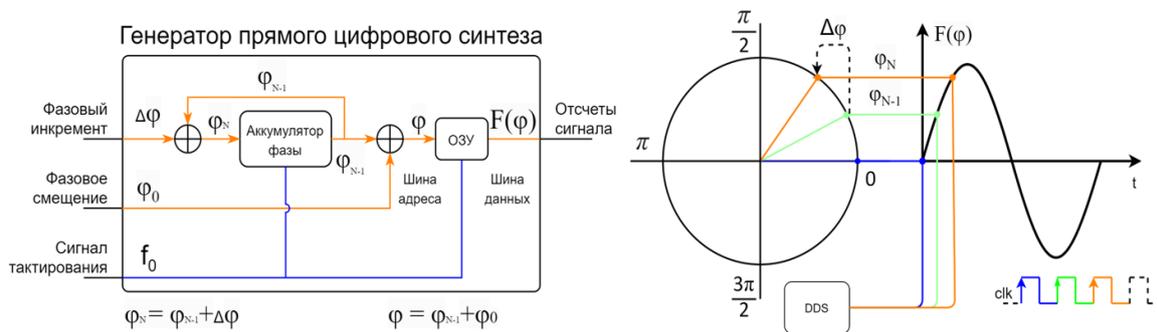


Рис. 4. Внутреннее устройство DDS генератора и его принцип работы

Частотный диапазон DDS генератора ограничен только частотой его тактирования. В случае использования единичного генератора при работе в высокочастотных и сверхвысокочастотных диапазонах будет необходим соответствующий источник тактирования [4]. Использование такого подхода накладывает ограничения на аппаратные платформы, которые можно применить в разработке.

Снизить требуемую частоту тактирования возможно при использовании нескольких генераторов, работающих в режиме параллельного синтеза отсчетов. Такой подход позволяет использовать частоту тактирования, которая меньше требуемой частоты дискретизации сигнала в количество раз, равное числу используемых генераторов. Иллюстрация сравнения частот тактирования при использовании единичного генератора и массива генераторов представлена на рис. 5. Видно, что при одинаковой частоте дискретизации сигнала, требуемая частота тактирования при параллельном вычислении отсчетов снижена в 4 раза, т.к. в параллельном процессе генерации задействовано 4 генератора.

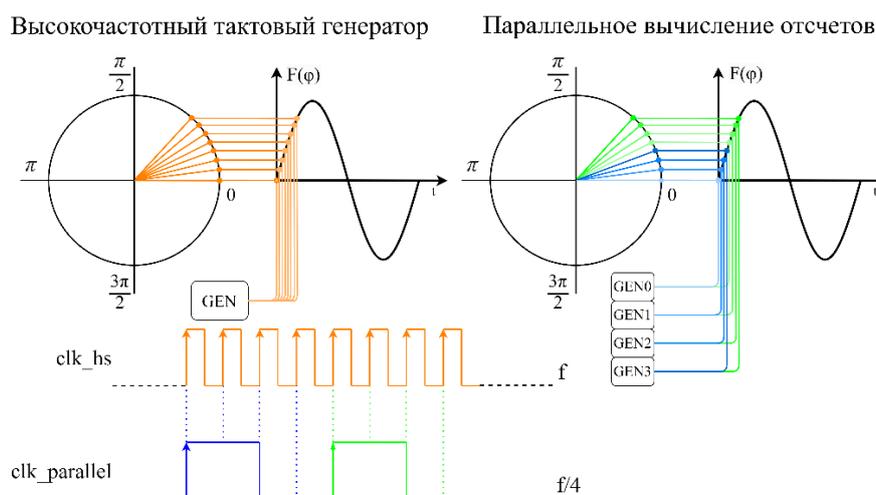


Рис. 5. Соотношение требуемых частот тактирования для единичного генератора и генераторов, работающих в параллельном режиме

Для организации работы генераторов для параллельного синтеза отсчетов нужно соответствующим образом задать их режим работы. Для формирования нескольких

последовательных отсчетов за один такт необходимо настроить фазовое смещение для каждого из генераторов, а также произвести перерасчет фазового инкремента.

Фазовое смещение генераторов является произведением фазового инкремента на порядковый номер генератора. Таким образом, в начальный момент времени на выходе генератора будет массив отсчетов, представляющий собой дискретный набор отсчетов сигнала с шагом по фазе, равным величине фазового инкремента.

На следующем сигнале тактирования каждый из генераторов должен обеспечить на своем выходе новый отсчет сигнала, массив которых формирует следующий дискретный набор значений. Для этого значение фазы каждого из генераторов должно быть увеличено на произведение фазового инкремента и количества используемых генераторов. Иллюстрация работы генератора в начальный и последующие моменты времени, представлены на рис. 6.

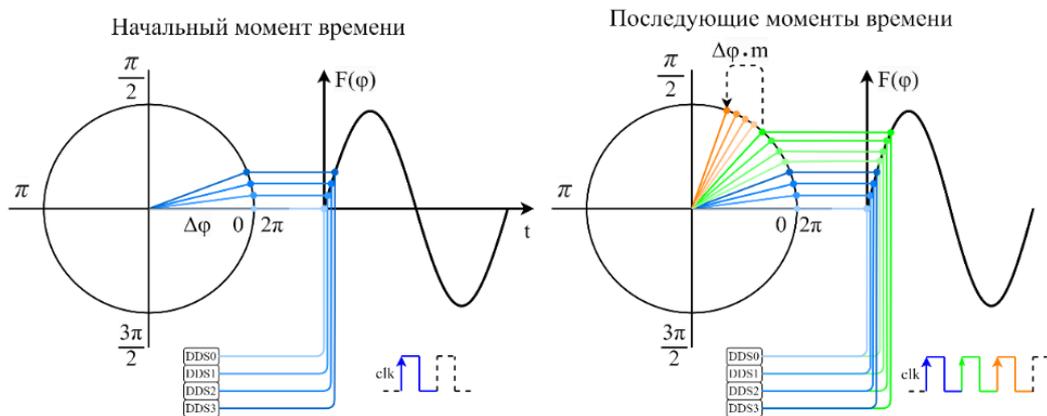


Рис. 6. Процесс генерации сигналов при использовании нескольких источников, работающих параллельно

Для отладки и тестирования разработанного генератора был собран макет, состоящий из отладочных плат ATTILA Instant-DevKit Arria 10 FPGA FMC IDK и EVAL-AD916x (AD9164). Используемый ЦАП характеризуется частотой обновления до 12 ГВыб/сек, разрядностью 16 бит, имеет встроенный 1х-32х интерполятор, и поддерживает высокоскоростной интерфейс передачи данных JESD204В. Именно с помощью этого интерфейса отсчёты передавались с ПЛИС на ЦАП. Для проведения измерений был использован векторный анализатор АКПП-4205/3 и осциллограф RTO 1024 Rohde&Schwarz. Собранный макет представлен на рис. 7.

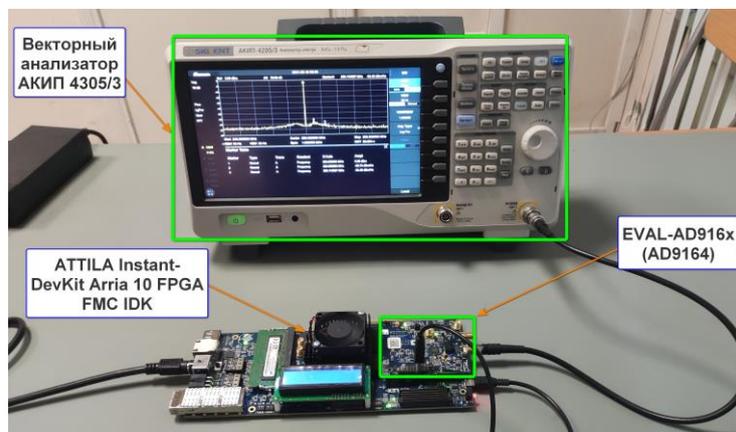


Рис. 7. Макет генератора сигналов

Результаты работы генератора представлены на рис. 8 и 9.

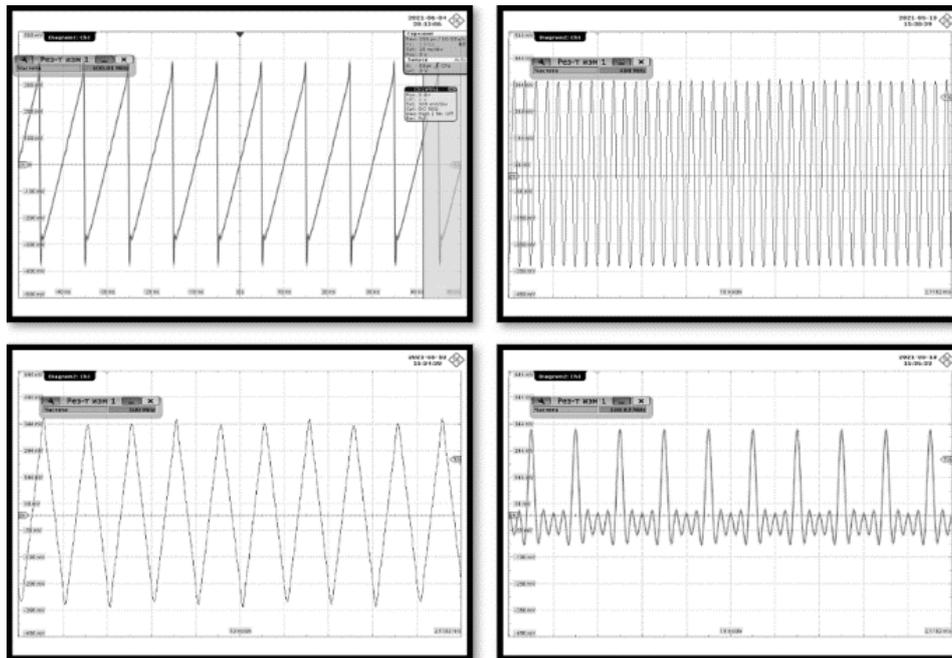


Рис. 8. Результаты генерации сигналов во временной области

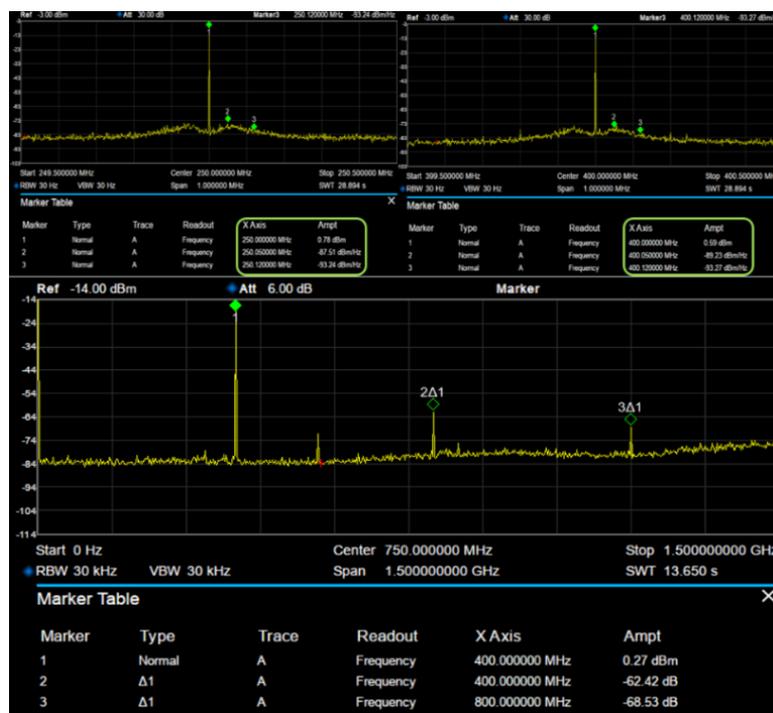


Рис. 9. Измерение фазовых шумов и динамического диапазона, свободного от паразитных составляющих

Для удобства взаимодействия пользователя с аппаратной платформой разработан интерфейс, а также набор из функций, которые можно использовать отдельно от интерфейса. В качестве инструмента для реализации обозначенного функционала используется MATLAB и модуль для создания приложений App Designer. Внешний вид разработанного интерфейса представлен на рис. 10.

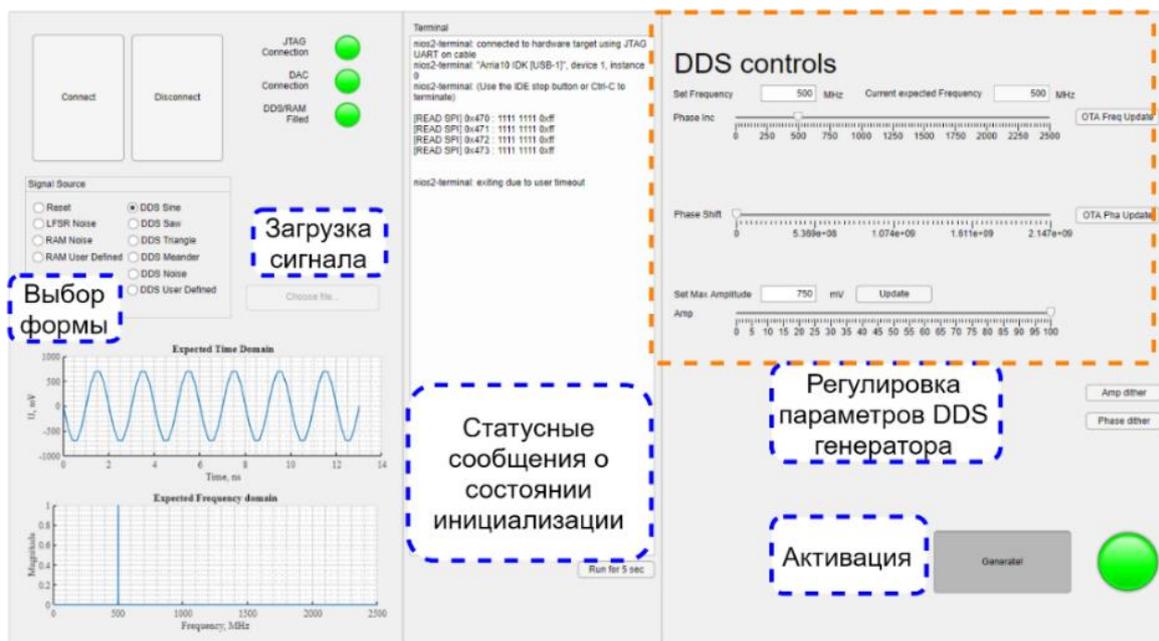


Рис. 10. Графический интерфейс пользователя

В ходе работы продемонстрирован метод расширения спектрального диапазона генераторов прямого цифрового синтеза за счет генерации сигнала с помощью цифровых вычислительных синтезаторов, работающих параллельно с определенным фазовым смещением. При тактовой частоте в 312,5 МГц с помощью архитектуры, в состав которой входили 16 параллельно работающих генераторов прямого цифрового синтеза, удалось получить синусоидальный сигнал с частотой от 500 кГц до 2.5 ГГц.

Разработанный генератор сигналов планируется использовать для исследования возможности расширения спектра излучения в волоконно-оптическом гироскопе для снижения паразитных составляющих в составе полезного сигнала, возникающих в результате явления обратного отражения

Литература

1. Chamoun J., Digonnet M. J. F. Pseudo-random-bit-sequence phase modulation for reduced errors in a fiber optic gyroscope // Opt. Lett. 2016. Т. 41. № 24. С. 5664.
2. David M. Pozar. Microwave Engineering. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2012. 732 p.
3. Vankka J., Halonen K. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications. 1st edition / ed. Ismail M. New York: Springer Science+Business Media, LLC. 2001. 193 p.
4. Рябов И. В. Прямой цифровой синтез сложных широкополосных сигналов в задачах радиолокации, навигации и связи. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет. 2016. 152 p

Laushkina Anastasia Alexandrovna

Year of birth: 1996,
ITMO University,
Institute of design and urban studies,
student of group №B42802,
subject area: 12.04.02 – Optical engineering,
e-mail: nastasjalausckina@mail.ru

Balaev Andrey Fedorovich

Year of birth: 1981
ITMO University,
Institute of design and urban studies,
candidate of technical sciences, associate professor,
e-mail: afbalaev@itmo.ru

УДК 004.89

**THE STUDY OF THE INFLUENCE OF PHOTOMETRIC
CHARACTERISTICS OF ADAPTIVE LIGHTING SYSTEMS ON THE
REDUCTION OF STRESS IN MULTI-USER SPACE**

A.A. Laushkina

Thesis supervisor – candidate of technical sciences, associate professor

A.F. Balaev

The work was carried out within the framework of the research and development № 620185 "Development of an intelligent multi-user adaptive lighting system for reducing conflict behavior and stressful situations in the educational environment".

Abstract

This work is devoted to the study of the influence of various lighting modes on the level of human stress. The paper considers the mechanisms of the influence of light on a person and his stress state. Based on existing research, adaptive system lighting modes applicable in office spaces have been developed. During the experiment, the positive and negative effects of the selected light modes were evaluated. The result was the selection of optimal photometric characteristics of lighting equipment and working conditions for the implementation of the project.

Keywords

lighting, adaptive lighting systems, multi-user spaces, psycho-emotional state, non-visual impact of lighting.

Adaptive lighting systems (ALS) that respond to human activity, changes in the weather, and daylight are widely used today [1, 2]. Nevertheless, lighting settings that affect a person (color temperature and illumination) are changed by a given scenario or are configured by the user [3]. Adaptability in such systems is usually associated with the regulation of lighting to save electricity.

However, in the market of "smart homes", especially in the market of "smart lighting", there are no examples of systems that collect, process, and transmit information about a group of users. In addition, the influence of artificial lighting on the state of mental tension of a person in a multi-user space remains poorly studied, taking into account the specifics of the user's activity. In this regard, it is relevant to create and use multi-user adaptive lighting systems in educational and office spaces to reduce stressful situations and conditions.

To determine the stressful situations of users, methods were proposed for analyzing data from the acoustic communication channel, keyboard handwriting data, as well as a package of psychological testing methods to identify the relationship between personal factors, factors of burnout, mental state, fatigue, and performance. These methods included indicators $X_1...X_{55}$ for assessing the user's condition at each level (fig. 2-5).

Based on the data obtained and the background measurements performed, at the beginning of the pilot study statistically homogeneous groups were formed in the subjects (a total of 16 people for both groups, 9 people of which were in the experimental group, 7 people were in the control group). The age of all participants was limited to a range from 21 to 35 years. In addition, the participants confirmed that they had no visual defects, various mental illnesses, and the presence of colored or tinted contact lenses. The participants were informed about the subject of the study. In addition, informed consent to the processing of personal data was received from the participants of the experiment. It is important to note that at the beginning of the experiment the control and experimental groups had similar data for all variables.

As a result of four weeks of the experiment (three weeks of the experimental group and one week of the control group, fig. 1), data on the relationship of the psycho-emotional state, the level of performance, fatigue with lighting indicators were obtained.

When testing the lighting modes of the developed ALS:

1. «Standard» 300 lux 4000 K.
2. «Concentrate» 1060 lux 5800 K.
3. «Activation» 675 lux 6100 K.
4. «Relaxation» 325 lux 3500 K.
5. «Maximum relaxation» 275 lux 2700 K.

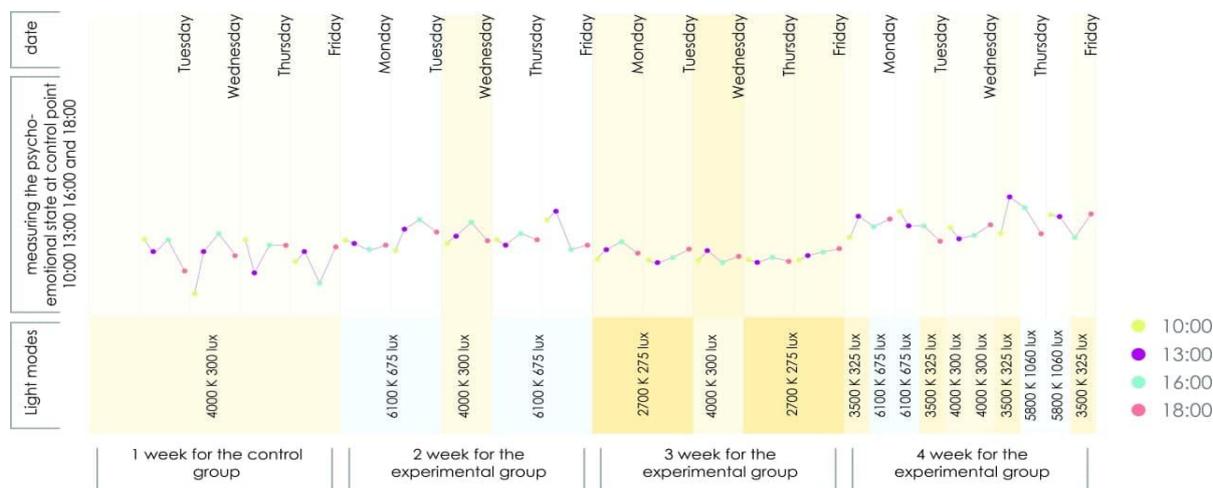


Fig. 1. Temporal distribution of light modes and mental state for the control and experimental groups (1-4 weeks of the experiment)

The study hypothesized that different lighting modes will have an impact on a person's condition: general fatigue and performance, mental health, and the level of professional burnout. In addition, personal factors of a person can also influence these factors when changing lighting modes.

The results of multiple regression and correlation analysis showed the following:

1. A significant contribution to mental performance in the first experimental week under the illumination mode of 6100 K 675 lux is made by the degree of overwork (R -squared = 0.567), Durbin-Watson = 1.846.

2. A significant contribution to situational anxiety in the lighting mode of 6100 K 675 lux is made by the degree of fatigue (R-squared = 0.702) and a subjective assessment of activity (R-squared = 0.874), Durbin-Watson = 2.223 (fig. 2).

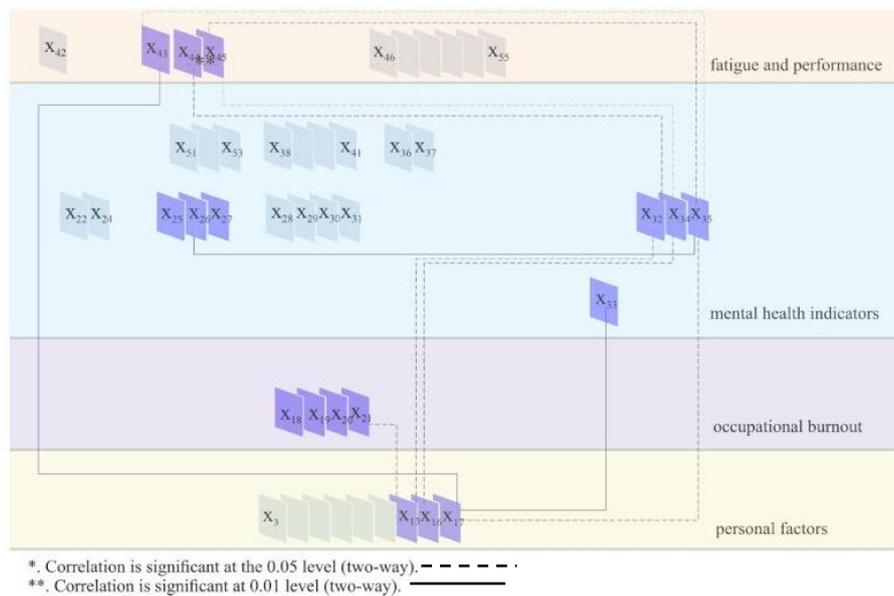


Fig. 2. Nonparametric correlations of indicators X1...X55 of the psycho-emotional state, experimental group, 2nd week of the experiment

3. In the experimental group with a lighting mode of 6100 K 675 lux, a significant contribution to the indicator of the emotional state is made by a subjective assessment of activity (R-squared = 0.623), Durbin-Watson = 1.898.

4. In the illumination mode of 2700 K 275 lux of the second experimental week, a significant contribution to the indicator of the emotional state is made by the degree of fatigue (R-squared = 0.762), Durbin-Watson = 1.952 (fig. 3).

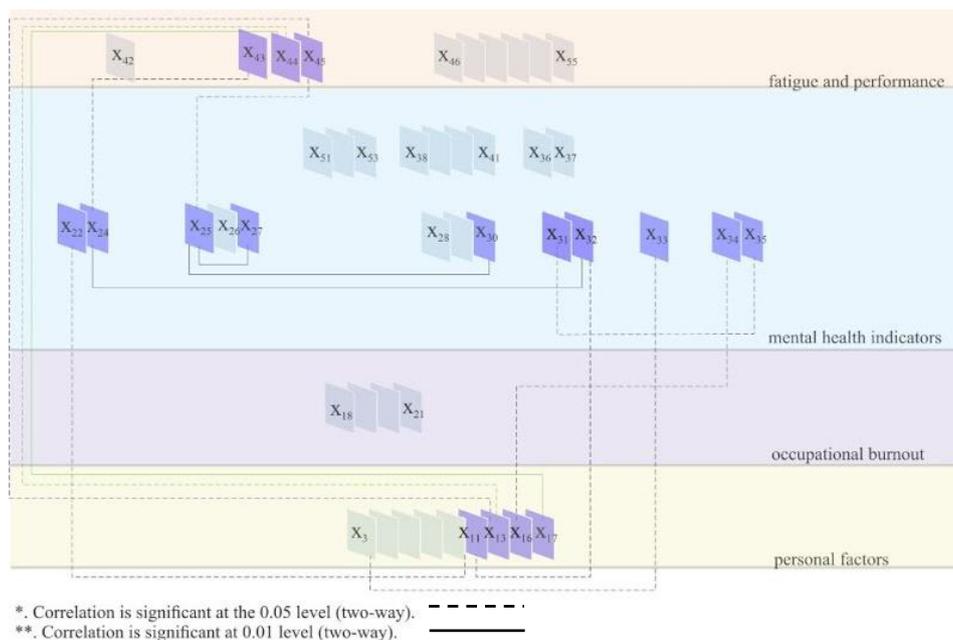


Fig. 3. Nonparametric correlations of indicators X1...X55 of the psycho-emotional state, experimental group, 3rd week of the experiment (2700 K 275 lux)

5. In the lighting mode of 3500 K 325 lux of the third experimental week, a significant contribution to situational anxiety is made by the degree of fatigue (R-square = 0.958), sleep quality (R-square = 0.814), and mood (R-square = 0.503), Durbin-Watson = 2.820.

6. In the illumination mode of 5800 K 1060 lux of the third experimental week, a significant contribution to the indicator of subjective activity assessment is made by the quality of sleep (R-squared = 0.662), Durbin-Watson = 2.820.

7. When lighting mode 5800 K 1060 lux third experimental week is a significant contribution to the increased activity contributes sleep quality (R-square = 0,516), Durbin-Watson = 1,625.

8. When lighting mode 5800 K 1060 lux third experimental week is a significant contribution to the increased emotional States contribute to well-being (R-square = 0,954) and the degree of fatigue (R-square = 0,991), Durbin-Watson = 2,022 (fig. 4).

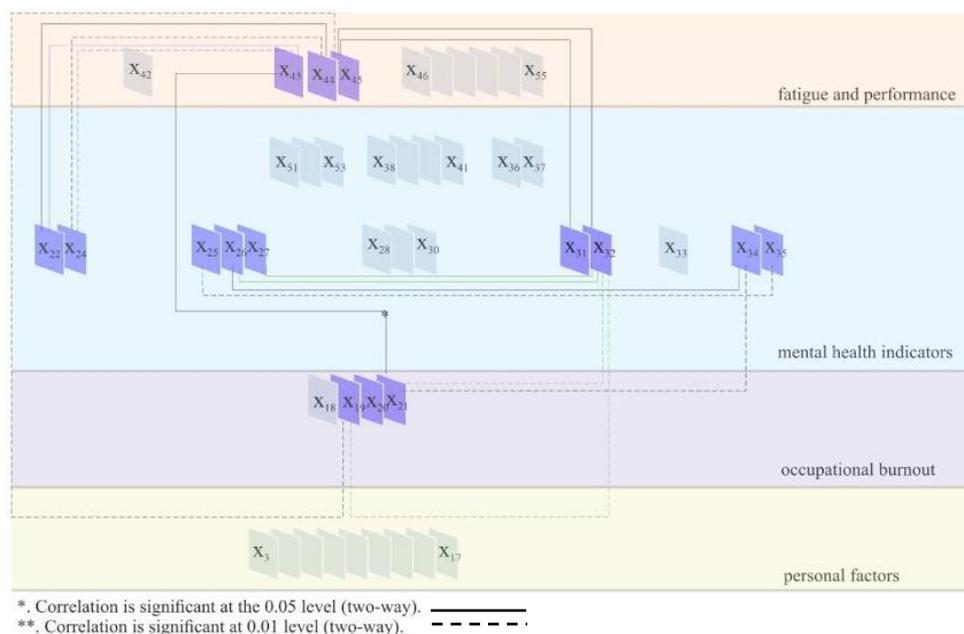


Fig. 4. Nonparametric correlations of indicators of X₁...X₅₅ psycho-emotional state, experimental group, 4th week of the experiment (3500 K 325 lux 5800 K 1060 lux)

9. In the control group in the lighting mode 4000 K 300 lux significant contribution to the indicator of the emotional state makes the degree of fatigue (R-square = 0,661), Durbin-Watson = 1,896 (fig. 5).

The values of the Durbin-Watson criterion in these results prove that the hypothesis is accepted.

Thus, the results of correlation analysis indicated the lighting modes directly exert regulatory influence on the emotional state of the subjects, resulting in a positive impact on the level of health, activity, and sleep quality.

One of the important stages of the implementation of the adaptive lighting system is its integration with the database. A set of data that should be stored during the operation of the implemented system was defined:

- user's name and group ID (control/experimental);
- data on the user's keyboard handwriting (the start/end time of the printing session, the number of errors, the time of holding the keys, the current date and time of day);
- date, time of day, method indicator, text conclusion;

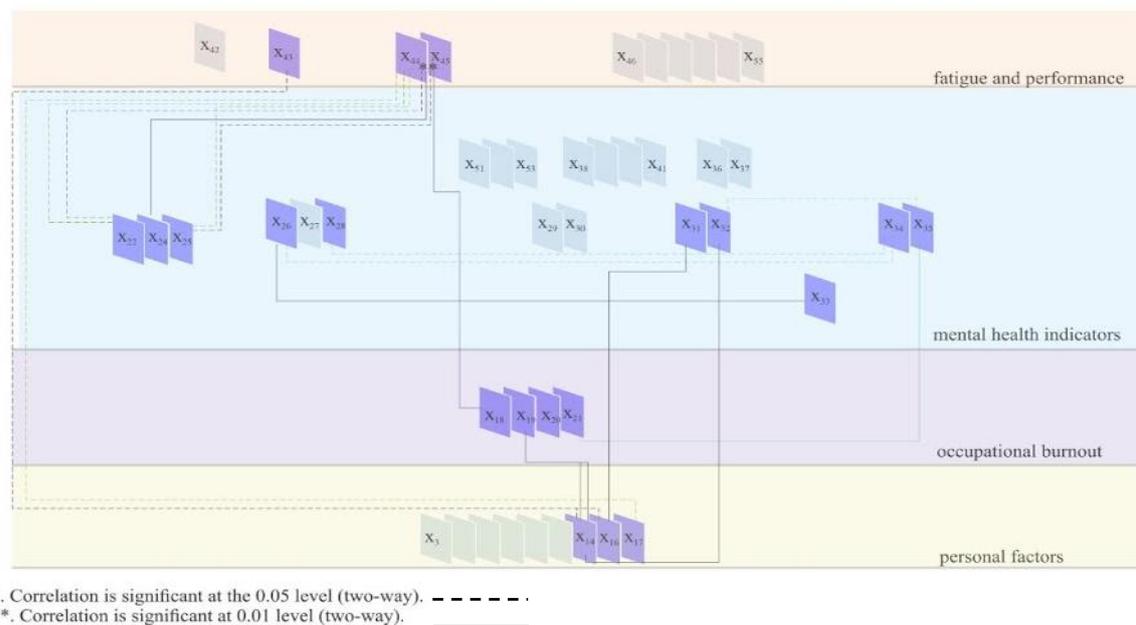


Fig. 5. Nonparametric correlations of indicators of $X_1...X_{55}$ psycho-emotional state, control group, 1st week of the experiment (4000 K 300 lux)

This data was further divided into entity objects and the organization of communication between them was determined. The result was a logical database schema (DB). The MySQL Workbench program was used for the design.

After defining the data schema, the tables were transferred to the MySQL database management system. The DBMS was deployed on the target computer in the form of a Docker container. A ready-made official image from the Docker image storage was used.

To connect the database and the ALS, a connector was written in Python using the "MySQL-connector-python" library. The resulting connector was also subsequently packaged in a Docker image and launched on the target machine.

When comparing the data of keyboard handwriting and statistically significant data of psychological tests the following was revealed (tabl. 1): The analysis of data on the mental state and keyboard handwriting makes it possible to conclude the influence of each lighting mode on the participants.

1. The lighting mode with a color temperature of 4000 K and an illuminance of 300 lux was found to be the most optimal mode for the subjects. The subjects had consistently high indicators for the number of characters and a tiny number of errors when entering text compared to the other three weeks.

2. The performance and activity levels were consistently high in the first half of the day in the second week using the lighting mode of 6100 K and 675 lux.

3. The total number of errors increased when compared with the first week of the experiment in mode 2700 K and 275 lux. Also, the amount of the text entered decreased when compared with the first week. This mode has a negative impact on the mental state and performance of individual participants. Participants noted drowsiness and reduced motivation to work.

4. The subjects maintained consistently high indicators of mental state and the level of performance in the fourth week. The subjects typed a large number of characters while making a small number of errors when entering text in the afternoon under this mode. The smallest number of errors is observed from 10:00 to 14:00, compared with all previous weeks. The extended results of the study can be found in the article [4, 5, 6].

Table 1

The results of sampling statistically significant differences in keyboard handwriting on the example of the control group

Week - lighting mode								
	1 week - 4000 K 300 lux		2 week - 6100 K 675 lux		3 week - 2700 K 275 lux		4 week - 3500 K 325 lux, 6100 K 675 lux	
time	% of number of characters per day							
10:00-11:00	18,6	15,7	22,9	16,3	10,6	9,9	7,5	11
11:00-12:00	13,9	17,7	24,5	19,3	11,2	12,9	2,7	2,8
12:00-13:00	15,8	12,4	24,1	23,7	19,3	22,1	8,2	6,9
13:00-14:00	5,1	5,1	0,7	1,1	3,1	2,4	7	8,5
14:00-15:00	14	16,3	3,3	2,5	18,3	17	19,2	16,7
15:00-16:00	15,3	16,3	15,3	14,6	11	10,4	23,3	19,2
16:00-17:00	8,9	8,4	5,7	14	16,9	16,6	13,9	14,8
17:00-18:00	9,4	8,2	3,5	8,5	9,6	8,8	18,1	20,1

During the analysis of existing methods for determining the influence of various lighting modes on the psycho-emotional state of a person a set of methods based on the subjective assessment of respondents, the results of the analysis of keyboard handwriting data was chosen. This study can focus attention on the relationship between human behavior, his psycho-emotional state and lighting. This will allow integrating such systems with adaptive lighting scenarios into multi-user spaces. ALS will create a comfortable and safe lighting environment not only in educational institutions, public and residential spaces, but also, in the future, in the urban space. At the moment, the author continues to work on the training of the lighting system, solving the problem of automatic lighting control, and increasing the functions of the system.

References

1. Choi K., Suk H.-J. «Dynamic lighting system for the learning environment: Performance of elementary students» // Opt. Express 2016. 24, A907.
2. Kompier M.E., Smolders K.C.H.J., W.D. van Marken Lichtenbelt, Y.A.W. de Kort, «Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort» // Physiology & Behavior (2020) [accessed Jun 27 2020].
3. Barkmann C., Wessolowski, N., & Schulte-Markwort «Applicability and efficacy of variable light in schools» // Physiology & Behavior. M. 2012. №105(3). P. 621–627.
4. Vodopyanova N.E., Basov O.O., Gofman O.O., Roslyakova S.V., Laushkina A.A., Chesnokov V.B. K voprosu proektirovaniya adaptivnyh sistem osveshcheniya s uchetom psicheskogo sostoyaniya subekta truda v mnogopolzovatel'skom prostranstve. 2021. S. 1083-1102.
5. Rosliakova S.V., Bragina T.V., Zemlianova E.I., Korotkova D.V., Merkulova P.A., Laushkina A.A., Filippov I.M. O vozmozhnostiakh primeneniia mashinnogo obucheniia v sistemakh upravleniia osveshcheniem// Nauchnyi rezultat Informatsionnye tekhnologii. 2021. T.6. №4. S. 48-63.
6. Laushkina A.A., Roslyakova S.V., Smirnov A.V. Implementation of adaptive lighting systems to reduce stressful situations in multi-user spaces// Nauchnyi rezultat. Informatsionnye tekhnologii. 2020. Vol. 5. No. 4. pp. 62-69.

Лукашов Иван Викторович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N42601,

направление подготовки: 11.04.03 – Конструирование

и технология электронных средств,

e-mail: lukashov.ivan.v@gmail.com

Кузнецов Александр Юрьевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: alkuznetcov@itmo.ru

УДК 004.81

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АППАРАТНОЙ
ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ НЕЙРОМОРФНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
НА ОСНОВЕ МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУР**

И.В. Лукашов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Ю. Кузнецов

Аннотация

В работе рассмотрена разработка архитектуры аппаратной платформы для нейроморфных вычислений с использованием мемристора в качестве искусственного синапса. Это, а также использование алгоритмов импульсных нейронных сетей, улучшает показатели энергопотребления нейроморфных платформ и увеличивает плотность искусственных нейронов. Для исследования свойств мемристора и схемы искусственного нейрона проведена симуляция в среде LTspice.

Ключевые слова

Нейроморфные вычисления, архитектура процессора, импульсные нейронные сети, мемристор, ускоритель нейронных сетей.

Нейроморфные вычисления – это вычисления, которые используют принципы работы и строение человеческого мозга. Такие вычисления могут быть реализованы как программными средствами на классической архитектуре фон Неймана, так и на основе аппаратных платформ, с использованием сверхбольших интегральных схем, которые используют аналоговые, цифровые, цифро-аналоговые и другие схемотехнические решения для аппаратной поддержки нейроморфных вычислений. Изначально, разработка алгоритмов и аппаратных платформ для нейроморфных вычислений была нацелена на создание обоснованных выводов в рамках конкретной, узко определенной проблемной области. Искусственный интеллект следующего поколения должен уметь реагировать на новые ситуации и абстракции, чтобы автоматизировать, в том числе, обычную человеческую деятельность [1]. Развитие нейроморфных вычислений заключается в оптимизации вычислительных ресурсов и повышении эффективности их работы. В частности, это может улучшить характеристики мобильных устройств, датчиков интернета вещей, беспилотных автомобилей и т.д. В первую очередь, это касается задач, которые необходимо выполнять в режиме реального времени.

Самой распространённой вычислительной архитектурой общего назначения, на которой выполняются алгоритмы искусственных нейронных сетей, является архитектура фон Неймана. Однако, такая архитектура ограничивает пропускную способность, не позволяя в нужной мере распараллеливать вычисления, а также использует большое количество тактов и энергии на вычисления. Часть недостатков, имеющих при выполнении алгоритмов искусственных нейронных сетей на архитектуре фон Неймана нивелируются при использовании графических процессоров GPU. Распараллеливание на GPU позволяет оптимизировать выполнение алгоритмов искусственных нейронных сетей, в части перемножения матриц (например, при обучении модели), однако в силу своего устройства, они также не являются энергоэффективными [2], и не поддерживают алгоритмы импульсных нейронных сетей. Еще большей оптимизации вычислений алгоритмов нейронных сетей и устранения недостатков GPU удастся достичь, используя подход к разработке архитектур при помощи FPGA и последующему выпуску ASIC. По сути, ускорение работы алгоритмов нейронных сетей в данном типе процессоров происходит за счет аппаратной поддержки умножения и сложения матриц за малое число тактов. Однако, в них существует канал передачи между вычислительными ядрами и блоками памяти, что в свою очередь является узким местом и ограничивает производительность процессоров. Также такие процессоры аппаратно не поддерживают алгоритмы импульсных ИНС.

Новые модели и алгоритмы нейронных сетей повышают свою биоинспирированность, тем самым улучшая свои характеристики применимо к различным задачам. Биологическая нервная система обладает рядом преимуществ для решения задач, предъявляемых нейроморфным вычислениям, а именно: адаптивность, низкое потребление энергии, функциональность. Для достижения результатов, сравнимых с биологическим аналогом, необходимо повышать функциональность системы. Повышение функциональности системы несет за собой усложнение модели и ее потребления вычислительных ресурсов. С учетом биологической структуры центральной нервной системы, и при разумной экстраполяции различных параметров аппаратных реализаций, улучшение производительности с использованием подходов, описанных выше, маловероятно сможет приблизиться к плотности и энергоэффективности человеческого мозга [3]. В таблице приведен сравнительный анализ нейроморфных процессоров.

Таблица

Сравнение нейроморфных процессоров

Процессор	Технология	Количество нейронов и синапсов	Вычислительные возможности
SpiNNaker	ARM, 130 нм КМОП	1 млн. ядер по 1000 нейронов	Поддержка импульсных ИНС в реальном времени
TrueNorth	Цифровой ASIC, 28 нм КМОП	1 млн. нейронов, 256 млн синапсов	Поддержка импульсных ИНС с обучением на хосте, потребление 26 пДж на синапс
Loihi	Цифровой ASIC, 14 нм КМОП	130 тыс. нейронов, 130 млн синапсов	Поддержка импульсных ИНС с обучением на микросхеме, поддержка различных алгоритмов обучения, потребление 23,6 пДж на синапс
BrainScaleS	Цифро-аналоговая система, 180 нм КМОП	180 тыс. нейронов, 40 млн синапсов	Поддержка импульсных нейронных сетей с пластичностью синапсов

В данной работе рассмотрена разработка архитектуры нейроморфной платформы на основе мемристорных структур, для хранения весовых коэффициентов импульсных нейронных сетей.

Целью работы является исследование свойств, и определение параметров мемристоров для их применения в нейроморфном ядре аппаратной платформы для ускорения импульсных искусственных нейронных сетей. Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработка структурной схемы архитектуры аппаратной платформы.
2. Исследование модели нейрона.
3. Исследование модели синапса на основе мемристора.
4. Разработка технологической карты производства мемристоров.

Разработанная архитектура содержит блоки обучения по алгоритму Spike-Timing-Dependent Plasticity, блок искусственных аналоговых нейронов, реализующих алгоритм Leaky Integrate-and-Fire, мемристорный кроссбар для хранения весовых коэффициентов, блок реализующий протокол Address Event Representation и другие вспомогательные функциональные блоки. Разработанная архитектура представлена на рис. 1.

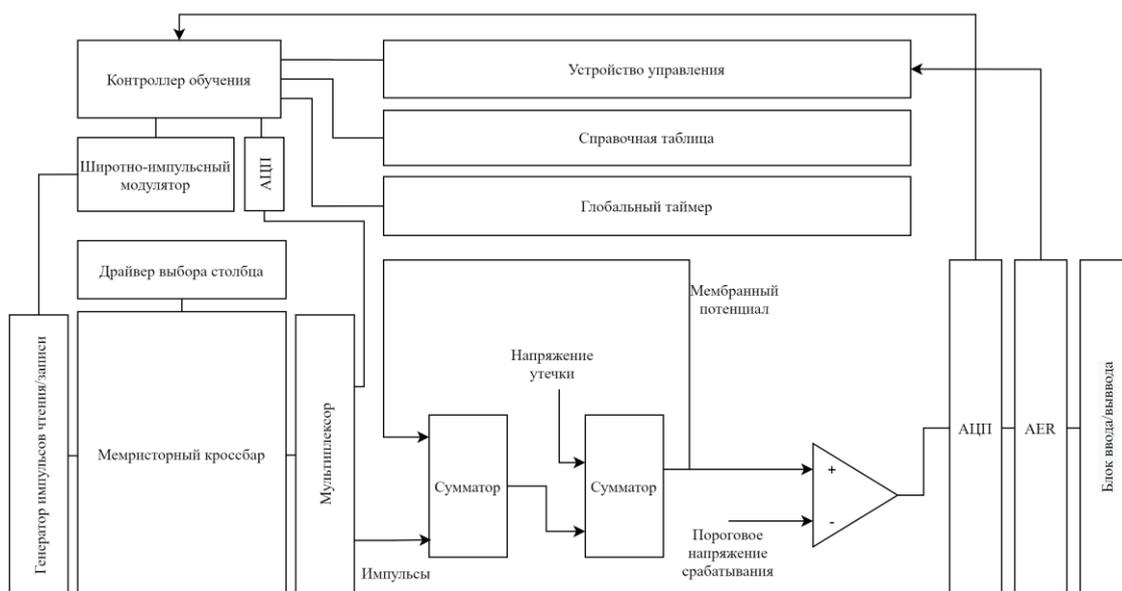


Рис. 1. Архитектура разработанной нейроморфной платформы

Промодулированный мемристорным кроссбаром входящий импульс поступает на первый сумматор, где сравнивается с мембранным потенциалом. Таким образом,

реализуется алгоритм Leaky Integrate-and-Fire. Далее сигнал поступает на второй сумматор, где из него вычитается напряжение утечки. После чего он сравнивается с пороговым напряжением срабатывания нейрона. Далее сигнал оцифровывается АЦП, кодируется по протоколу Address Event Representation и поступает в блок ввода-вывода. С другой стороны, полученный оцифрованный сигнал поступает на контроллер обучения, который использует справочную таблицу и глобальный таймер для обучения по алгоритму Spike-Timing-Dependent Plasticity. Для этого контроллер обучения, используя широтно-импульсный модулятор, обновляет весовые коэффициенты в мемристорном кроссбаре.

Для исследования архитектуры были проведены симуляции электрической схемы искусственного нейрона, а также схемы включения мемристора. Данные симуляции позволили исследовать свойства искусственного нейрона и искусственного синапса для их применения в разработке архитектуры нейроморфной платформы.

При использовании модели мемристора в качестве синапса для нейроморфной платформы, а также для возможности расчета физической модели мемристора, выполненной по тонкопленочной технологии, важна возможность точной подстройки следующих параметров:

- коэффициенты, зависящие от толщины диэлектрика;
- скорость движения ионов;
- пороговое напряжение.

Для производства мемристорного кроссбара в работе была приведена технологическая карта производства мемристоров по тонкопленочной технологии из трехкомпонентного оксида металла HfAl-O . Исходя из требований к модели мемристора, был определен подходящий вариант. Модель разработана для программной среды симуляции электронных схем LTspice [4]. Мемристор был включен с источником напряжения с синусоидальной формой сигнала. Амплитуда сигнала $V=1$ В, частота сигнала $f=10$ Гц. На рис. 2 приведен график изменения величины протекающего тока I_x от приложенного на мемристор напряжения V .

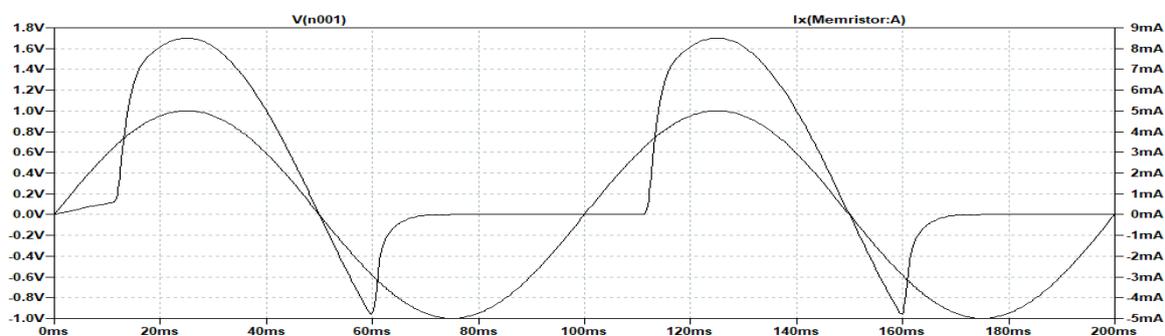


Рис. 2. Изменение тока от приложенного напряжения

Изменяя частоту сигнала, подаваемого на мемристор, можно наблюдать изменение его проводимости в зависимости от ретроспективы пройденного через него тока. Данный эффект при частоте 10 кГц продемонстрирован на рис. 3. На рис. 3 сверху изображен подаваемый сигнал, снизу изменение величины протекаемого тока.

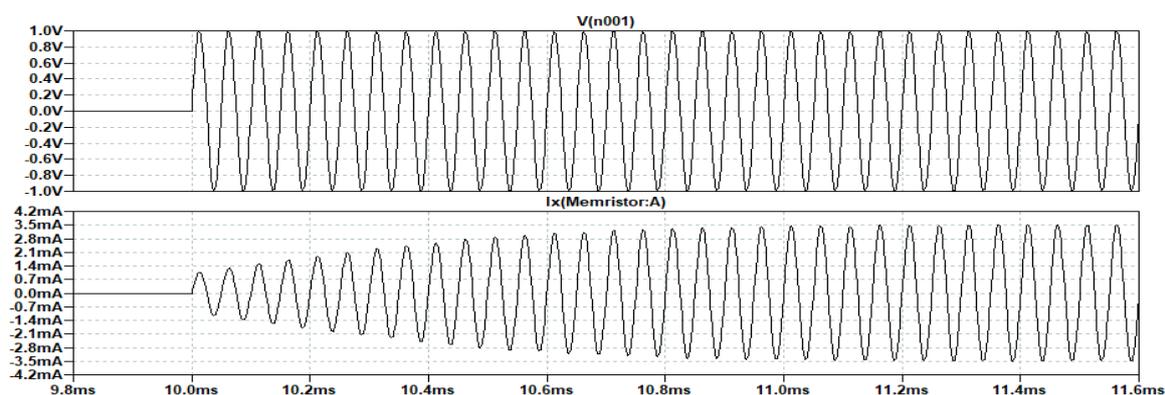


Рис. 3. Изменение проводимости мемристора

Вольт-амперная характеристика процесса приведена на рис. 4.

Таким образом, модель мемристора демонстрирует свойства изменения проводимости в зависимости от пропущенного через себя тока.

Для искусственного нейрона была использована улучшенная схема классического аксонного холмика. Она представлена на рис. 5.

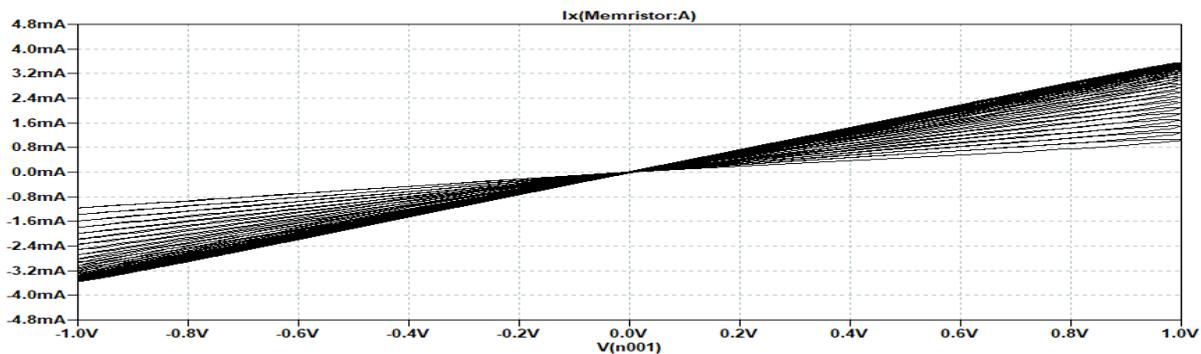


Рис. 4. ВАХ при частоте 10 кГц

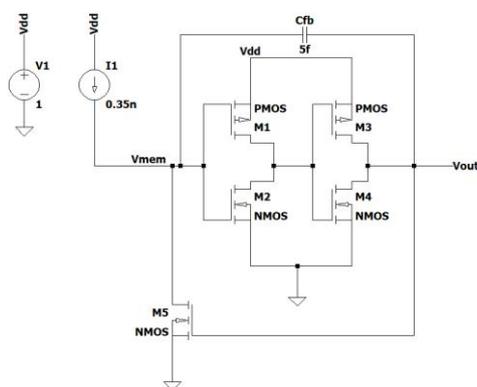


Рис. 5. Схема маломощного аксонного холмика

Исходя из требований технического задания, были подобраны модели транзисторов. Модели транзисторов соответствуют технологическому процессу 32 нм [5]. При появлении тока входящего импульса, конденсатор C_{fb} заряжается, поднимая напряжение V_{mem} . При достижении порогового напряжения V_{mem} переключаются оба инвертора, выполненные транзисторами $M_1 - M_4$. V_{out} поднимается до уровня VDD . После чего транзистор M_5 открывается. Ток через транзистор M_5 устанавливается отношением длины канала к ширине у транзисторов M_3 и M_5 . Когда V_{out} находится в высоком состоянии, напряжение V_{mem} будет уменьшаться пока не достигнет напряжения переключения инвертора. В результате напряжение V_{out} упадет. На рисунке 6 можно наблюдать как нейрон выполняет функцию интеграции, и, после порогового значения, генерирует возбуждающий импульс. Симуляция проводилась при напряжении 1 В и токе 0,35 нА.

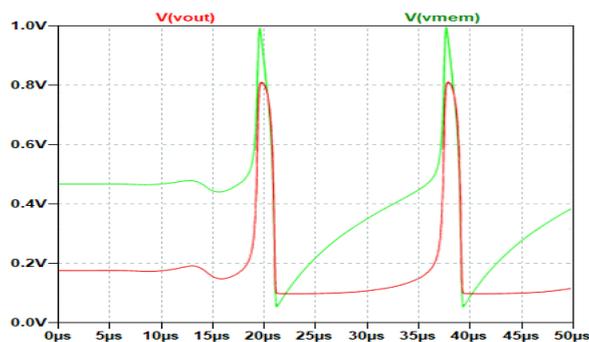


Рис. 6. Генерация импульса LIF нейрона

На графике можно наблюдать как нейрон выполняет функцию интеграции, и, после порогового значения, генерирует возбуждающий импульс, выполняя алгоритм Leaky Integrate-and-Fire. Форма импульса подобна форме сигнала, который генерирует биологический нейрон.

В результате выполнения ВКР была проделана комплексная работа по разработке архитектуры аппаратной платформы для нейроморфных вычислений на основе мемристорных структур.

Был проведен аналитический обзор области исследования и выявлены актуальные задачи для нейроморфных вычислений. Были рассмотрены аппаратные реализации, их архитектуры и принципы работы. Была рассмотрена технология производства мемристоров из трехкомпонентного оксида HfAlO по тонкопленочной технологии. Разработана технологическая карта производства. Была произведена разработка архитектуры аппаратной платформы для нейроморфных вычислений на основе мемристорных структур. Была составлена схема электрическая структурная. Было проведено исследование схемы маломощного аксонного холмика и схемы включения мемристора. Исследование модели показало пригодность ее использования для дальнейшей разработки платформы нейроморфных вычислений.

Для дальнейшего исследования и разработки был обозначен комплекс задач, включающий:

- моделирование алгоритмов обучения;
- прототипирование структурных блоков архитектура средствами языка описания аппаратуры;
- исследование физических моделей мемристоров.

Одним из методов исследования нейроморфной платформы является моделирование искусственной нейронной сети в системе компьютерной алгебры на основе моделей, рассмотренных в данной работе.

Литература

1. Neuromorphic Computing [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/research/neuromorphic-computing.html> (дата обращения 15.11.2020).
2. Kasabov, From von Neumann, John Atanasoff and ABC to Neuromorphic computation and the NeuCube spatio-temporal data machine. / N., Sengupta, N. & Scott, N., // IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS). 2016.
3. Ivan K., Neuromorphic Computing: From Materials to Systems Architecture / Report of a Roundtable Convened to Consider Neuromorphic Computing Basic Research Needs // Ivan K. Schuller, Rick Stevens // U.S. Department of Energy. Office of Scientific and Technical Information. 2015.
4. Yakopcic C., Memristor device modeling and circuit design for read out integrated circuits, memory architectures, and neuromorphic systems / Yakopcic, Chris // In Partial Fulfillment of the Requirements for The Degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, 2014.
5. Predictive Technology Model [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ptm.asu.edu/> (дата обращения 25.09.2020).

Никитина Вероника Александровна

Год рождения: 1997 год
Университет ИТМО,
факультет энергетики и экотехнологий,
студент группы № W42272,
направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная,
криогенная техника и системы жизнеобеспечения,
e-mail: veronika97nikitina@gmail.com

Никитин Андрей Алексеевич

Год рождения: 1981 год
Университет ИТМО,
факультет энергетики и экотехнологий,
к.т.н.,
e-mail: andyquest@mail.ru

УДК 697.1

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕМ-ТЕХНОЛОГИЙ
В ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИИ ЗДАНИЙ**

**В.А. Никитина
Научный руководитель – к.т.н. А.А. Никитин**

Работа выполнена в рамках темы НИР №620152 «Разработка технологии взаимной интеграции локального энергетического узла (Energy Hub) и инженерных систем здания».

Аннотация

Здания потребляют колоссальное количество энергии, особенно системы отопления. При этом нагретый вытяжной воздух из помещений просто выбрасывается во внешнюю среду, на улицу. В данной работе такой воздух рассматривается как вторичный энергетический ресурс, образованный от внутренних нагрузок помещения. Исследование динамики изменения мощности внутренних нагрузок и их влияния на работу теплообменного аппарата, установленного на вытяжке, было проведено при помощи программного комплекса OpenStudio. Результат моделирования показал потенциал использования теплоты вытяжного воздуха в качестве энергетического ресурса. Утилизированная теплота вытяжного воздуха может быть использована для частичного сокращения энергозатрат на систему отопления.

Ключевые слова

Энергомоделирование, OpenStudio, отопление, рекуперация тепла, энергосбережение, тепловой насос.

Более одной трети мирового потребления приходится на здания и сооружения [1]. Это приводит к глобальным затратам ресурсов, которые в свою очередь являются не безграничными. Для устранения нерационального использования ресурсов необходимо развивать как способы, так и эффективность вторичной переработки, которая может сократить как энергопотребление, так и уменьшить влияние на экологию. Один из таких способов, утилизация теплоты. Пример реализации – центральный вокзал Стокгольма [2, 4], где каждый день проходит примерно 250 000 человек, а выделяемое от них тепло используется на отопление 17-этажного офисного здания. Созданная система преобразует избыточное тепло тела, выделяемое человеком в горячую воду через теплообменники в системе вентиляции. И после нагретая вода поступает в систему отопления офисного здания. Система рекуперации теплоты не может полноценно

отапливать здание, но помогает снизить энергопотребление до 10 % [2]. Помимо снижения энергопотребления такой способ снижает тепловой выброс использованного воздуха, который оказывает негативное воздействие на экологическую проблематику, связанную с повсеместным ростом среднесуточной температуры.

Данное исследование заключается в изучении взаимосвязи внутренних нагрузок здания и мощности установленного теплообменного аппарата на вытяжке. Чтобы проанализировать процесс утилизации теплоты был использован программный комплекс Energy Plus, который позволяет проводить анализ здания на энергетическом уровне, и выявлять все слабые и сильные стороны проекта. Для расчёта были выбраны 2 помещения, лаборатория Daikin и аудитория 4212, которые располагаются на 2-м этаже одного из корпусов университета ИТМО. В модели учтены теплофизические свойства ограждающих конструкций, погодные условия окружающей среды, привязанные к географическому местоположению, солнечная радиация, параметры воздуха внутри помещения, а также инфильтрация через оконные проёмы.

Тепло в вытяжной системе вентиляции появляется за счёт людей, оборудования, освещения, солнечной радиации и инфильтрации. С точки зрения нагрузок, помещение – это живой объект. Любое помещение живёт по графику, люди уходят и приходят, могут открывать окно, включать и выключать освещение и оборудование. Нагрузки в помещении рассчитываются по формулам теплопритоков. Расчёт инфильтрации основан на работе «Корреляция инфильтрации и давления: упрощённое физическое моделирование».

Тепловой баланс внутри помещения рассчитывается с помощью следующего уравнения [3]:

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{sol} + q''_{conv} = q''_{ki} + q''_{inf},$$

где: q''_{LWX} – теплообмен с внутренними ограждающими конструкциями, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

q''_{SW} – тепловой поток от источников света, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

q''_{LWS} – тепловой поток от оборудования и людей, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

q''_{ki} – теплообмен с наружной средой через стенку, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

q''_{sol} – тепловой поток от солнечной радиации, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

q''_{conv} – конвективный тепловой поток в воздух помещения, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

q''_{inf} – теплота, расходуемая на нагрев инфильтрующегося воздуха, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

Инфильтрация через оконные проёмы [4]:

$$Infiltration = (F_{Schedule}) \frac{A_L}{1000} \sqrt{C_s \Delta T + C_w (WindSpeed)^2};$$

где $F_{Schedule}$ – коэффициент пропускной способности, который указан в графике;

A_L – площадь сквозного проёма, м²;

C_s – коэффициент инфильтрации в стэковом режиме, то есть в режиме, где доминирует разница температур, $\frac{(\frac{\text{л}}{\text{с}})^2}{\text{м}^4 \cdot \text{°C}}$;

ΔT – разница температур, °C;

C_w – коэффициент инфильтрации в ветряном режиме, то есть в режиме, где доминирует давление динамики ветра, $\frac{(\frac{\text{л}}{\text{с}})^2}{\text{м}^4 \cdot (\frac{\text{м}}{\text{с}})^2}$;

$WindSpeed$ – скорость ветра из погодного файла, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

В смоделированном объекте, аудитория и лаборатория оснащены системой вентиляции с водяным воздухонагревателем (рис. 1). Для анализа работы системы рекуперации тепла и получения полезной тепловой энергии в модель был встроен теплообменный аппарат, который охлаждает выбрасываемый на улицу отработанный воздух до 5°C. Моделируемая система работает по следующему принципу. Воздух забирается с улицы, параметры воздуха прописаны в погодном файле, проходя приточный вентилятор, уличный воздух попадает в теплообменный аппарат, где нагревается и попадает в помещения при помощи сети воздуховодов и воздухораспределителей. Из аудитории и лаборатории воздух забирается вытяжной системой вентиляции и проходит через теплообменники рекуперации тепла. Далее вытяжной воздух проходит через вентилятор и выбрасывается на улицу. В разработанной модели система вентиляции работает круглосуточно без перерывов, что позволяет анализировать влияние постоянно меняющихся нагрузок в помещении.

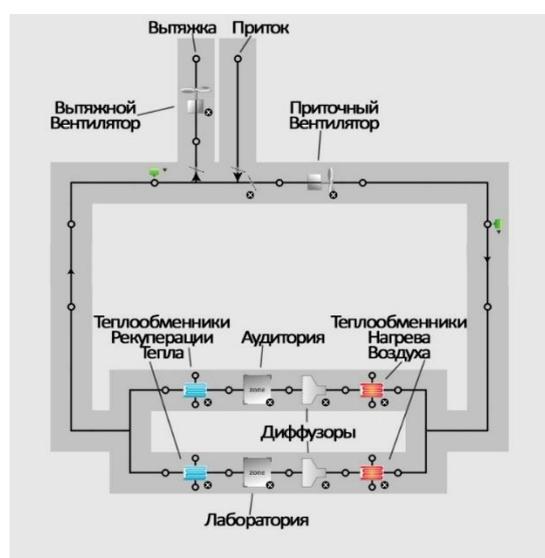


Рис. 1. Упрощённая схема системы вентиляции

Мощность теплообменного аппарата рекуперации тепла рассчитывается по следующим формулам:

$$Q_{total} = (m_{supply})(h_{outlet} - h_{inlet});$$

$$Q_{sensible} = (m_{supply})(h_{outlet} - h_{inlet})HR_{min};$$

$$Q_{latent} = Q_{total} - Q_{sensible};$$

где Q_{total} – суммарная теплопередача системой, Вт;

$Q_{sensible}$ – явная теплопередача системой, Вт;

Q_{latent} – скрытая теплопередача системой, Вт;

h_{inlet} – энтальпия воздуха на входе в теплообменник, $\frac{Дж}{кг}$;

h_{outlet} – энтальпия воздуха на выходе из теплообменника, $\frac{Дж}{кг}$;

HR_{min} – минимальное влагосодержание входящего и выходящего воздуха, $\frac{кг}{кг}$.

Чтобы проследить взаимосвязь между внутренними нагрузками помещения и теплообменниками в вытяжной системе вентиляции, была установлена непрерывная работа системы вентиляции. Таким образом, при расчётах на теплообмен в помещении влияли только люди, осветительные приборы, электрическое оборудование, инфильтрация

и теплообмен через наружные ограждающие конструкции.

Для двух помещений были установлены различные графики посещаемости и работы электрического оборудования. Также разница заключается в количестве людей и их тепловыделении в зависимости от вида деятельности.

Результаты моделирования жизненного цикла помещений за один год показали зависимость процесса рекуперации тепла от влажности в помещении.

Из графика за один день можно заметить, что относительная влажность увеличилась с 10 % до 13 % (рис. 3), поскольку в помещении зашло 12 человек, следствием стало повышение мощности с 4 000 до 4 500 Вт. Из чего можно сделать вывод о том, что повышение относительной влажности на 3 %, приводит к увеличению мощности теплообменника на 12,5 %.

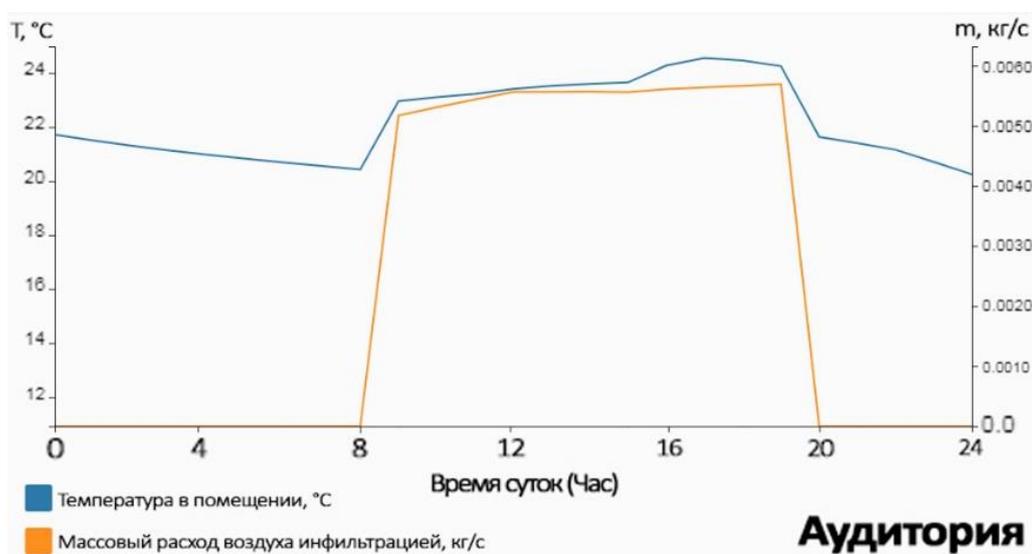


Рис. 2. График зависимости температуры воздуха в аудитории от массового расхода воздуха инфильтрацией

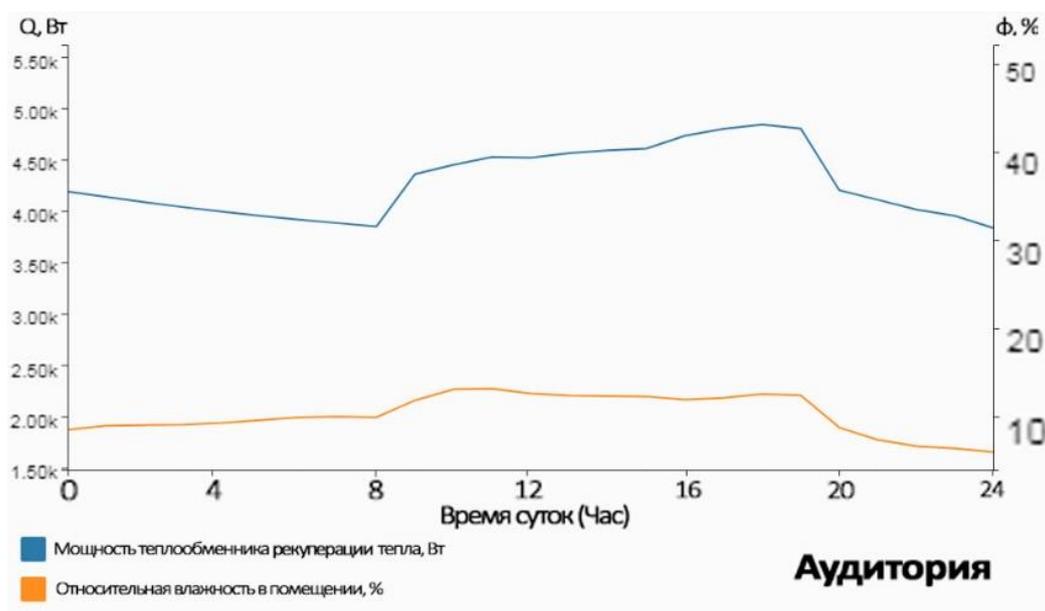


Рис. 3. График зависимости процесса рекуперации тепла от относительной влажности в аудитории

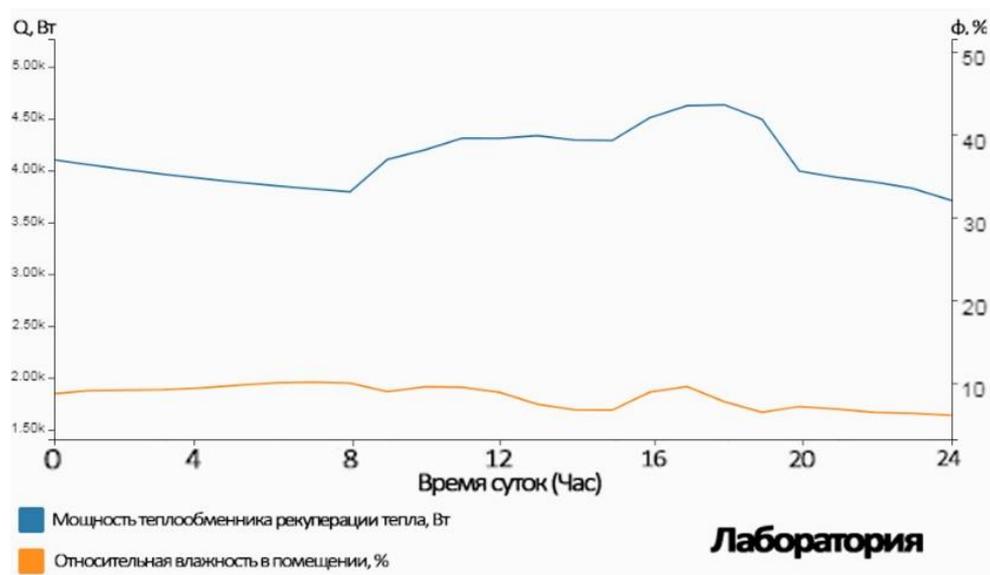


Рис. 4. График зависимости процесса рекуперации тепла от относительной влажности в лаборатории

Мощность рекуперации тепла напрямую зависит от нагрузок, которые оказывают влияние на помещение. По данным зависимостям (рис. 2-4) можно увидеть прямую связь мощности рекуперации тепла и относительной влажности, которая образуется от деятельности людей в помещении и инфильтрации, поступающей в помещение через микропроветривание, открытое в аудитории во время нахождения там людей. От нагрузок в помещении зависит тепловая мощность на вытяжке, то есть тепло, которое можно рекуперировать. При понижении температуры наружного воздуха (рис. 5) увеличивается мощность воздухонагревателя на притоке, что в свою очередь осушает приточный воздух и понижает относительную влажность. В дальнейшем температура на улице начинает понижаться уже только в 6 вечера, что перестаёт оказывать такое влияние на внутренний микроклимат помещения. С 15:00 до 19:00 на мощность теплообменника большее влияние уже оказывает температура воздуха в помещении, что можно увидеть из графиков на рис. 2 и рис. 3. После ухода людей в 19:00, происходит резкое снижение мощности рекуперации на вытяжке с 4 800 Вт до 4 300 Вт за один час, и после продолжает понижаться, но уже медленней. Такое резкое снижение значений происходит по той же причине, что и повышение с появлением людей утром. Из графика на рис. 3 видно, что значения мощности рекуперации тепла в 20:00 почти сравнялись со значениями, которые были в 8 утра, то есть в момент времени, когда влияние внутренних нагрузок помещения не оказали воздействия на мощность. По итогу за весь день пиковая мощность составила около 5 000 Вт в 18:00. Взаимосвязь нахождения людей в помещении с относительной влажностью и мощностью рекуперации тепла можно также увидеть на графике на рис.4 в лаборатории. В лаборатории люди находятся с 9 утра до 12 дня и с 3 дня до 5 вечера. С 12:00 до 15:00 лаборатория пуста, что сказывается как на относительной влажности, так и на мощности рекуперации. В лаборатории освещение и оборудование работает по графику аудитории, таким образом, можно отследить влияние конкретно человеческого фактора в помещении. Поскольку освещение и оборудование включено с 8:00 до 19:00, мощность рекуперации повышается и понижается соответственно этому времени. При этом возникают отклонения в мощности рекуперации на вытяжке из лаборатории в отличие от аудитории. Просадка в мощности появляется с 13:00 до 15:00, инфильтрация в данном случае не оказывает влияние, поскольку в лаборатории её нет. И именно в это время в расписании посещения перерыв, и в помещении никто не находится. По итогу за весь день пиковая мощность составила около 4 600 Вт в 17:00.

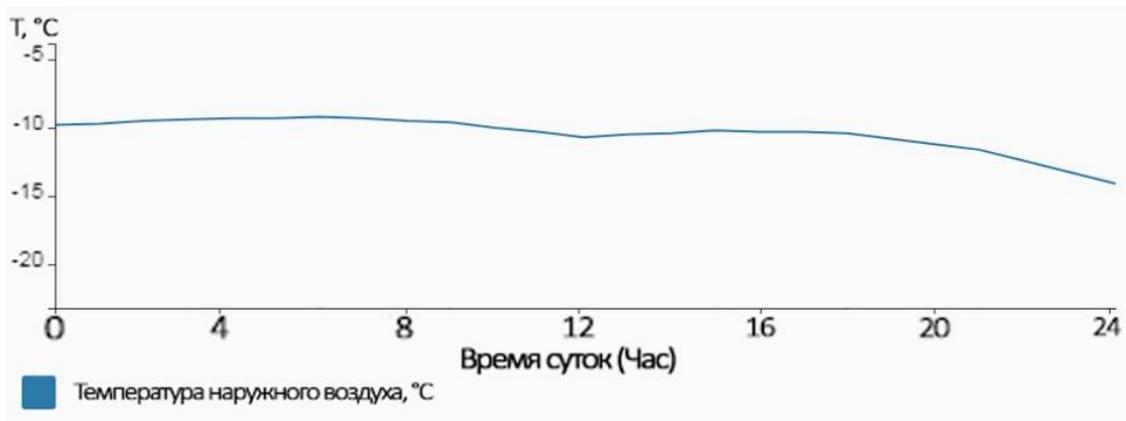


Рис. 5. График изменения температуры наружного воздуха в течение одного дня в зимний период года

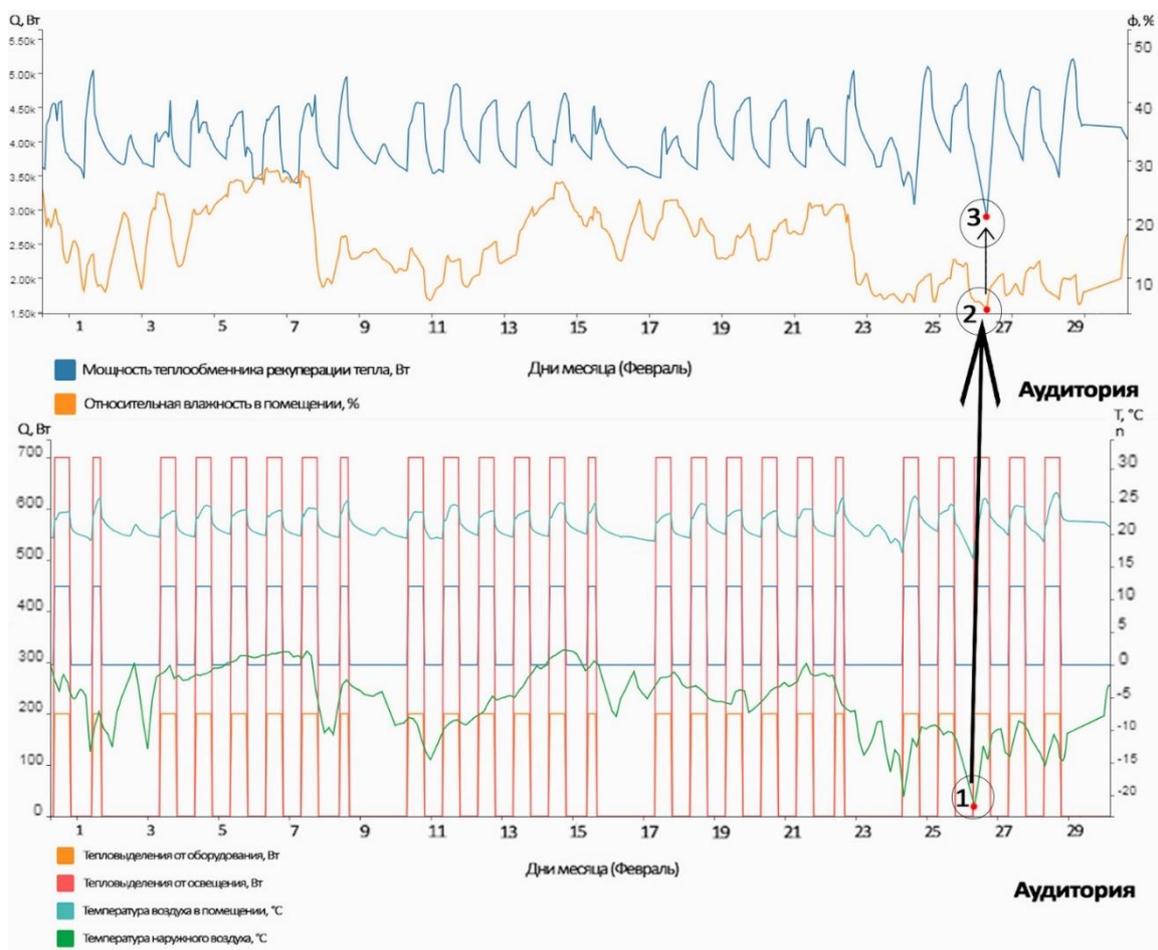


Рис. 6. Графики зависимости мощности рекуперации тепла от относительной влажности и от внутренних нагрузок в помещении

Рассмотрим работу системы за один месяц (рис. 6). В качестве рассматриваемого месяца выбираем февраль, потому что это один из самых холодных месяцев в году, а для исследования процесса рекуперации тепла для дальнейшего отопления помещения нам необходим зимний период года, а также нужно брать в расчёт пониженные температуры наружного воздуха и рассматривать как при таких параметрах будет работать система рекуперации. На графике на рис.6 можно увидеть, что в точке 1 происходит снижение

температуры наружного воздуха с -10 до -25 °С, следом в точке 2 понижается относительная влажность в помещении с 14 до 5 %, а в точке 3 мощность теплообменника рекуперации теплоты падает с 5 000 до 2 900 Вт, весь процесс произошёл примерно за 12 часов. Таким образом, понижение температуры наружного воздуха на 60 % приводит к осушению воздуха в помещении на 9 %, что свою очередь снижает мощность аппарата на вытяжке на 42 %. Всё это влияет на мощность рекуперации, и соответственно режим работы системы.

В связи с тем, что воздух сильно осушен, необходимо устанавливать увлажнитель воздуха, который будет компенсировать процент осушения воздушной среды в помещении при подаче тёплого воздуха, так как по ГОСТ 30494-2011 «Параметры микроклимата в помещениях», оптимальная относительная влажность в помещении должна находиться в диапазоне от 30 до 45 % в холодный период года, и от 30 до 60 % в тёплый период года. Благодаря энергомоделированию, можно оценить стоимость эксплуатации такого оборудования, время его использования и востребованную мощность.

Программа для энергомоделирования позволяет проводить оценку энергосберегающих мероприятий и оценивать энергетические затраты как за годовой цикл, так и за месяц, день. По итогу (рис. 7), количество рекуперированного тепла за весь год достигает 80 546 кВт часов, а, например, за январь с двух помещений вырабатывается 5 637 кВт часов теплоты. Летом рекуперированное тепло можно направить на нагрев подаваемой воды в системе горячего водоснабжения.

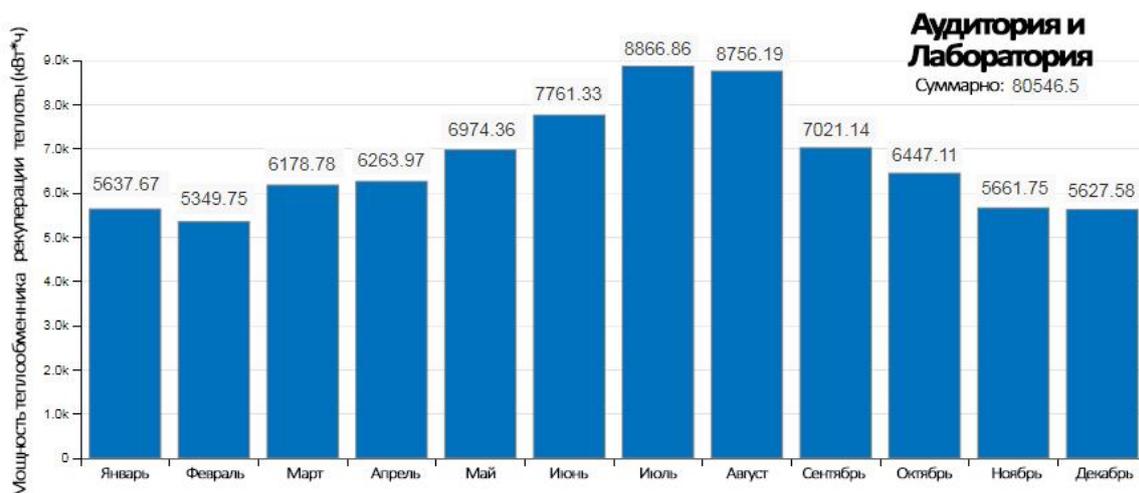


Рис. 7. Суммарные значения мощности рекуперации тепла по месяцам

Результаты моделирования использования помещений за год выявили существенный потенциал в использовании теплоты из вытяжного воздуха, а также широкие и дальновидные перспективы использования программы OpenStudio для энергомоделирования.

Если рассматривать двенадцатичасовую взаимосвязь между температурой наружного воздуха, относительной влажностью в помещении и мощностью теплообменника рекуперации теплоты, то понижение первого значения на 60 % приводит к уменьшению второго на 9 %, а третье значение снижается на 42 %.

Необходимо устанавливать воздухоувлажнитель для поддержания оптимальных параметров микроклимата в помещении.

По возможности инфильтрации стоит избегать, так как это приводит к нежелательным потерям тепла в окружающую среду, а также снижает возможность рекуперировать тепловую энергию.

Опираясь на данные, полученные в исследовании, можно сделать вывод, что системы рекуперации тепла рационально устанавливать в помещениях, где находится много человек, либо в помещения с большой проходимостью людей. Повышенной эффективности можно достигнуть, если люди занимаются физической активностью, например, в спортзале, то есть от тела возрастает тепловыделение. Бассейны также являются целью для установки таких систем, поскольку как показали расчёты, чем выше относительная влажность в помещении, тем выше будет мощность рекуперации на вытяжке.

Процесс рекуперации тепла в инженерных системах зависит от многих факторов. Изменение в мощности рекуперации за год составляет от 1 до 40%. Для использования рекуперированного тепла на практике, подбора оптимального режима работы энергетических систем здания, необходимо проводить тщательный анализ работы всех инженерных систем здания. Это невозможно без современных методов и инструментов энергомоделирования, которыми оснащена программа OpenStudio.

Данные и инструменты в представленном исследовании будут задействованы в дальнейшей работе над проектом по созданию энергетического хаба, в котором будет установлен тепловой насос для преобразования забираемой теплоты из вытяжного воздуха и дальнейшей передачи потребителям, таким как горячее водоснабжение, система отопления и т.д.

Литература

1. Abergel T., Dean B., & Dulac J. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017. UN Environment and International Energy Agency: Paris. France. 22. 2017.
2. Chermaine Lee “From a stuffy metro station in Paris, to a large shopping mall in the United States, human body heat is helping to lessen the need to burn fossil fuels for warmth.” Режим доступа: <https://www.bbc.com/future/article/20200908-the-buildings-warmed-by-the-human-body>. (дата обращения 20.03.2021).
3. Documentation E. Engineering reference-EnergyPlus 8.5. The Reference to EnergyPlus Calculation. 2019.
4. Sherman M.H., Grimsrud D.T. Infiltration-pressurization correlation: Simplified physical modeling. 1980.

Плюхин Дмитрий Алексеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №P42182,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: zeionara@gmail.com

Шилин Иван Андреевич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н., ассистент (квалификационная категория "ассистент"),

e-mail: shilinivan@itmo.ru

УДК 004.8

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ МОДЕЛЕЙ ВЕКТОРНЫХ
ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ГРАФОВ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Д.А. Плюхин

Научный руководитель – к.т.н., ассистент И.А. Шилин

Аннотация

В работе выполнен анализ пайплайна выбора моделей векторных представления графов знаний при построении рекомендательных систем, сформирован датасет, содержащий тестовый граф знаний для оценки качества решения задачи построения рекомендательной системы. Также была спроектирована и реализована система, позволяющая автоматизировать оценку и упростить сравнение моделей векторных представлений графов знаний. Разработанная система реализует универсальный и расширяемый пайплайн оценки и предполагает как возможность пополнения представленного набора метрик и моделей, так и адаптацию полученных результатов для решения других задач анализа данных.

Ключевые слова

Векторные представления графов знаний, рекомендательные системы, машинное обучение, анализ данных, нейронные сети.

За последнее десятилетие технологии искусственного интеллекта позволили сделать большой шаг в решении задач анализа данных, эффективная реализация подходов для решения которых требует применения аппаратных ресурсов с вычислительной мощностью в несколько десятков или сотен TFLOPS. Примерами подобных подходов являются различные методы обработки изображений и текста, аудиосигнала и видеозаписей, а также более сложных структур данных, таких как графы, матрицы и тензоры.

В связи с интенсивным развитием данных методов обработки информации на сегодняшний день особую значимость имеет проблема трудоемкости сравнения существующих подходов. Дополнительным фактором актуальности решения данной проблемы является и рост темпов увеличения количества информации за счет повышения доступности электронных устройств в промышленном и потребительском секторах экономики, что приводит к появлению новых областей использования информационных технологий. В зависимости от особенностей возникающих в той или

иной сфере задач могут быть сформулированы соответствующие требования к используемым подходам. Эти требования могут принципиально отличаться для разных областей деятельности.

Данная проблема может быть рассмотрена в контексте выбора моделей при построении рекомендательных систем. Так, уже сейчас существует большое количество медиа-платформ, доступных посредством сети Интернет. В связи с этим все большее количество организаций сталкивается с задачей разработки рекомендательных систем. Для решения данной задачи применяются различные подходы, в том числе и основанные на применении машинного обучения. В то же время трудоемкость выбора подходящей модели машинного обучения до сих пор довольно высока ввиду сложности сравнения реализаций различных подходов вследствие ограниченной совместимости инструментальных средств и необходимости многократной разработки вспомогательных программных модулей, обеспечивающих оценку моделей.

В табл. 1 приведены результаты анализа существующих подходов к построению рекомендательных систем. В соответствии с данной таблицей был сделан вывод о том, что наиболее перспективными из них являются использование векторных представления графов знаний, а также применение гибридных моделей ввиду высокой универсальности таких подходов. Использование более простых алгоритмов приводит к получению результатов худшего качества ввиду неспособности учета сложных паттернов связей между элементами данных.

Таблица 1

Сравнение существующих подходов к построению рекомендательных систем

Характеристика / Подход	Усреднение	Факторизация матриц	Нейронные сети	Векторные представления графов знаний	Гибридные подходы
Общая гибкость	Низкая	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>
Простота	<u>Высокая</u>	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая
Интерпретируемость	<u>Высокая</u>	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя
Вычислительная сложность	<u>Низкая</u>	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Персонализированность	Средняя	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>
Масштабируемость	Низкая	Средняя	<u>Высокая</u>	Средняя	Средняя
Гибкость подхода	<u>Высокая</u>	Низкая	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>

продолжение таблицы

Характеристика / Подход	Усреднение	Факторизация матриц	Нейронные сети	Векторные представления графов знаний	Гибридные подходы
Способность учета взаимосвязей в данных	<u>Высокая</u>	Низкая	Низкая	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>
Способность учета данных простых типов	<u>Высокая</u>	Средняя	<u>Высокая</u>	Низкая	<u>Высокая</u>

В табл. 2 приведены результаты сравнения существующих программных решений для построения и оценки рекомендательных систем. По результатам анализа данной таблицы был сделан вывод о том, что в целом существующие сервисы обладают низкой гибкостью и простотой использования, что ограничивает их область применения на практике. Кроме того, существующие решения не имеют встроенной поддержки моделей векторных представлений графов знаний и автоматического подсчета значений метрик для сравнения различных моделей.

Таблица 2

Сравнение существующих сервисов для построения и оценки рекомендательных систем

Характеристика / Решение	Универсальные фреймворки машинного обучения	Recommendations AI	Personalize	Merlin	LoyaltyLab
Гибкость	<u>Высокая</u>	Низкая	Средняя	Средняя	<u>Высокая</u>
Простота использования	Низкая	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	Средняя	Средняя
Расширяемость	<u>Высокая</u>	Низкая	Низкая	Средняя	Низкая
Масштабируемость	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	<u>Высокая</u>	Низкая
Встроенная поддержка различных форматов датасетов	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя	<u>Высокая</u>
Сложность настройки окружения и развертывания	Средняя	<u>Низкая</u>	<u>Низкая</u>	Высокая	<u>Низкая</u>

продолжение таблицы

Характеристика / Решение	Универсальные фреймворки машинного обучения	Recommendations AI	Personalize	Merlin	LoyaltyLab
Стоимость	<u>Бесплатно</u>	2.50\$ за 1 час / 0.18\$ за 1000 запросов	0.24\$ за 1 час / 0.12\$ за единицу пропускной способности	<u>Бесплатно</u>	2% от стоимости продукта
Встроенная поддержка запуска экспериментов для оценки и сравнения моделей	Нет	Нет; рекомендуется использование других сервисов	Поддерживается только подсчет значений метрик из заранее заданного набора	Нет	<u>Запуск экспериментов является частью процесса разработки</u>

В соответствии с вышеприведенными результатами анализа было принято решение о необходимости проектирования и разработки новой системы с целью снижения трудоемкости разработки рекомендательных систем. Данный результат должен обеспечиваться за счет автоматизации процесса запуска экспериментов для тестирования моделей векторных представлений графов знаний в соответствии с жизненным циклом рекомендательной системы [1], приведенном на рис. 1. На диаграмме выделен затрагиваемый в данной работе этап жизненного цикла.



Рис. 1. Жизненный цикл проекта по построению рекомендательной системы

В результате проектирования системы была сформирована архитектура, приведенная на рис. 2. Данная архитектура состоит из 3 модулей:

1. Модуль обеспечения работы клиентской части пользовательского интерфейса (на диаграмме обозначен как WebClientHandler). Данный компонент выполняет функции упрощения взаимодействия пользователей системой, а также визуализации результатов

оценки моделей векторных представлений графов знаний.

2. Модуль серверной части пользовательского интерфейса (на диаграмме обозначен как *WebServer*). Данный компонент выполняет функцию централизации обращений к базе данных для получения данных при обработке пользовательских запросов, а также распределения нагрузки на вычислительные узлы в процессе работы системы.

3. Модуль запуска экспериментов (на диаграмме обозначен как *Evaluator*). Данный компонент осуществляет непосредственный запуск экспериментов для оценки качества работы моделей.

При проектировании структуры системы учитывались положения методологии CRISP-DM [2], являющейся на текущий момент стандартной спецификацией процесса анализа данных. Данная методология является моделью процесса исследования данных, она одновременно обладает свойством универсальности и включает в себя достаточное количество деталей для применения на практике, а также допускает возможность расширения как путем добавления новых этапов жизненного цикла, так и удаления существующих или изменения характера связи между ними.

Предложенная система может быть использована как посредством обращений через REST-API, так и при помощи интерфейса командной строки, за счет реализуется поддержка сценариев использования системы различной сложности. В частности, пользователям предоставлена возможность запуска экспериментов напрямую без развертывания вспомогательных модулей интерфейса. При обращении к системе с использованием REST-API запросов реализуется многоуровневая аутентификация на стороне всех вышеописанных модулей.

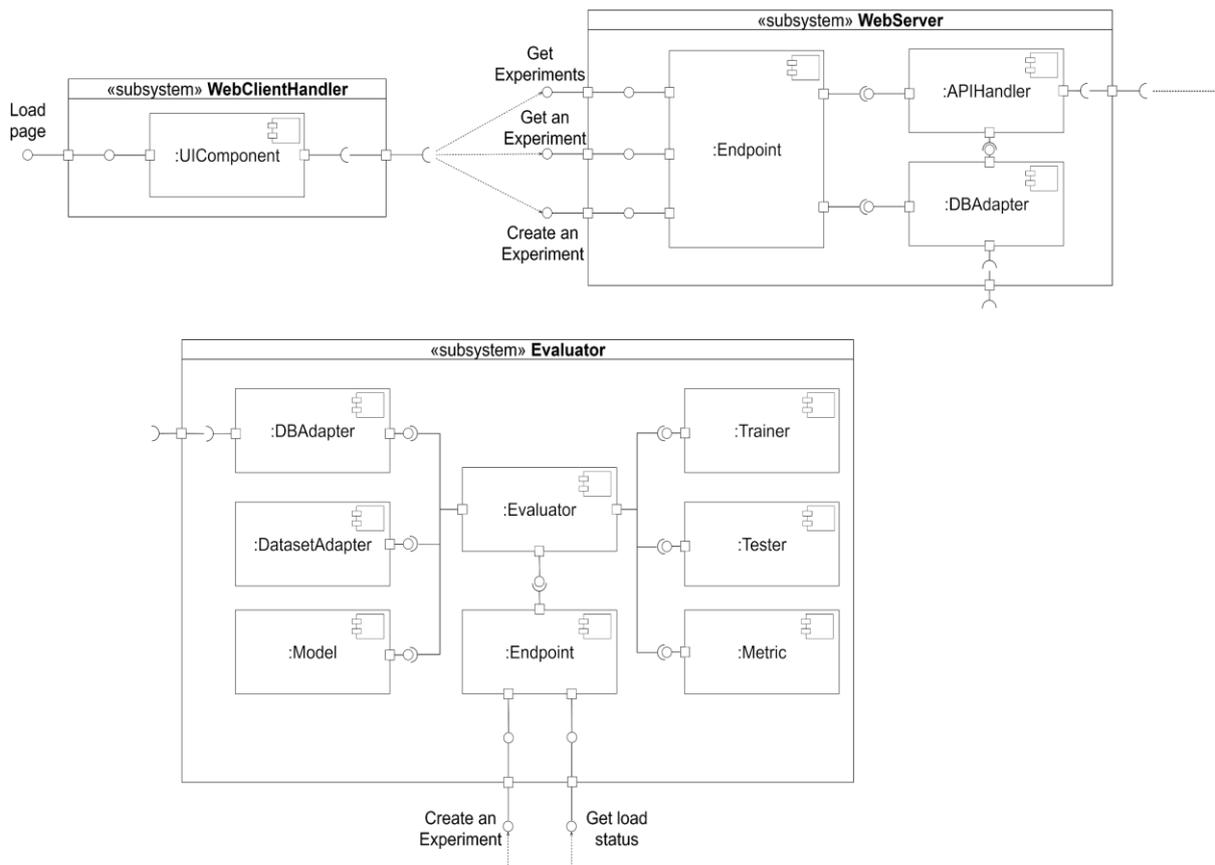


Рис. 2. Архитектура разработанной системы в виде UML-диаграммы компонентов

Оценка разработанной системы осуществлялась с использованием метрики SME [3], предназначенной для оценки трудоемкости малых и средних проектов по анализу данных. Данная метрика предусматривает учет 8 характеристик проекта при подсчете общей трудоемкости с различными коэффициентами. В частности, критерий TOOL, значение которого зависит от функциональности используемого инструментального средства, оказывает наибольшее влияние на трудоемкость по сравнению с другими критериями. Всего при подсчете метрики было рассмотрено 34 проекта, а результаты оценки трудоемкости были усреднены.

В соответствии с усредненными результатами оценки, приведенными на рис. 3, разработанная система обеспечивает снижение трудоемкости реализации проектов по построению рекомендательных систем на 20.32% относительно решения Recommenders AI от компании Google, на 11.9% относительно исходных данных и на 5.99% относительно системы Merlin от компании Nvidia.

Средняя трудоемкость проекта по анализу данных с использованием различных инструментальных средств

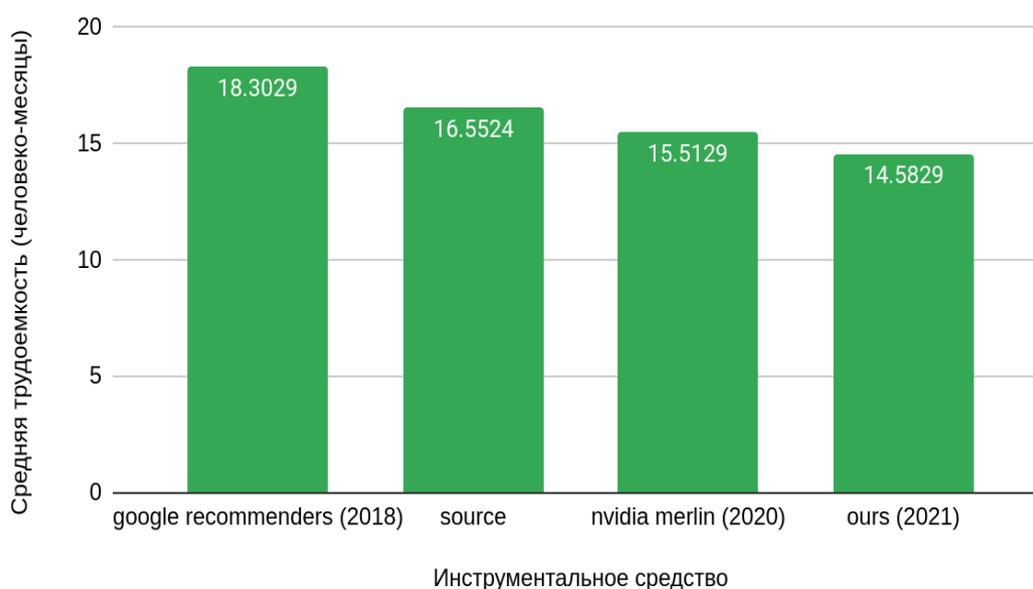


Рис. 3. Сравнение разработанной системы с существующими аналогами

При выборе датасета для сравнения моделей векторных представлений графов знаний в процессе тестирования системы были рассмотрены следующие варианты:

1. Citeseer datasets - содержит данные о статьях из различных областей исследований. Данные графы знаний сложны в интерпретации и использовании;
2. FB15K - содержит триплеты и их текстовое описание из базы данных freebase. Данный граф знаний не обладает высокой степенью универсальности;
3. Countries - содержит данные о взаимном расположении стран мира. Данный датасет также не представляет интереса, поскольку структура датасета слишком проста, так что датасет не может выступать примером промышленного графа знаний.

В результате анализа имеющихся графов знаний был сделан вывод об отсутствии подходящего датасета и было принято решение о сборе нового корпуса на русском языке для тестирования и сравнения моделей векторных представлений графов знаний. Диаграмма классов, отражающая схему сформированного датасета, приведена на рис. 4. Так, было выделено 4 типа сущностей и 6 типов связей между ними.

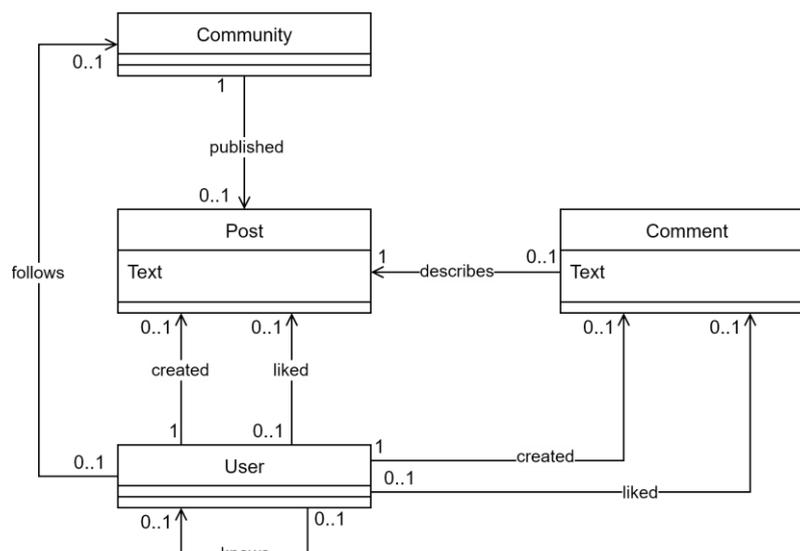


Рис. 4. Структура собранного датасета в виде UML-диаграммы классов

Основными выводами по результатам выполнения представленной работы является то, что была разработана система, позволяющая сократить трудоемкость проектов по построению рекомендательных систем. Также был сформирован датасет, который может в дальнейшем использоваться в подобных исследованиях.

Планируемые работы включают интеграцию разработанной системы с другими сервисами и расширение возможностей параллелизма путем реализации запуска этапов кросс-валидации на различных вычислительных узлах для еще большего сокращения времени работы экспериментов.

Литература

1. Treveil M. et al. Introducing MLOps. O'Reilly Media. 2020.
2. Wirth R., Hipp J. CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining //Proceedings of the 4th international conference on the practical applications of knowledge discovery and data mining. London, UK: Springer-Verlag. 2000. Т. 1.
3. Pytel P. et al. Feasibility and effort estimation models for medium and small size information mining projects //Information Systems. 2015. Т. 47. С. 1-14.

Радченко Марина Олеговна

Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
институт международного развития и партнерства,
студент группы D41102,
направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,
e-mail: marina.rdko@gmail.com

Мальков Дмитрий Владимирович

Год рождения: 1991
Университет ИТМО,
центр научной коммуникации,
аналитик,
e-mail: d.malkoves@gmail.com

УДК 396.1

**ВЛИЯНИЕ ФИНАНСИРОВАНИЯ
НА ПОЛОЖЕНИЕ ЖЕНЩИН-УЧЕНЫХ В РОССИИ**

**М.О. Радченко
Научный руководитель – Д.В. Мальков**

Работа выполнена в рамках темы НИР №620163 «Практики взаимодействия в трансдисциплинарном пространстве».

Аннотация

Одно из препятствий для женщин-ученых в российской науке – временные ограничения в условиях грантовых конкурсов. В декабре 2019 года Российский научный фонд ввел политику «остановки часов», чтобы позволить ученым, уходящим в декретный отпуск, наравне с другими участвовать в конкурсах. Результаты конкурсов прошлого года позволяют положительно оценить влияние нововведения на количество женщин среди победителей грантов Российского научного фонда.

Ключевые слова

Женщины-ученые, финансирование науки, грантовые конкурсы, молодые ученые, Российский научный фонд.

Гендерное равенство для науки как способа познания и совершенствования мира значит, что результаты научной и технической деятельности учитывают особенности среднестатистического женского организма и образа жизни наравне с мужскими. Например, учитывая гендер как значимый фактор, ученые и инженеры будут вынуждены придумать лучший дизайн ремней и подушек безопасности, создав манекены, похожие на женские тела, или разработать менее опасные лекарства, включив женщин в токсикологические тесты [1]. Кроме того, женщины на позиции ученых и инженеров привносят особенный взгляд на исследования и научные обсуждения, сформированный благодаря другому жизненному опыту [1].

Принято подчеркивать способность науки производить знания, которые являются надежными во времени, пространстве и культуре. Современные исследования показывают, как много из этих знаний формируется силами, которые выходят за рамки научного метода: гендер, раса, принадлежность к определенному классу, доступ к власти и так далее [2–4]. Поэтому необходимо, чтобы свой взгляд на устройство мира женщины-ученые выражали в той же степени, что и мужчины.

В июле 2019 года лауреаты премии L'OREAL-UNESCO «Для женщин в науке» Анастасия Ефименко, Мария Логачева, Любовь Осминкина и Надежда Браже отправили обращения в Российский научный фонд (далее РФНФ) и Российский фонд фундаментальных исследований (далее РФФИ) с предложением ввести тактику «остановки часов» [5]. Она включает продление срока подачи заявки для конкурсов, у которых есть ограничения по возрасту и/или по времени от защиты диссертации, а также продление срока учета достижений на время отпуска по уходу за ребенком. Это обращение стало вдохновением для изучения, как система финансирования науки влияет на положение женщин-ученых.

Часто воспроизводится как факт, что женщин-ученых в науке меньше. Однако не всегда понятно, что именно скрывается за этими словами. Недопредставленность женщин представляет собой падение количества женщин при продвижении вверх в научной карьере, это явление называется «протекающий трубопровод» (англ. leaky pipeline) [6]. Путь в науку состоит из отдельных сегментов, которые соответствуют образовательным этапам (например, начальная, средняя, старшая школа, колледж или университет и так далее). Один этап последовательно перетекает в другой, а количество девочек/женщин на каждом этапе уменьшается в мировом масштабе [7]. Это число также зависит от рассматриваемой области науки. В России, например, в 2011 году в физико-математических науках было занято всего 22% женщин-докторов и 29% женщин-аспирантов, в филологических науках эти показатели были совершенно другими – 81% и 82% соответственно, при этом общее количество женщин в науке – на уровне 50% [8, с. 117].

В многолетнем полевом эксперименте было продемонстрировано, что женщины в инженерных науках, руководителями и наставниками которых были женщины, чувствовали большую причастность к технической сфере, уверенность и мотивацию к дальнейшей деятельности, и более того, чаще оставались на инженерных специальностях [9]. А присутствие женщин на административных ролях способствует более частому одобрению стратегий привлечения и большему удержанию женщин в STEM [10]. Для науки мнения и решения менеджеров высшего звена и политиков ощутимо проявляются в вопросах финансирования.

Предрассудки о гендере действительно могут отражаться в экспертном оценивании заявок на гранты. Исследование, проведенное в 2018 году, показало, что женщины-соискательницы оценивались так же высоко, как мужчины, если эксперты фокусировались на научной части заявки, но, когда рецензентов просили оценить исследователя, разрыв между женщинами и мужчинами увеличивался [11]. Проблема также заключается в том, что в академических кругах часто отрицается гендерная предвзятость. Однако усилия по пересмотру методики экспертной оценки исследовательских грантов должны проходить вместе с другими инициативами в рамках институциональной политики, направленной на изменение взгляда на традиционные гендерные нормы в академических кругах, существование которых для начала нужно признать, а затем им противодействовать [12].

Для определения того, какое влияние грантовое финансирование в России оказывает на карьеру женщин-ученых, в 2003 году было проведено исследование грантополучателей отечественных и зарубежных фондов в разных регионах [13]. Исследователи опросили 307 женщин-ученых в десяти городах. Большинство респонденток позитивно оценили влияние грантов на их успехи в исследовательской деятельности — 75% опрошенных женщин почувствовали, что получение ими грантов повлияло на их должностной рост [13, с. 99]. Среди контрольной группы мужчин это количество составило 85,7%, но обе группы отметили, что гранты занимают далеко не первое место по влиянию на профессиональный рост [13, с. 99]. Исследователи, подводя итог, отметили, что наличие явного или скрытого неравенства в условиях труда мужчин

и женщин-ученых чаще всего трактовалось как «естественное», а гендерные проблемы на фоне затяжного неблагополучия в российской науке казались надуманными и женщинам, и мужчинам [13, с. 100].

С момента проведения этого исследования прошло около 17 лет. Интервью с женщинами-учеными, направившими обращение в российские фонды, показывает, что отношение к вопросу гендерного равенства в научных кругах меняется.

Для ответа на главный исследовательский вопрос работы были выбраны данные Российского научного фонда за период с 2014 по 2020 год. Фонд играет ключевую роль в системе российского грантового финансирования, а данные о поддержанных заявках и опубликованных результатах в рамках грантов доступны на глобальной исследовательской платформе Dimensions. Это позволило провести анализ публикационной активности в рамках грантов и проверить гипотезу о том, что руководители-женщины чаще приглашают женщин в исследовательскую группу. Кроме этого, РНФ отреагировал на обращение женщин и в 2019 году ввел политику «остановки часов» для всех конкурсов [14]. Был выбран именно такой временной диапазон, потому что самый первый конкурс, представленный на официальном сайте РНФ, датирован 2014 годом. Схема, описывающая процедуру фильтрации исходных данных о публикациях, представлена на рисунке.

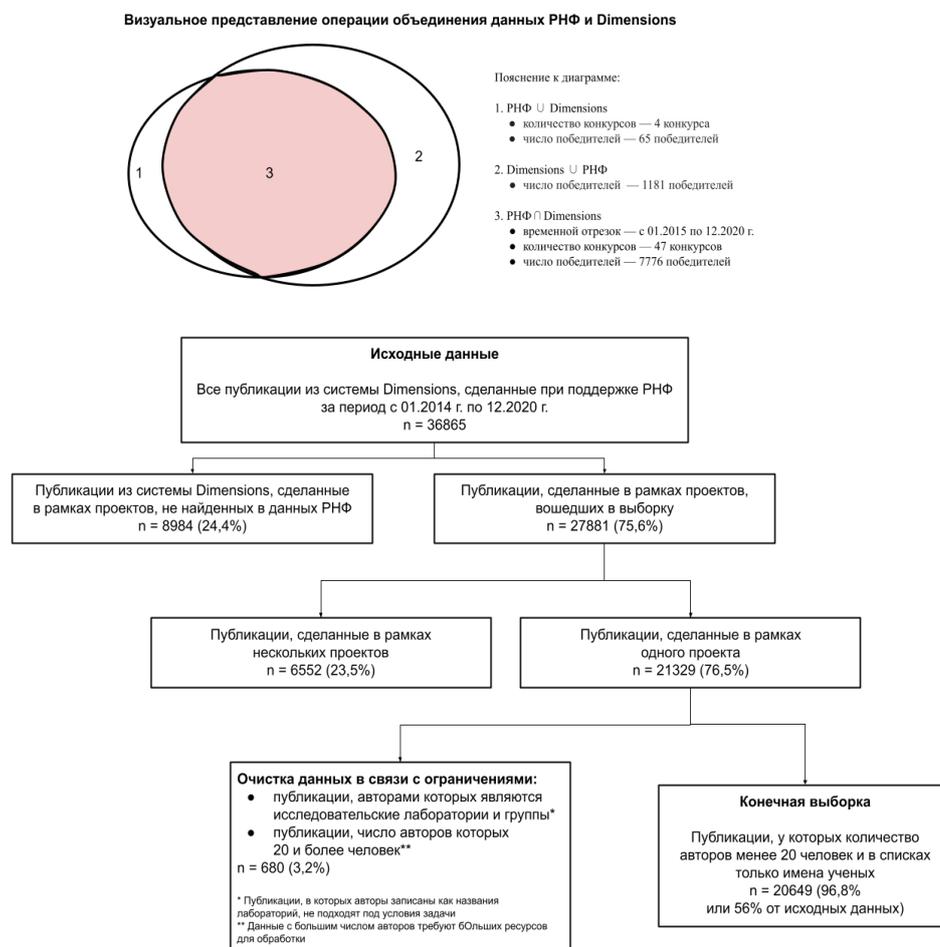


Рисунок. Схема, описывающая процедуру фильтрации исходных данных по публикациям

В грантовых конкурсах РНФ используются три вида временных ограничений, которые могут исключить молодых ученых, уходящих в отпуск по рождению и уходу за ребенком, из потенциальных участников:

- возраст руководителя/членов исследовательской группы;
- срок учета достижений руководителя (до даты подачи заявки);
- срок учета диссертации.

В рамках работы было обработано 47 конкурсов, проведенных в период с 2015 по 2020 гг. включительно. Все 47 конкурсов имели ограничение по возрасту и сроку учета достижений, 1 конкурс имел ограничение по сроку учета диссертации. При этом только 6 конкурсов содержали условия по продлению срока учета достижений на время отпуска по беременности и родам, отпуска по уходу за ребенком. Ограничения по возрасту при этом не снимались, а условия по сроку учета диссертации в этих конкурсах не устанавливались.

Все 6 конкурсов были проведены Российским научным фондом после того, как обращение инициативной группы было им получено в 2019 году. В 2020 году были опубликованы первые результаты по поддержанным проектам. Для дальнейшего анализа из системы Dimensions были выгружены все данные по проектам, поддержанными в рамках этих конкурсов, всего – 7776 записей.

Для определения пола использовалось ФИО грантополучателя. Так стал возможным подсчет количества женщин и мужчин, которые являются руководителями выбранных проектов.

Чтобы можно было оценить влияние введения политики «остановки часов», все проекты были разбиты по конкурсам, в рамках которых эти проекты получили финансирование. По каждому конкурсу была рассчитана доля женщин среди руководителей всех проектов. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа конкурсной документации

Параметр	Вся совокупность данных	Конкурсы с действовавшей политикой остановки часов
Число конкурсов	47	6
Число победителей	7776	1043
Число женщин среди победителей	1809 (23%)	306 (29,3%)
Среднее значение доли женщин среди руководителей по конкурсам	21,23%	35,40%
Медианное значение доли женщин среди руководителей по конкурсам	18,78%	31,51%

С использованием системы кодировок областей науки Units of Assessment была проверена гипотеза о том, что больше женщин-руководителей выигрывают грантовые конкурсы в гуманитарных науках, медицине и биологии, а меньше – в физике, математике и инженерных науках.

Гипотеза подтвердилась путем подсчета доли женщин-руководителей проектов из общего числа проектов по каждой категории. Визуализация данных представлена в Приложении В. В области математики, физики и экономики в менее 10% проектов руководителями являются женщины. Около 15% женщин являются руководительницами проектов в области инженерных наук. В области биологии женщины-ученые руководят примерно 34% проектов, а в области клинической медицины – 41% проектов. Наибольшее количество женщин являются руководительницами проектов в области социальной работы и социальной политики – 61% проектов, в области прочих гуманитарных наук, например социологии, английского языка и литературы, коммуникаций и медиаисследований, – около 40–50%.

В проектах, где руководителем был мужчина, в среднем задействовано 18,67% женщин. А в проектах, где руководителем была женщина, – 47,11%. То есть

предварительные подсчеты показывают состоятельность гипотезы о том, что женщины-руководительницы привлекают в среднем больше женщин-ученых к участию в проектах. Распределения отличаются от нормального вида, поэтому для сравнения двух групп использован ранговый метод, а именно U-критерий Манна-Уитни. Результат сравнения групп показал, что женщины-руководители чаще берут в команду женщин, чем мужчины. Результаты сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнения выборок

Параметр оценки по доле исследовательниц в группе	Если руководитель – женщина	Если руководитель – мужчина
1	2	3
Среднее значение	47,11%	18,67%
Медиана	50,00%	11,44%
Среднеквадратическое отклонение	28,27%	23,09%
Минимальное значение (число проектов, где в группе нет ни одной исследовательницы)	0% (275)	0% (8512)
Максимальное значение (число проектов, где в группе только исследовательницы)	100% (343)	100% (260)
Объем выборок	n1 = 3060	n2 = 17588
Сравнение по U-критерию Манна-Уитни		
Максимально возможное значение U-критерия	n1 * n2 = 53819280	
Уровень достоверности	0,05	
Значение U-критерия	4224182 (0,08 от максимально возможного)	
P-значение	Менее 0,001	

Исследованием, проведенным в 2020 году, показано, что публикации реже цитируются, когда их авторы – женщины [15]. Поэтому была предпринята попытка оценить зависимость цитируемости публикаций от пола автора, который стоит на первом месте в списке авторов. Если на первом месте стоит автор-мужчина, публикации цитировались в среднем 5,63 раза, если женщина – 5,83. При этом среднее значения по показателям цитируемости всех публикаций – 5,69 раз, то есть отклонения от среднего небольшие.

Для проверки гипотезы был применен коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Взаимосвязь между количеством женщин среди авторов публикации и ее цитируемостью обнаружена, но чрезвычайно слабая ($r = 0.027$, $p < 0.001$). Зависимостью можно фактически пренебречь, поскольку значение коэффициента очень близко к нулю.

Поднятая в тексте интервью с женщинами-учеными проблема совмещения научной деятельности и материнства вызывает эмоциональный отклик и обсуждается в глобальном пространстве. Нельзя сделать вывод, что конкурсы РНФ с условием по остановке часов благотворно влияют на увеличение количества женщин среди победителей грантовых конкурсов, потому что множество факторов остались без учета. Однако в долгосрочной перспективе было бы интересно наблюдать за колебанием количественных показателей с учетом этого условия. В дальнейшем такие данные могли бы быть использованы при выдвижении предложений ввести такую же политику действий в других финансирующих науку организациях.

Полученные результаты в рамках проверки о том, что женщины-руководительницы привлекают в среднем больше женщин-ученых к участию в проектах,

показывают, что необходимо продолжать изучение причинно-следственных связей, которые лежат в основе взаимодействий ученых, работающих в рамках грантов. К сожалению, из-за большого объема работ по определению пола исследователей пришлось отложить проведение качественного исследования. Только на полученной оценке количественных данных нельзя выдвинуть предложения для развития политики фонда в гендерном вопросе. Поэтому данный анализ должен быть дополнен проведением глубинных интервью. В частности, с их помощью важно изучить, является ли привлечение большего количества исследовательниц в команду осознанным выбором женщин-руководительниц.

Литература

1. Elsevier. 3 reasons gender diversity is crucial to science [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elsevier.com/connect/3-reasons-gender-diversity-is-crucial-to-science> (дата обращения: 12.04.2021).
2. De Vita L. Re-thinking intersectionality through Science and Technology Studies: trajectories of women in technoscientific fields / De Vita L., Sciannamblo M., Viteritti A. // *Rassegna italiana di sociologia*. 2016. Т. 57. Re-thinking intersectionality through Science and Technology Studies.
3. Lewenstein B. The need for feminist approaches to science communication / Lewenstein B. // *Journal of Science Communication*. 2019. Vol. 18. № 04.
4. Perez C.C. Invisible Women: Data Bias in a World Designed for Men / Perez C.C., Abrams H.N., 2019. 411 с.
5. «Штраф за материнство»: как стоит поддерживать женщин-ученых [Электронный ресурс]. URL: <https://indicator.ru/humanitarian-science/shtraf-za-materinstvo.htm> (дата обращения: 05.01.2020).
6. Berryman S.E. Who Will Do Science? Trends, and Their Causes in Minority and Female Representation among Holders of Advanced Degrees in Science and Mathematics. A Special Report / Berryman S.E. 1983. Who Will Do Science?
7. Polkowska D. Women Scientists in the Leaking Pipeline: Barriers to the Commercialisation of Scientific Knowledge by Women / Polkowska D. // *Journal of technology management & innovation*. 2013. Т. 8. Women Scientists in the Leaking Pipeline. № 2. С. 156-165.
8. Богомолова И.С. Статистический анализ научной активности женщин в России / Богомолова И.С., Гриненко С.В., Задорожная Е.К. // *Инженерный Вестник Дона*. 2015. № 2-2 (36). С. 118.
9. Female peer mentors early in college increase women's positive academic experiences and retention in engineering | PNAS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pnas.org/content/114/23/5964> (дата обращения: 12.04.2021).
10. Does gender of administrator matter? National study explores U.S. University administrators' attitudes about retaining women professors in STEM / Williams W.M. [и др.] // *Frontiers in Psychology*. 2017. Т. 8. Does gender of administrator matter? № MAY.
11. Female grant applicants are equally successful when peer reviewers assess the science, but not when they assess the scientist / Witteman H.O. [et al.] // *bioRxiv*. 2018. P. 232868.
12. Morgan R. The foundation and consequences of gender bias in grant peer review processes / Morgan R., Hawkins K., Lundine J. // *CMAJ*. 2018. Vol. 190. № 16. P. E487-E488.
13. Дежина И.Г. Влияние грантового финансирования на положение женщин в российской науке / Дежина И.Г. // *Социологический журнал*. 2003. № 4.
14. Конкурсная документация на проведение открытого публичного конкурса на получение грантов Российского научного фонда по приоритетному направлению деятельности Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных

исследований и поисковых научных исследований международными научными коллективами».

15. Historical comparison of gender inequality in scientific careers across countries and disciplines / Huang J. [и др.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2020. Т. 117. № 9. С. 4609-4616.

Сенчихина Анна Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т42152с,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: anna-sench25@rambler.ru

Федоров Александр Валентинович

Год рождения: 1958

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

д.т.н., доцент,

e-mail: afedorov@itmo.ru

УДК 532.13, 546.817

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ
ПОТЕНЦИОМЕТРИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПИЩЕВЫХ
ТЕХНОЛОГИЯХ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ**

А.С. Сенчихина

Научный руководитель – д.т.н., доцент А.В. Федоров

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

Аннотация

В работе исследована возможность определения содержания фосфатидов в образцах подсолнечных масел с помощью метода мультисенсорной потенциометрии. На основе откликов сенсоров построена многомерная регрессионная модель, позволяющая прогнозировать содержание фосфатидов с относительной погрешностью на уровне 17,59%. Данный метод обладает преимуществами перед многими другими существующими методами и может использоваться для одновременного контроля основных параметров качества подсолнечных масел.

Ключевые слова

Рафинированное подсолнечное масло, нерафинированное подсолнечное масло, фосфатиды, фосфолипиды, метод мультисенсорной потенциометрии.

Подсолнечное масло – это один из важнейших компонентов рациона современного человека, представляющее собой смесь триглицеридов высших жирных кислот и сопутствующих веществ. Известно, что подсолнечное масло одно из самых востребованных в мире, привлекательно по цене и обладает высокой биологической ценностью. Объем производства подсолнечного масла в 2020 году увеличился. В России произведено 5,9 млн тонн нерафинированного и 2,5 млн тонн рафинированного подсолнечного масла, что на 11,2% и 10,3% больше, чем годом ранее.

Для приготовления хлебобулочных и кондитерских изделий подсолнечное масло используется в чистом виде, вносится в тесто в виде эмульсии, применяется при разделке теста и для смазки форм и листов, а также входит в состав маргарина, спредов, шортенингов, которые могут быть использованы в качестве жировой составляющей.

В массовом производстве в условиях высокой интенсивности работники кондитерского и хлебопекарного направлений зачастую не подозревают о том, насколько важен такой компонент как подсолнечное масло, ведь вкусовые и полезные качества готовых изделий существенным образом зависят от органолептических и физико-химических показателей качества используемого масла, таких как кислотное, перекисное, анизидиновое числа, содержание токоферолов. Также, одними из ценных питательных компонентов в составе масел являются фосфолипиды (фосфатиды), представляющие собой смесь фосфорсодержащих веществ, содержание которых в нерафинированных маслах составляет от 0,2 до 0,8% согласно нормативам [1]. Структурная формула фосфолипидов в общем виде представлена на рис. 1.

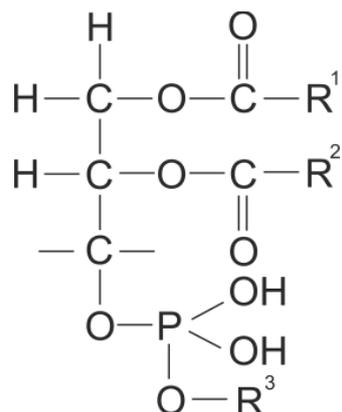


Рис. 1. Обобщенная структурная формула фосфолипидов, где R^1 , R^2 – жирные кислоты, а R^3 – остатки фосфолипида

При хранении со временем в растительных маслах происходит гидролиз фосфатидов на жирные кислоты, глицерин, фосфорную кислоту и азотистое основание. Визуально это проявляется в виде хлопьевидного осадка в масле и портит его товарный вид. Поэтому масла с высоким содержанием фосфолипидов подвергаются рафинированию, в ходе которого масло очищается от них путем гидратации или связывания фосфолипидов с помощью химических реагентов.

Однако, фосфолипиды в масле считаются природными антиокислителями и обладают огромным количеством ценных жизненно важных физиологических свойств, одними из которых является обеспечение эластичности мембран, содействие полноценному функционированию печени, а также образование кластеров, транспортирующих витамины, питательные вещества и жиросодержащие молекулы в организме.

Определение содержания фосфатидов дает возможность выделения их для дальнейшего применения в хлебопекарной и кондитерской промышленности с целью улучшения характеристик готового изделия.

Целью настоящей работы являлось экспресс-определение содержания фосфатидов и их концентраций в подсолнечных рафинированных и нерафинированных маслах методом мультисенсорной потенциометрии.

Для анализа фосфорсодержащих веществ в растительных маслах в основном используют стандартный фотометрический (колориметрический) метод по ГОСТ [2], а также существуют другие методики, предлагаемые в научных работах, в которых применяется дорогостоящее, технически сложное оборудование: жидкостные и газовые хроматографы, ИК-, ЯМР-, масс-спектрометры. Все эти методики требуют длительной и сложной пробоподготовки с использованием большого количества расходных материалов и химических реактивов с высоким классом опасности. К тому же

большинство используемых в настоящее время методов контроля качества растительных масел не предполагают одновременного определения нескольких показателей их качества.

В настоящее время активно развивается метод мультисенсорной потенциометрии. Он основан на измерении разности потенциалов в растворе между электродом сравнения и сенсорами с последующей математической обработкой полученных многомерных данных. Этот метод отличается более высокой доступностью за счет сравнительно невысокой стоимости используемого оборудования и материалов, низких энергозатрат, а также небольшого количества реактивов с низким классом опасности. Пробоподготовка и проведение измерений занимает значительно меньшее время. Кроме того, с помощью потенциометрии возможно одновременное определение сразу нескольких показателей качества растительных масел, что было подтверждено в исследованиях [3, 4]. Экспериментальная установка для данной работы включала в себя массив из перекрестно-чувствительных потенциометрических сенсоров и электрода сравнения.

На первом этапе проводилась пробоподготовка. Для этого в емкость наливали 40 мл изопропилового спирта, с помощью микродозатора вводили 0,5 мл подсолнечного масла. Затем содержимое колбы интенсивно перемешивалось до получения прозрачного раствора. К полученному раствору добавляли 55 мл дистиллированной воды и энергично перемешивали до образования молочно-белой эмульсии, сохраняющей свои физико-химические свойства в ходе эксперимента.

Для каждого образца подсолнечного масла готовилось четыре пробы. С первой пробой проводилось кондиционирование (насыщение) электродов в течение 15 минут. При измерении последующих проб, показания снимались в течение 2 минут и фиксировались на персональном компьютере. Процедура повторялась для каждого образца растительных масел.

При работе в водно-спиртовой эмульсии электроды теряют свою активность, жиры из масла имеют свойство налипания на поверхность, что ухудшает показатели сенсоров. Для обхода этих проблем была использована система отмывки электродов от анализируемой пробы после каждого измерения.

Последовательность промывки была следующей:

- 1) промывка гексаном квалификации «о.с.ч.» (Вектон) на протяжении 3 минут;
- 2) промывка 0,05% водным раствором полиоксиэтилен-20-сорбитан монолаурата (Tween 20, «ч.д.а.» Геликон) в течение 3 минут;
- 3) промывка дистиллированной водой в течение 3 минут, два раза.

После каждого этапа промывки электроды протирались досуха фильтровальной бумагой. Измерения проводились при оптимальной для эксперимента температуре 28 ± 1 °С, для достижения которой спирт и вода подогревались на водяной бане.

Таким образом, при погружении массива сенсоров с электродом сравнения в исследуемый раствор, измеряется разность потенциалов между электродами, затем результат в виде отклика регистрируется вольтметром, и данные в виде откликов поступают на компьютер для дальнейшей их обработки.

Для определения эффективности данного метода по определению фосфатидов было создано 9 модельных образцов на основе рафинированного подсолнечного масла. Для этого в образцы рафинированного масла без фосфолипидов добавляли заданное количество смеси фосфатидов в интервале концентраций от 1 до 59,4 мг/100 г. После измерения разности потенциалов электродов в водно-спиртовой эмульсии, отклики регистрировались в программе на компьютере каждые 3 секунды опыта, при этом фиксировались 10 последних откликов, рассчитывались их средние значения и стандартные отклонения – по трем независимым измерениям для каждого образца масел.

На основании этих данных методом проекций на латентные структуры (ПЛС) была

построена многомерная регрессионная модель, изображенная на рис. 2, связывающая величины откликов сенсоров в образцах с содержанием фосфолипидов. Погрешность определения концентрации фосфатидов в образцах рафинированных подсолнечных масел в терминах среднеквадратичного отклонения составила $0,24 \log C$, при этом образец 3 был исключен как выброс. Стоит отметить, что отклик потенциометрических сенсоров линеен в полулогарифмических координатах согласно уравнению Никольского, что объясняет представленные в виде десятичного логарифма погрешности прогнозирования.

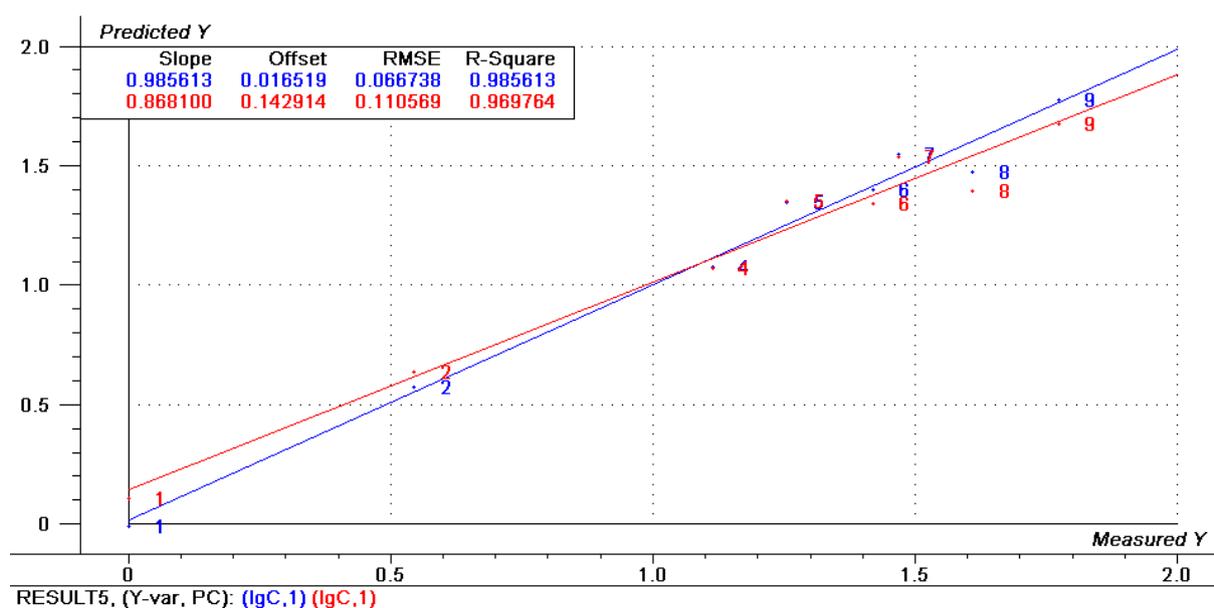


Рис. 2. График для ПЛС модели прогнозирования содержания фосфатидов в образцах подсолнечного рафинированного масла

Несмотря на небольшое количество образцов, система показала свою эффективность, поэтому было решено проверить стабильность отклика при определении фосфатидов в нерафинированных подсолнечных маслах, полученных в реальных производственных условиях, для этого было взято 5 образцов нерафинированного подсолнечного масла торговых марок «Селяночка», «Благо», «Каждый день», «Элва» и «Слобода».

Содержание фосфатидов в данных пяти образцах было определено по ГОСТ фотометрическим методом, а затем с помощью метода мультисенсорной потенциометрии измерена разность потенциалов в водно-спиртовых эмульсиях на основе этих масел.

Для расширения экспериментальной базы образцов нерафинированного масла, на основе пяти образцов торговых марок было дополнительно приготовлено 20 модельных образцов с добавлением заданного количества фосфатидов до $2267,2 \text{ мг/100 г}$. На основе полученных данных были созданы ПЛС-модели для низких (рис. 3) и высоких (рис. 4) концентраций фосфатидов в образцах нерафинированных масел.

Для модели с низким содержанием фосфатидов ошибка прогнозирования составила $0,17 \log C$, при этом образец 1.4 был удален как выброс.

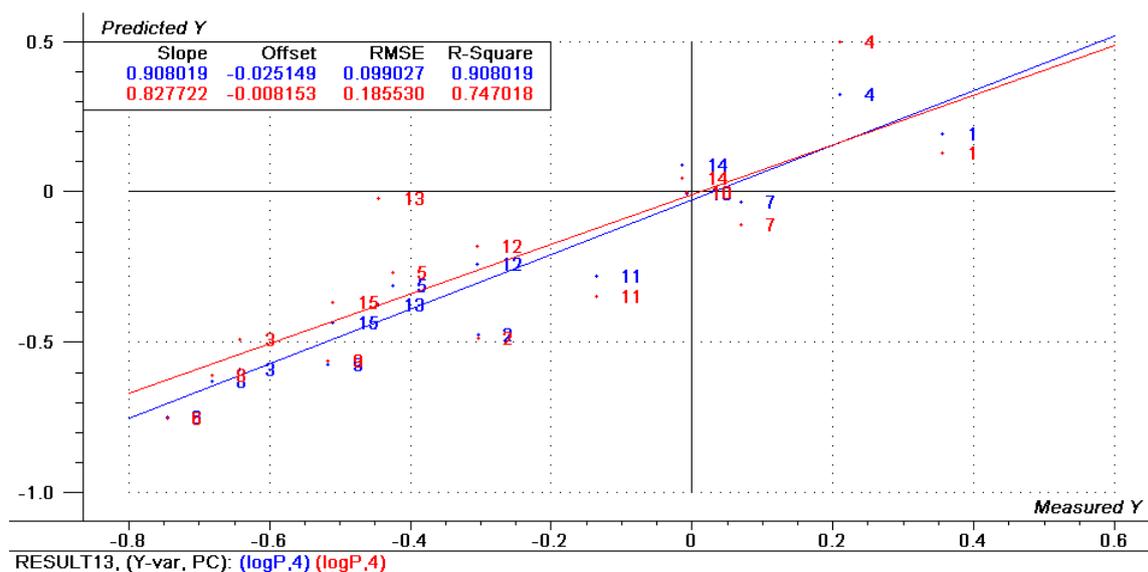


Рис. 3. График для ПЛС модели прогнозирования с низким содержанием фосфатидов в образцах подсолнечных нерафинированных масел

Для модели с высоким содержанием фосфатидов среднее квадратичное отклонение – 0,19 logC. Образец 5.3 был удален как выброс.

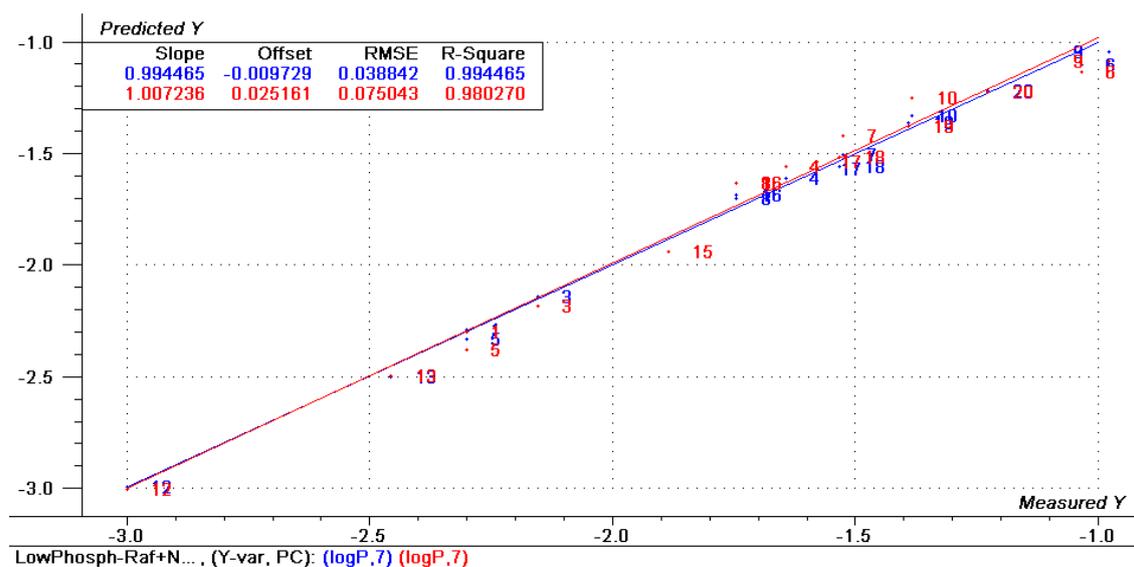


Рис. 4. График для ПЛС модели прогнозирования с высоким содержанием фосфатидов в образцах подсолнечных нерафинированных масел

На заключительном этапе на основе результатов всего интервала концентраций была создана объединенная модель по образцам с низким содержанием фосфатидов для рафинированных и нерафинированных масел, изображенная на рис. 5. В конечной объединенной модели были исключены два выброса: образец 1.4 из нерафинированных, и образец 3 из рафинированных. Среднее квадратичное отклонение составило 0,08 logC. Если пересчитать полученное итоговое логарифмическое значение в концентрацию фосфатидов, относительная ошибка составит 17,59%, что значительно меньше, чем относительная погрешность определения стандартным фотометрическим методом по ГОСТ, составляющая 80% в определяемом диапазоне концентраций.

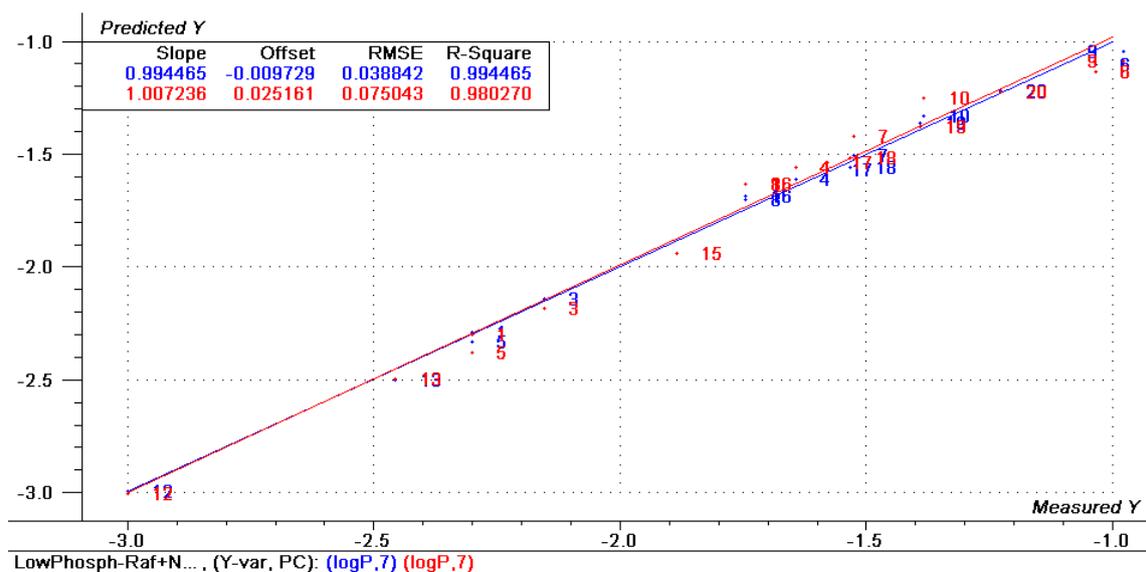


Рис. 5. График для объединенной ПЛС модели прогнозирования с низким содержанием фосфатидов в образцах подсолнечных рафинированных и нерафинированных масел

При анализе данных, представленных на градуировочных графиках, можно сделать вывод, что при определении численного содержания фосфатидов наибольшей стабильностью отличаются отклики сенсоров при анализе подсолнечных масел с низким содержанием фосфатидов. Так, среднеквадратичное отклонение в объединенной проверке с низкими концентрациями составило $0,08 \log C$, а в проверке модели с высоким содержанием фосфатидов – $0,19 \log C$, что незначительно больше, чем в модели с низкими концентрациями.

Как известно, фосфатиды являются поверхностно-активными веществами и имеют свойство в растворах образовывать мицеллы. Причина тому – наличие в молекуле сильно полярной группы и гидрофобного радикала. Поэтому, в момент образования мицелл, гидрофильные группы окружены гидрофильными, гидрофобные – гидрофобными. Такой процесс, когда появляется предел концентрации, при котором начинают образовываться мицеллы, имеет название критической концентрации мицеллообразования. При дальнейшем увеличении концентрации фосфатидов в модельных экспериментальных образцах подсолнечных нерафинированных масел повышается вязкость эмульсии и образуется стойкий осадок, что способствует «отравлению» сенсоров электродов при погружении их в анализируемый раствор, а также к ухудшению их чувствительности и снижению времени отклика [5]. Однако, данное свойство является не критичным, т.к. содержание фосфатидов в реальных подсолнечных маслах составляет от 0 до 0,8% [1], а метод мультисенсорной потенциометрии показывает стабильные результаты в диапазоне данных концентраций.

Таким образом, было проанализировано 34 образца подсолнечных масел (9 рафинированных и 25 нерафинированных) и в процессе исследования была подтверждена эффективность метода мультисенсорной потенциометрии для количественного определения фосфатидов в водно-спиртовых эмульсиях на основе подсолнечных масел в интервале концентраций аналита от 0,001% (1 мг/100 г) до 2,3% (2267,18 мг/100 г).

Полученные данные являются основой проведения дальнейших исследований по изучению эффективности использования метода мультисенсорной потенциометрии для совместного экспресс-определения физико-химических параметров качества растительных масел.

Литература

1. ГОСТ 1129-2013 Масло подсолнечное. Технические условия. Введен 01.07.2014. М.: Стандартинформ. 2019. 15 с.
2. ГОСТ 31753-2012 Масла растительные. Методы определения фосфорсодержащих веществ. Введен 01.07.2013. М.: Стандартинформ. 2013. 11 с.
3. Semenov V., Volkov S., Khaydukova M., Fedorov A.V., Lisitsyna I., Kirsanov D., Legin A.V. Determination of three quality parameters in vegetable oils using potentiometric e-tongue // Journal of Food Composition and Analysis, 2019, Vol. 75, P. 75-80
4. Лисицын А.Н., Волков С.М., Федоров А.В., Довгальок И.В., Новоселов А.Г., Поздеева Ю.В., Кирсанов Д.О., Легин А.В. Прогнозирование показателей качества подсолнечных масел по данным потенциометрических мультисенсорных измерений в водно-спиртовых эмульсиях // Вестник ВНИИЖ. 2019. № 1-2. С. 18-22.
5. Неудачина Л.К., Петрова Ю.С. Применение поверхностно-активных веществ в анализе: [учеб. пособие] / Минобр науки РФ, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2017. 76 с.

Шелеманов Андрей Александрович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

студент группы №L42272с,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: shelemanov@mail.ru

Евстропьев Сергей Константинович

Год рождения: 1961

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

к.х.н., доцент,

e-mail: evstropiev@bk.ru

УДК 535.37; 544.225.22

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА НА ФОРМИРОВАНИЕ
ФОТОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ ZnO-MgO**

А.А. Шелеманов

Научный руководитель – к.х.н., доцент С.К. Евстропьев

Аннотация

В работе приведены результаты исследований влияния поливинилпирролидона на структуру и оптические свойства ZnO-MgO нанокomпозитов, полученных полимерно-солевым методом. Синтезированные нанокomпозиты исследованы методами оптической и люминесцентной спектроскопии и рентгенофазового анализа. Увеличение содержания этого полимера в растворах приводит к уменьшению размеров формирующихся кристаллов ZnO, увеличению интенсивности люминесценции ZnO-MgO нанокomпозитов в синей части спектра и к ее подавлению в длинноволновой части. Эффективность фотогенерации синглетного кислорода ZnO-MgO нанокomпозитами, полученными полимерно-солевым методом, возрастает при повышении содержания поливинилпирролидона в исходных растворах.

Ключевые слова

Люминесценция, спектры, кристаллы, ZnO, синглетный кислород.

Твердые растворы ZnO-MgO являются широкозонными полупроводниковыми материалами ($E_g \sim 3\div 5$ эВ) [1], обладающими высокой прозрачностью в УФ области спектра, химической стойкостью и твердостью. Атомные размеры Mg и Zn и длины связей Mg-O и Zn-O близки между собой, что обеспечивает низкую дефектность структуры композитов на их основе и хорошие перспективы создания различных квантоворазмерных гетероструктур современной оптики, оптоэлектроники и электроники на основе таких твердых растворов. В [2] была показана высокая эффективность генерации химически активного синглетного кислорода слоями фотоактивного ZnO-MgO нанокomпозита в микрокапиллярных оптических элементах. Процесс фотокатализа преобразует поверхность фотокатализатора в сильный окислитель, который разлагает органический загрязнитель на неорганические соединения. На рис. 1 представлена схема фотокатализа ZnO

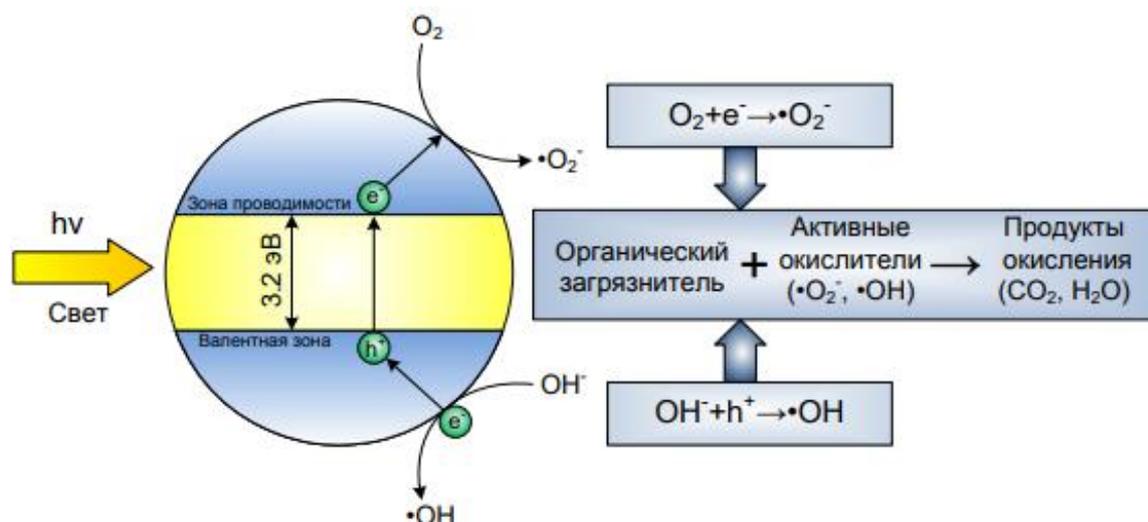


Рис. 1. Схема образования свободных радикалов на поверхности фотокатализатора ZnO под действием света

Для синтеза ZnO-MgO наноматериалов был использован полимерно-солевой метод при применении в качестве стабилизирующего компонента поливинилпирролидона (ПВП). Этот растворимый полимер, широко применяемый для стабилизации в растворах различных наночастиц, химически взаимодействует и образует комплексы с наночастицами и ионами металлов (Zn²⁺; Ag⁺; Co²⁺; Ni²⁺) [3].

Полимерно-солевой является одним из самых простых, не затратных методов формирования покрытий, позволяющий получать сложные оксиды на поверхности подложки. Для увеличения вязкости и адгезии к поверхности используют высокомолекулярные органические вещества природного или синтетического происхождения. В данной работе был использован поливинилпирролидон.

Для синтеза растворов, из которых в дальнейшем были получены нанокомпозиты, были использованы химически чистые (ХЧ) шести водные соли нитрата цинка (Zn(NO₃)₂·6H₂O) и нитрата магния (Mg(NO₃)₂·6H₂O). Также в исходных растворах был использован поливинилпирролидон (ПВП) (Mw=1300000; Sigma-Aldrich). В качестве растворителя использовались изопропиловый спирт и дистиллированная вода, отношение объемов для каждого из растворов 1:1. В табл. 1 указаны химические составы растворов.

Таблица 1

Химический состав растворов без серебра

Образец	Химический состав растворов, вес%				
	H ₂ O	PVP	Спирт	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O
100	51,916	2,596	40,962	4,077	0,449
50	52,599	1,315	41,501	4,131	0,455
25	52,947	0,662	41,775	4,158	0,468
0	53,300	0	42,054	4,186	0,461

Синтез растворов с серебром аналогичен синтезу без серебра, Различие заключается в добавлении в раствор нитрата серебра (I) (AgNO₃), в данном случае, был

взяты химически чистый нитрат серебра, все остальные компоненты такие же, как и при синтезе растворов без серебра. Нитрат серебра добавлялся в пропорции 0,1 г на 200 мл раствора. В табл. 2 приведен химический состав растворов с нитратами цинка, магния и серебра. Названия образцов аналогичны растворам без серебра. Всего было синтезировано по 800 мл каждого раствора.

Таблица 2

Химический состав растворов с серебром

№	Химический состав растворов, вес%					
	H ₂ O	PVP	Спирт	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	AgNO ₃
100Ag	51,889	2,594	40,941	4,075	0,449	0,0519
50 Ag	52,571	1,314	41,479	4,129	0,454	0,0526
25 Ag	52,919	0,661	41,753	4,156	0,457	0,0529
0 Ag	53,271	0	42,01	4,184	0,460	0,0533

В процессе сушки растворов при 70 градусах были нанесены пленки капельным методом и методом окунания. Растворы и пленки после высыхания прошли термообработку в течение двух часов при 550°C. Это обеспечило полное разложение солей металлов и ПВП. Отношение массы ZnO к массе MgO порошках 10:1

Для исследования структуры и размеров нанокompозитов был проведен рентгенофазовый анализ (РФА) полученных порошков. Измерения проводились на дифрактометре Rigaku Ultima IV. Диапазон углов 2θ от 30 до 100 градусов.

Для измерения значения ширины запрещенной зоны было использовано уравнение Тауца (1).

$$(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu), \quad (1)$$

где α – оптическая плотность, h - постоянная Планка, ν – частота излучения.

Для этого были получены зависимости оптической плотности пленок от длины волны анализирующего излучения. Измерения проводились на спектрофотометре Perkin Elmer Lambda 900. Диапазон длин волн: от 250 до 800 нм..

Для получения спектров фотогенерации синглетного кислорода порошки ZnO-MgO и ZnO-MgO-Ag были облучены $\lambda_{\text{возб}}=370\text{нм}$ и $\lambda_{\text{возб}}=405\text{нм}$. Был получен спектр люминесценции в области $\lambda_{\text{max}}=1270\text{нм}$ [2]. Для возбуждения использовались светодиоды серии HPR40E-50UV ($\lambda_{\text{возб}}=370\text{нм}$; плотность мощности 0.35 Вт/см²) и ($\lambda_{\text{возб}}=405\text{нм}$; плотность мощности 0.90 Вт/см²).

Для материалов ZnO-MgO-Ag были проведены исследования антибактериальных свойств методом диффузии в агар. Данный метод и указания к нему указаны в [4].

Рентгенофазовый анализ показал, что полученные порошки обладают высокой кристаллическостью (высокий процент порошка оказался кристаллической структуры). На рис. 2 видны многочисленные пики гексагональных кристаллов ZnO со структурой вюрцита (JCPDS 36–1451). Пики кристаллического MgO практически неразличимы, однако, можно утверждать, что MgO обладает кубической структурой периклаза (JCPDS 45-0946). Пики металлического серебра хорошо проглядываются на всех дифрактограммах.

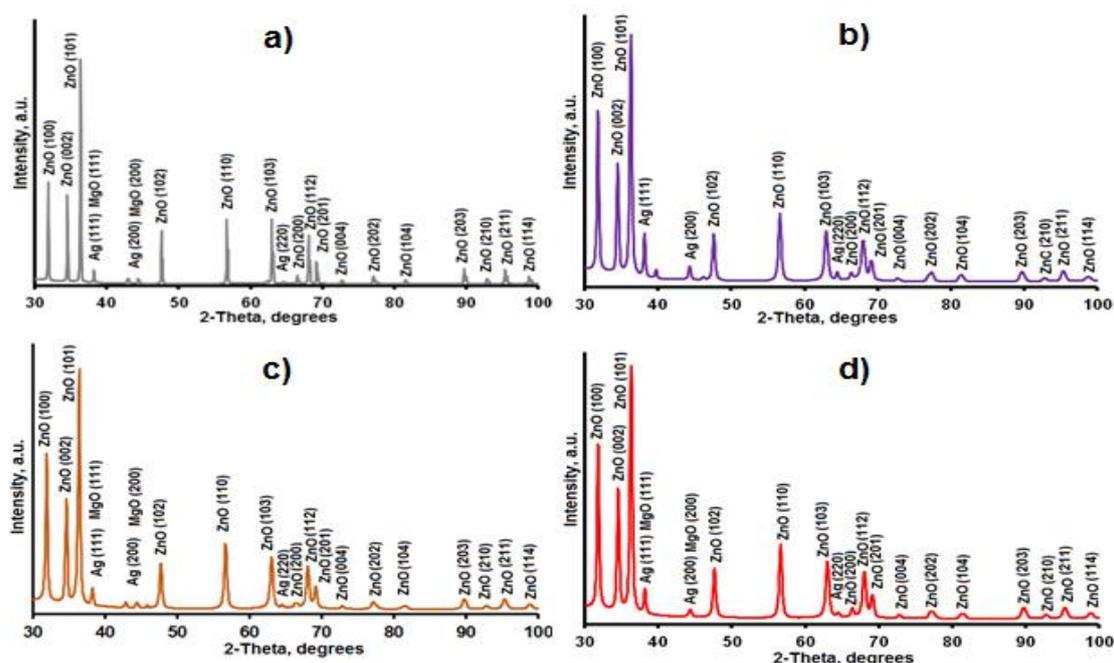


Рис. 2. Дифрактограммы ZnO-MgO-Ag порошков, полученных из растворов 0 Ag (a); 25 Ag (b); 50 Ag (c); 100 Ag (d)

По графику зависимости размера кристаллов ZnO-MgO-Ag от содержания ПВП в начальных растворах на рис. 3 видно, что добавление 25% от максимальной концентрации ПВП, уменьшает размер кристаллов более чем в 50 раз. Дальнейшее увеличение ПВП не приводит к столь же значимому эффекту.

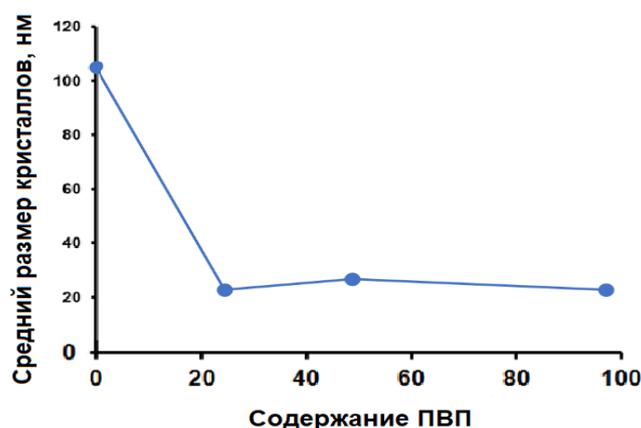


Рис. 3. Зависимость среднего размера кристаллов ZnO в оксидных композитах от ПВП в исходных растворах

Исследование на SEM показали, что размер частиц уменьшается с 10-20 мкм (0 Ag) до 20-30 нм (100 Ag). Размер частиц в образце 100 Ag очень близок по значению, полученным при анализе методом рентгеновской дифракции. Изображения с SEM показали более существенное изменение размера частиц, чем метод РФА.

Ширина для всех пленок оказалась примерно равной и находилась в диапазоне 4,2–4,3 эВ (рис. 4). Следовательно, ширина запрещенной E_g^{eff} зоны не зависит от концентрации ПВП в начальных растворах и в покрытиях. Однако, значение ширины

запрещенной зоны данных нанокompозитов существенно превосходит ширину запрещенной зоны чистого оксида цинка (3,36 эВ) и практически равно ширине запрещенной зоны ZnO-MgO композитов, полученных ранее методом молекулярно-лучевой эпитаксии [5] и жидкостным методом.

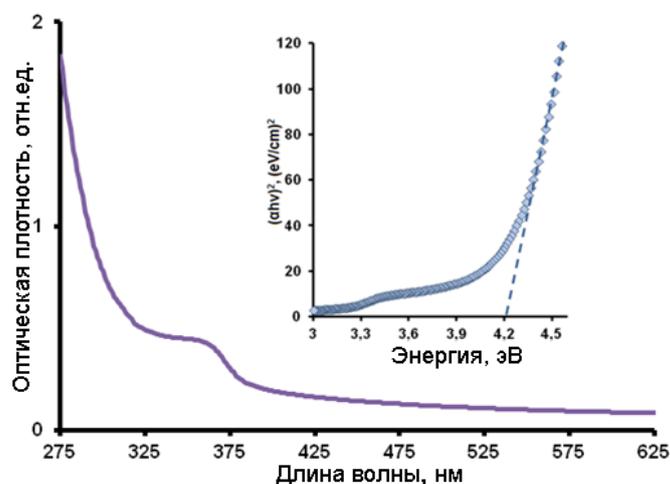


Рис. 4. Спектр поглощения стекла с покрытием, полученным из раствора 125–50. Вставка: Зависимость $(ahv)^2 = f(hv)$ для материала ZnO-MgO покрытия

Спектры люминесценции при генерации активного кислорода были сняты также для порошков ZnO-MgO-Ag. Графики данных спектров приведены на рис. 5. Как и в предыдущем разделе, морфология нанокompозитов изменяется при добавлении и дальнейшем увеличении ПВП. Изменения заключаются в уменьшении размеров частиц, следовательно, увеличение эффективности генерации активного кислорода в этом случае соответствует теории. Дополнительно можно заметить, что относительная интенсивность пика при накачке 405 нм выше, чем при возбуждении 385 нм. Это можно объяснить большей энергией голубого светодиода, по сравнению с ультрафиолетовым.

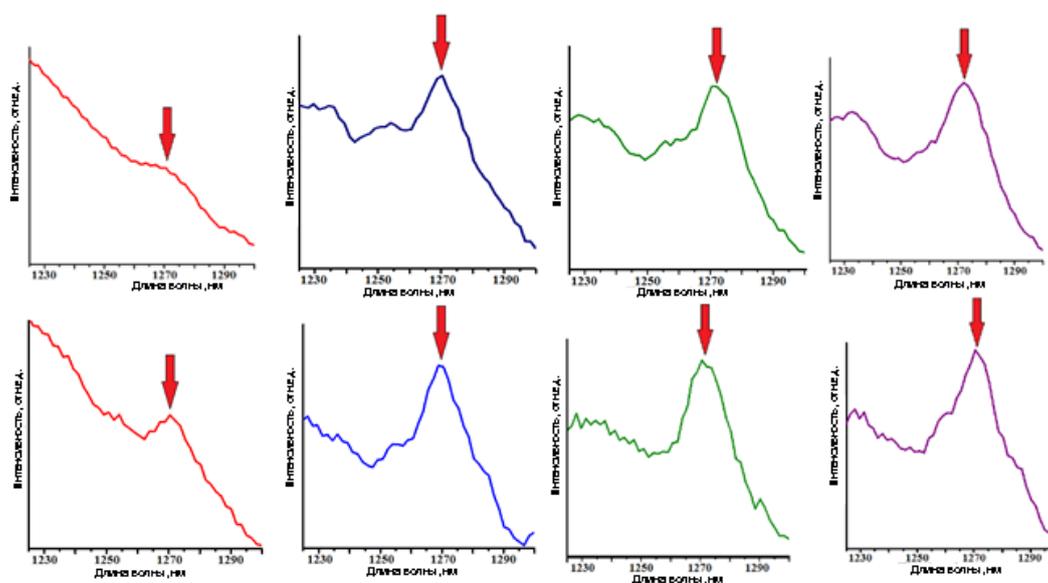


Рис. 5. Спектры фотолуминесценции генерации синглетного кислорода ZnO-MgO-Ag; $\lambda_{\text{возб}}=385\text{нм}$ (верхний ряд) и 405нм (нижний ряд) 0 Ag (красные кривые); 25 Ag (синие); 50 Ag (зеленые); 100 Ag (фиолетовые)

Все подготовленные материалы оказывают антибактериальное действие против грамотрицательных и грамположительных бактерий. Эффективность антибактериальных свойств определяется по размеру зоны свободных от бактерий. В результате данного эксперимента получена зависимость размера зоны без бактерий от содержания ПВП в исходных растворах, представленная на рис. 6. Ранее было выведено, что размер частиц ZnO-MgO-Ag уменьшается, при увеличении концентрации ПВП. По полученной зависимости и по выводам из предыдущих разделов следует, что при уменьшении размеров частиц увеличивается эффективность антибактериальных свойств.

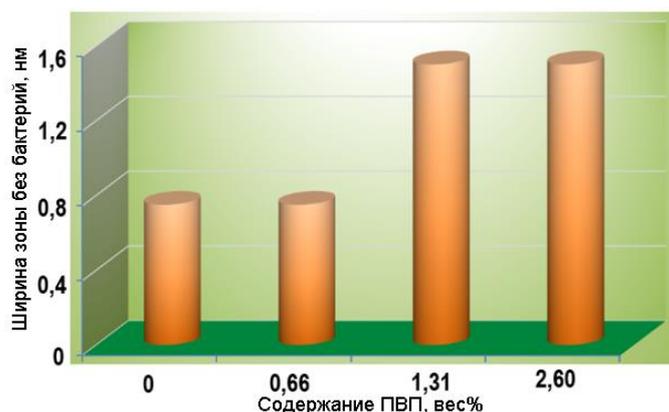


Рис. 6. Зависимость размера зоны свободной от бактерии от концентрации ПВП в начальных растворах

По итогам работы были сделаны выводы о том, что ПВП существенно влияет на размер кристаллов, уменьшая их размер (до более чем в 50 раз). ПВП оказывает существенное влияние на ширину запрещенной зоны, увеличивая ее до 4,3 эВ для ZnO. Эффективность фотогенерации активного кислорода увеличивается, при увеличении концентрации ПВП в начальных растворах. Это объясняется увеличением удельной поверхности образцов; Антибактериальные свойства ZnO-MgO-Ag против грамотрицательных и грамположительных бактерий усиливаются при увеличении концентрации ПВП. Это является следствием увеличения удельной поверхности материалов и было показано экспериментально. В дальнейшем имеет смысл провести анализ влияния MgO на структуру нанокomпозитов и провести исследование зависимости интенсивности генерации синглетного кислорода от длины волны возбуждающего излучения.

Литература

1. Skinner A.J., Lafemina J.P. Surface atomic and electronic structure of ZnO polymorphs // Phys. Rev. B: Condens. Matter Mater. Phys. 1992. No. 45. P. 3557 – 3564.
2. Багров И.В., Киселев В.М., Евстропьев С.К., Саратовский А.С., Демидов В.В., Матросова А.С. Генерация синглетного кислорода в микрокапиллярных оптических элементах с фотоактивными покрытиями // Опт. спектр. 2020. Т. 128. N 2. С.218 – 223.
3. Волкова Н.А., Евстропьев С.К., Никоноров Н.В., Евстропьев К.С. Особенности взаимодействия в водных растворах молекул поливинилпирролидона с ионами цинка и серебра по данным ИК спектроскопии // Опт. и спектр. 2019. N 4. С.687 – 690.
4. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам:

Методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 91 с.

5. Fujita S., Tanaka H., Fujita S. MBE growth of wide band gap wurtzite MgZnO quasi-alloys with MgO/ZnO superlattices for deep ultraviolet optical functions // J. Cryst. Growth. 2005. No. 278. P. 264 – 267.

Ширшин Александр Вадимович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

магистрант группы №R42771,

направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,

e-mail: asmdot@gmail.com

Шаветов Сергей Васильевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент (квалификационная категория «ординарный доцент»),

e-mail: s.shavetov@itmo.ru

УДК 004.93

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ
МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ**

А.В. Ширшин

Научный руководитель – к.т.н. С.В. Шаветов

Аннотация

В работе рассмотрена возможность применения технологий компьютерного зрения для обнаружения дефектов трёхмерной печати. Разработана система технического зрения на основе микрокомпьютерной техники и свободно распространяемого программного обеспечения, а также алгоритм обнаружения ошибок печати. Для выявления дефектов были использованы средства обработки изображений и методы кластеризации.

Ключевые слова

Компьютерное зрение, 3D-печать, обработка изображений, машинное обучение, кластеризация.

Необходимость создания системы компьютерного зрения для обнаружения дефектов трёхмерной (3D) печати в рамках настоящей работы была обусловлена, в первую очередь, потребностью в контроле качества изделий для медицинских нужд (макеты органов для обучения и предоперационного планирования, замещающие костные пластины из тугоплавких полимеров и т. п.). Особенности данного вида изделий являются относительно большие допуски (0,2–0,5 мм), а также длительное время печати (12–24 часа и более), в ходе которой необходим постоянный контроль за процессом производства для предотвращения косметических или фатальных дефектов.

За последние годы исследователями предпринимались попытки к разработке средств автоматизированного контроля процесса 3D-печати. В частности, J. Straub [1] использует обработку изображений, полученных с нескольких фотокамер, расположенных по периметру печатаемого объекта, а U. Delli et al. [2] для выявления возникающих в процессе печати дефектов (остановка печати, искажение формы) применяют фотофиксацию создаваемого изделия сверху, с последующим анализом изображения средствами машинного обучения. Несмотря на различный подход исследователей к решению проблемы автоматизации процесса 3D-печати, в указанных работах применяется сличение изображений печатаемого объекта с его полигональной моделью. В настоящем исследовании предлагается определение дефектов путём

сравнения получаемых данных с параметрами формы печатаемого слоя, взятыми из управляющих инструкций G-code.

Для реализации поставленных в работе задач была разработана система, основные аппаратные элементы и интерфейсы взаимодействия которой представлены на рис. 1.

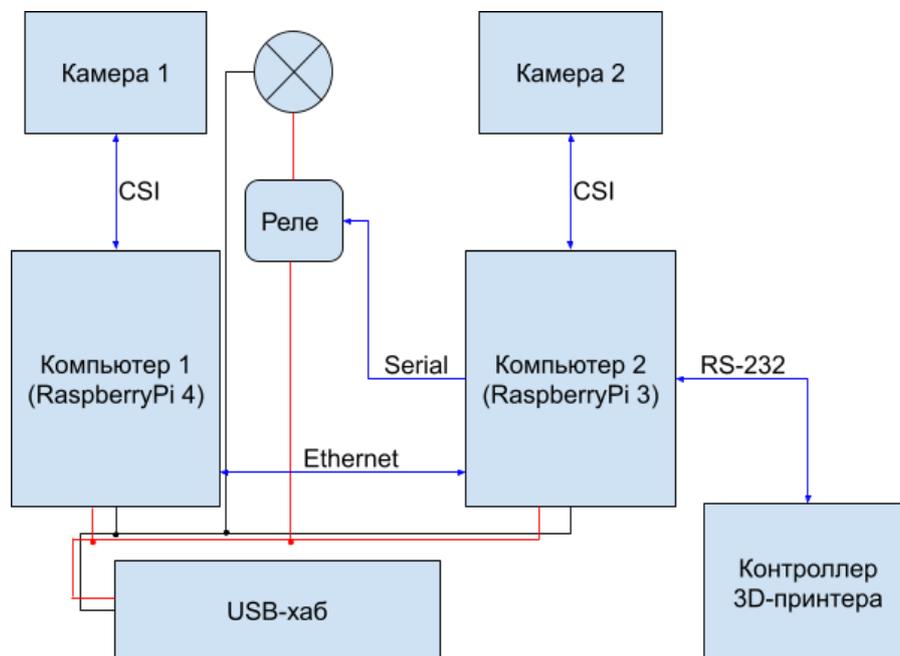


Рис. 1. Структурная схема системы обнаружения дефектов печати (CSI – Camera Serial Interface, RS – Recommended Standard, USB – Universal Serial Bus)

Алгоритм работы представленной системы включает следующие основные этапы:

1. Запуск печати на микрокомпьютере(МК)-клиенте (RaspberryPi 3).
2. Приостановка перед печатью следующего слоя.
3. Получение изображений и их передача на МК-сервер (RaspberryPi 4).
4. Проверка результатов предыдущего этапа.
5. Выполнение команд МК-клиентом (при необходимости).
6. Продолжение печати и обработка данных текущего слоя или остановка печати.

Для их реализации были использованы средства разработки ОС Raspbian (на базе ядра Linux), язык Python 3.8 и ряд сторонних библиотек (в т. ч. Picamera, Paramiko, RPi.GPIO).

Наиболее важными этапами работы системы являлись получение, обработка и анализ изображений печатаемого слоя.

Для получения с помощью цифровой камеры изображений, пригодных для дальнейшего анализа, необходимо произвести её калибровку, т. е. определение соотношений между точками фиксируемого объекта и их проекциями на светочувствительный элемент. Основным калибровочным параметром является матрица перехода, которая имеет вид:

$$K = \begin{pmatrix} \alpha_x & 0 & x_0 \\ 0 & \alpha_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где x_0 , y_0 – координаты центра камеры, коэффициенты α_x , α_y – фокусные расстояния камеры вдоль осей x и y , соответственно.

Также необходимо учитывать дисторсионные искажения (distortion), имеющие нелинейную зависимость от координат точки и определяемых уравнениями:

$$x'' = x' (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 2p_1 x' y' + p^2 (r^2 + 2x'^2), \quad (2)$$

$$y'' = y' (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1 (r^2 + 2y'^2) + 2p^2 x' y', \quad (3)$$

где k_1, k_2, p_1, p_2, k_3 — коэффициенты дисторсии, характеризующие оптическую систему; $r^2 = x'^2 + y'^2$; (x', y') — смещение проекции точки от центра изображения при отсутствии искажений и квадратных пикселях; (x'', y'') — искаженные координаты точки (при квадратных пикселях) относительно центра изображения.

Найденные матрица внутренних параметров и коэффициенты дисторсии в дальнейшем использовались для корректировки искажений (ректификации) каждого изображения, получаемого с откалиброванной камеры (при условии неизменного фокусного расстояния). Предварительная обработка получаемых изображений производилась путём фильтрации в пространственной области с целью выделения контуров, а также их морфологической обработки (эрозия, дилатация).

Изображения, прошедшие предварительную обработку, подвергались анализу, включающему проверку контуров и оценку текстуры заполнения. Алгоритм определения дефектов на основе получаемых изображений представлен на рис. 2.

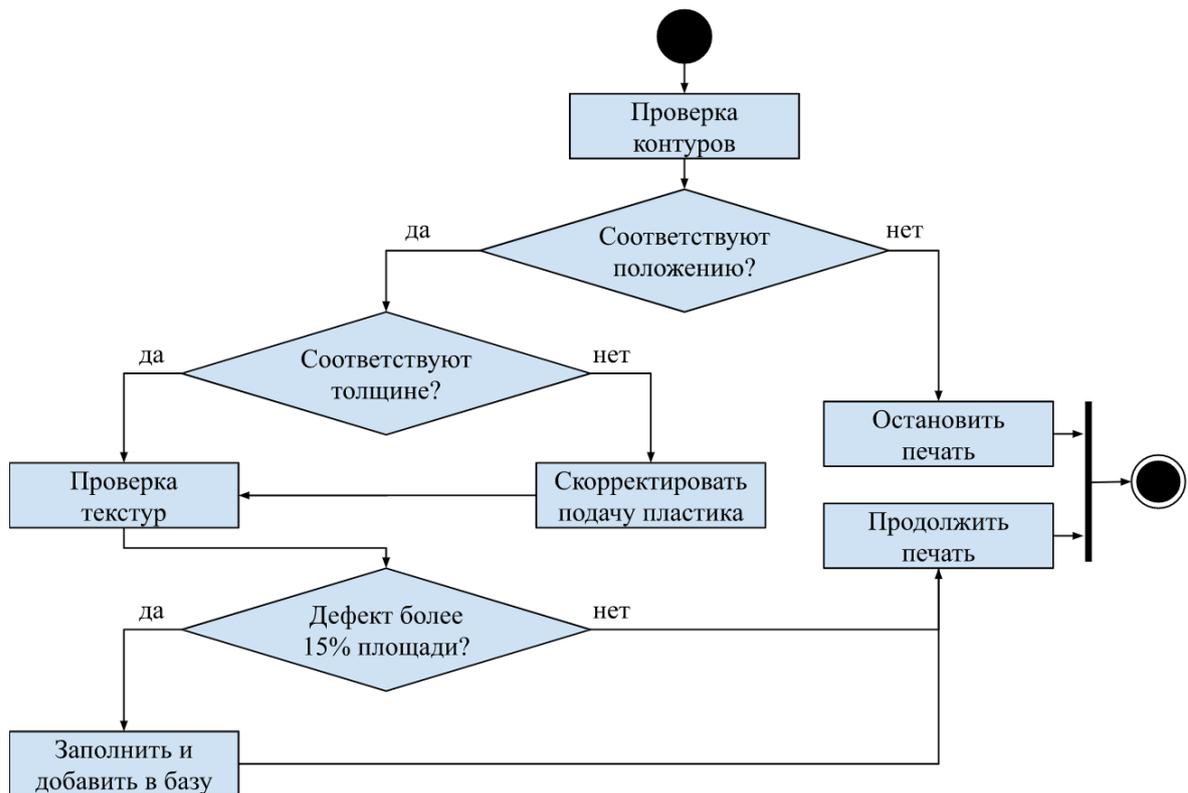


Рис. 2. Алгоритм выявления дефектов

Имея данные о траектории движения экструдера из G-кода и фактическом контуре, можно определить, есть ли несоответствие между реальной формой верхнего слоя и его эталонными границами, используя алгоритм мультишаблонного совпадения (Multi-Template Matching – MTM) [3] и итеративный алгоритм ближайших точек (Iterative Closest Point – ICP) [4]. MTM позволяет отслеживать грубые горизонтальные и

вертикальные смещения печатаемого изделия на основе бинарной карты (шаблона) слоя, полученной из данных G-кода, а алгоритм ICP определяет точное вращение и смещение в рамках небольшого диапазона отклонений.

Метод МТМ вычисляет карту корреляции между наружным контуром шаблона, полученного из G-code, и реальным изображением слоя. Поскольку алгоритм выполняет поиск, перемещая шаблон по изображению, он способен обнаружить только объекты с такой же ориентацией, что и шаблон, и может быть нечувствительным к поворотам (рис. 3).

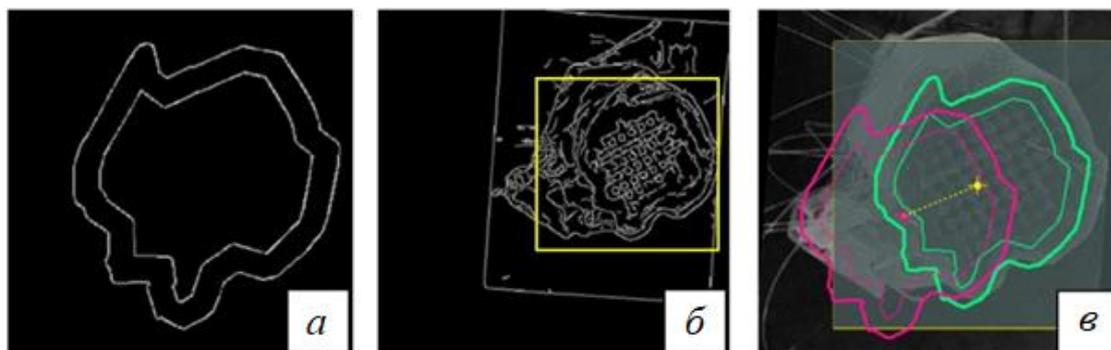


Рис. 3. Определение смещения детали на основе МТМ-алгоритма:
а – бинарная карта эталона контура, б - смещение изделия вследствие ошибки печати,
в – рассчитанное алгоритмом направление и расстояние смещения изделия

Алгоритм ICP направлен на поиск матрицы перехода между двумя облаками точек путем минимизации квадратичной ошибки соответствующих координат методом градиентного спуска. Итерационный алгоритм сходится, когда изначально выбранные позиции оказываются достаточно близки друг к другу (рис. 4).

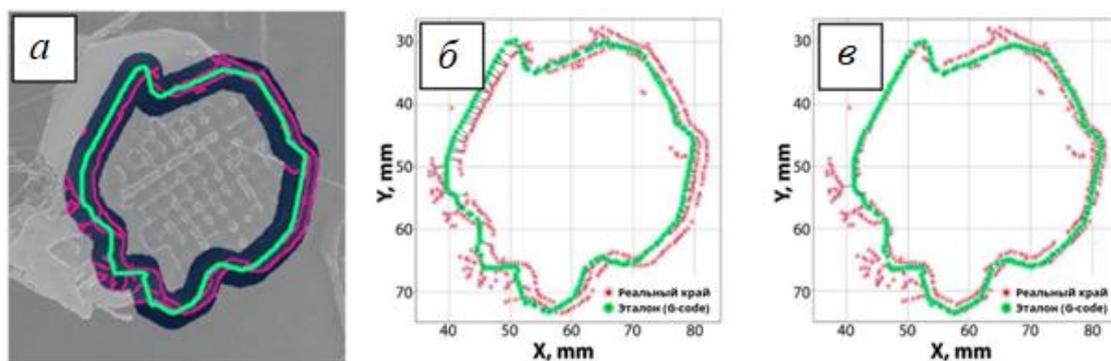


Рис. 4. Проверка совпадения контуров отдельного слоя на базе алгоритма ICP:
а – эталонный контур (зелёный) не совпал с фактическим (красный),
б – начальная итерация алгоритма ICP, в - конечная итерация алгоритма ICP

После сопоставления фактического и эталонного контуров производилось определение толщины печатаемого слоя путём определения диапазона распределения точек, соответствующих фактическому контуру от координат G-code. Превышение допустимых значений более чем на 1/2 диаметра сопла (0,2 мм) расценивалось как гиперэкструзия с последующей записью в журнал команды уменьшения подачи пластика.

Вторым этапом анализа печатаемого слоя являлась оценка текстуры заполнения. Для этого был использован текстонный подход к сегментации текстур, согласно которому текстура возникает из-за пространственного разблещения нормали поверхности

и оси светоотражения, определяемого свёрткой изображения со специальными фильтрами Ленга-Малика (LM-фильтрами) [5].

Прежде чем использовать данный подход, была подготовлена база текстур путём свертки изображений типичных структур заполнения с LM-фильтрами и применения к результатам кластеризации на основе смешанной гауссовской модели (GMM). В дальнейшем изображение каждого слоя также подвергалось свёртке и GMM-кластеризации. Так как один дефект может состоять из нескольких участков (рис. 5), к откликам, если площадь найденных дефектов превышала 15% площади слоя, дополнительно применялась агломеративная иерархическая кластеризация (АНС).

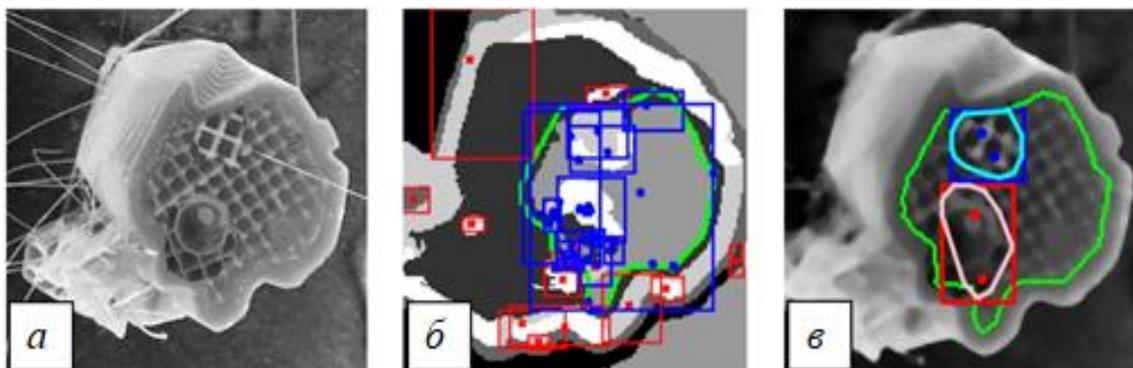


Рис. 5. Результаты сегментации слоя с дефектом:
а – исходное изображение; б – сегментированное изображение с отмеченным контуром заполнения (зелёный), внутренними текстурами (синие рамки) и наружными текстурами (красные рамки); в – отсегментированные дефекты (красная и синяя рамки) в области заполнения (зелёный контур)

Параметры АНС были подобраны экспериментально, на основе положения центроидов аномальных областей и расстояния между ними. Алгоритм также предполагает наличие одного или двух дефектных участков на слой.

Для проверки работоспособности элементов системы были отработаны её базовые функции с оценкой времени исполнения для двух типов изделий (геометрический примитив и изделие сложной формы). Результаты представлены в таблице (в скобках указано время анализа текстур на более производительном компьютере: процессор Intel Core i5-10210U, оперативная память 16 Гб, видеокарта NVIDIA GeForce GTX 1650):

Таблица

Временные показатели работы системы компьютерного зрения

Вид изделия	Время печати слоя, с	Время сбора данных, с	Время обработки, с	Время анализа контура, с	Время анализа текстур, с
Примитив	26	10	4	9	42 (23)
Изделие	98	10	4	14	107 (61)

В ходе работы была создана многокомпонентная вычислительная система, алгоритмы обработки данных и управления, а также их программное воплощение, благодаря которым реализована возможность идентифицировать дефекты печати в виде смещения, масштабирования печатаемого слоя, а также дефекты заполнения, включая гипо- и гиперэкструзию. Показатели времени исполнения алгоритмов свидетельствуют о том, что получение и обработку изображений, а также анализ контуров изделия можно

проводить в псевдо-реальном времени (за время печати следующего слоя), анализ текстур, в свою очередь, требует программной или аппаратной оптимизации.

В дальнейшей работе планируется применение методов компьютерного зрения для автоматизированной сегментации медицинских изображений различной модальности (компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ультразвуковых исследований) с целью повышения автономности процесса быстрого прототипирования изделий для нужд здравоохранения.

Литература

1. Straub J. Initial Work on the Characterization of Additive Manufacturing (3D Printing) Using Software Image Analysis // *Machines*. 2015. V. 3. № 2. P. 55-71.
2. Delli U., Chang S. Automated Process Monitoring in 3D Printing Using Supervised Machine Learning // *Procedia Manufacturing*. 2018. V. 26. P. 865–870.
3. Thomas L.S.V., Gehrig J. Multi-template matching: a versatile tool for object-localization in microscopy images // *BMC Bioinformatics*. 2020. V. 21. № 44. P. 1-8.
4. Chen Y., Medioni G. Object modelling by registration of multiple range images // *Image and Vision Computing*. 1992. V. 10. № 3. P. 145-155.
5. Leung T., Malik J., Representing and recognizing the visual appearance of materials using three-dimensional textons // *International Journal of computer vision*. 2001. V. 43. P. 29-44.

Мелешкина Алина Александровна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U5501,

направление подготовки: 38.05.02 – Таможенное дело,

e-mail: alinalinainana@yandex.ru

Антипов Антон Александрович

Год рождения: 1980

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.ф.н., доцент,

e-mail: aantipov80@itmo.ru

УДК 339.543

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ УСЛОВИЙ
ТАМОЖЕННЫХ ПРОЦЕДУР ПЕРЕРАБОТКИ В ЗОНЕ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЗТУ**

А.А. Мелешкина

Научный руководитель – к.ф.н., доцент А.А. Антипов

Аннотация

В работе рассмотрен порядок таможенного контроля за соблюдением условий применения таможенных процедур переработки. Проанализирована практика применения таких таможенных процедур в регионе деятельности Северо-Западного таможенного управления в 2016–2020 годах, рассмотрена судебная практика, выявлены наиболее часто встречающиеся составы административных правонарушений. Выявлены существующие на настоящий момент проблемы и сдерживающие факторы, снижающие эффективность таможенного контроля за применением таможенных процедур переработки, предложены возможные направления совершенствования.

Ключевые слова

таможенные процедуры, таможенный контроль, переработка на таможенной территории, переработка вне таможенной территории, переработка для внутреннего потребления.

Внешнеторговая деятельность и международное разделение труда непосредственно связаны с трансграничным перемещением товаров, осуществление которого невозможно без помещения товаров под таможенные процедуры. При этом необходимо отметить, что помимо торговли готовыми товарами внешнеторговые операции могут осуществляться в том числе в отношении таких товаров, получение конечного продукта из которых требует их переработки. Именно необходимость нормативной регламентации процессов создания, переработки, обработки различных товаров в рамках международного разделения труда привела к созданию в современном таможенном законодательстве отдельного вида таможенных процедур – таможенных процедур переработки.

Использование таможенных процедур переработки создает для национальных субъектов хозяйствования дополнительные возможности для участия в процессе международного разделения труда, стимулирует предпринимательскую активность, оказывает положительное действие на экономическое развитие государства, так как

происходит задействование национальных производственных мощностей.

Важность таможенных процедур переработки для экономического развития государств-членов Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС) подчеркивается в том числе и представлением при их использовании льгот в области уплаты таможенных платежей. В ходе таможенного контроля за применением таких таможенных процедур одной из задач таможенных органов (далее – ТО) является обеспечение недопущения неправомерного использования льгот, проникновения на внутренний рынок ЕАЭС товаров в обход установленных мер таможенно-тарифного регулирования. При этом в силу того, что недобросовестные участники внешнеэкономической деятельности (далее – ВЭД) с каждым годом находят новые способы обхода положений законодательства о таможенном регулировании, необходима также своевременная актуализация, доработка и совершенствование таможенного контроля.

Таможенный контроль за соблюдением условий таможенных процедур переработки осуществляется как на этапе до выпуска товаров, так и в рамках таможенного контроля после выпуска, как правило, ТО, выдавшим разрешение на переработку товаров, а также ТО, в регионе деятельности которых планируется ввоз, вывоз товаров, продуктов переработки, совершение операций по распоряжению отходами, остатками. Также контроль за соблюдением условий таможенных процедур осуществляют региональные таможенные управления, аккумулируя статистические данные об их применении в своем регионе деятельности и осуществляя ведомственный контроль за деятельностью подчиненных ТО.

В рамках исследования была проанализирована практика применения таможенных процедур переработки в регионе деятельности Северо-Западного таможенного управления (далее – СЗТУ) в 2016-2020 годах. Необходимо отметить, что таможенная процедура переработки для внутреннего потребления (далее – ПДВП) за анализируемый период не заявлялась ни разу, что, вероятно, связано с рядом законодательно установленных ограничений: наличием закрытого перечня товаров, в отношении которых таможенная процедура может заявляться, а также сложностью выполнения условия, предусмотренного подпунктом 3 пункта 1 статьи 189 таможенного кодекса ЕАЭС, так как Единый таможенный тариф ЕАЭС построен по принципу тарифной эскалации, то есть предполагает увеличение ставки ввозной таможенной пошлины при увеличении степени обработки товара. Остановившись на практике применения ПНТТ и переработки вне таможенной территории (далее – ПВТТ) очевидно, что ПВТТ применяется в значительной степени более широко: в среднем, за анализируемый период в год выдавалось в три раза больше разрешений на ПВТТ, чем на ПНТТ (рис. 1).

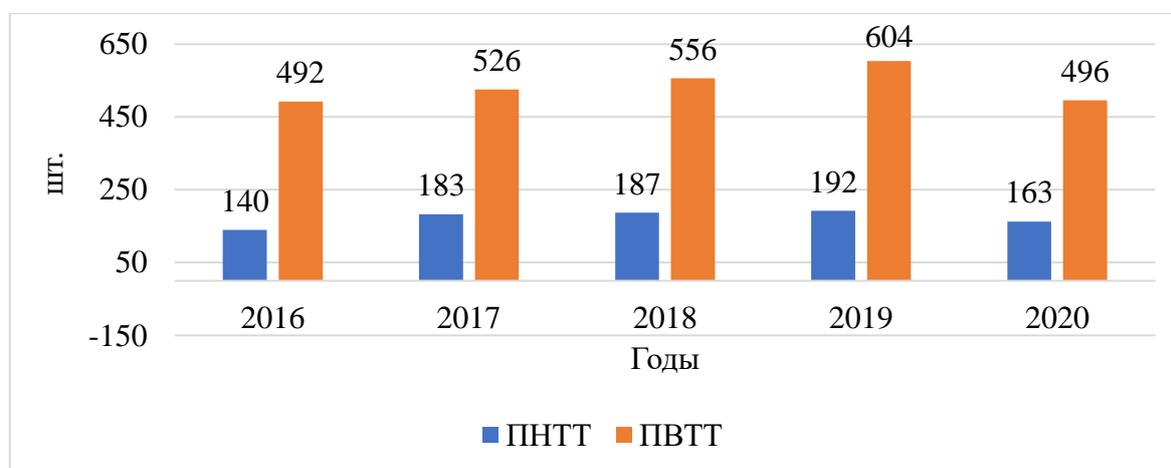


Рис. 1. Динамика количества выданных в регионе деятельности СЗТУ разрешений на ПНТТ и ПВТТ в 2016–2020 гг.

Кроме того, абсолютное большинство товаров помещается под таможенные процедуры переработки с целью совершения ремонтных операций различного характера. При этом в случае с ПВТТ на операции, не связанные с ремонтом, в среднем приходится менее 1% операций по переработке (рис. 2).

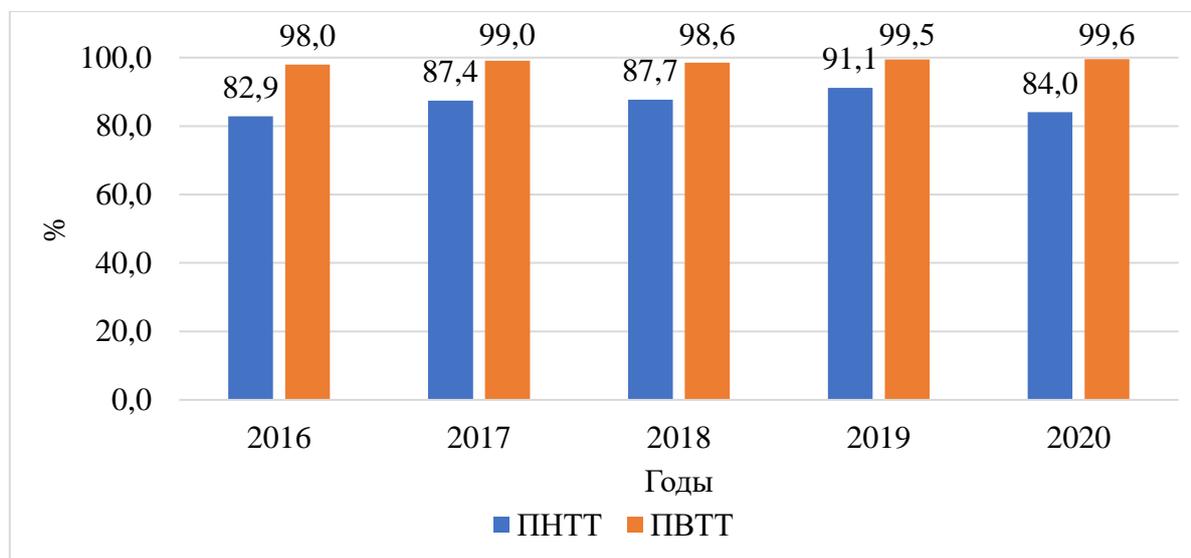


Рис. 2. Динамика долей ремонтных операций в общем количестве заявляемых операций по ПНТТ и ПВТТ в регионе деятельности СЗТУ в 2016–2020 гг.

Тем не менее, стоит отметить, что потенциал таможенных процедур переработки не ограничивается только ремонтом. В частности, более широкое применение ПНТТ для обработки, переработки, изготовления продуктов переработки из иностранных товаров позволило бы задействовать многие отрасли отечественной промышленности, как легкой, так и тяжелой, что способствовало бы дальнейшему развитию российской экономики. Одной из возможных причин высокой доли ремонтных операций в сравнении с прочими операциями по переработке может являться широкое использование в СЗФО и РФ в целом иностранных товаров и оборудования, осуществление ремонта которых на таможенной территории ЕАЭС не представляется возможным в силу отсутствия необходимых производственных мощностей.

Таможенные процедуры переработки предусматривают необходимость соблюдения ряда условий использования помещенных под них товаров, в связи с чем возрастает вероятность совершения участниками ВЭД правонарушений в данной области и, следовательно, появляется необходимость в осуществлении особенно тщательного таможенного контроля. Как показывает практика, наибольшее число правонарушений в сфере применения таможенных процедур переработки связано с несоблюдением таможенной процедуры: нарушением условий использования товаров в соответствии с таможенной процедурой и незавершением действия таможенной процедуры в установленных срок. Тем не менее, из данных рис. 3 видно, что количество таких правонарушений в СЗФО нельзя назвать значительным: за последние 5 лет в среднем совершалось менее 10 правонарушений в год. При этом в год в среднем выдавалось 707 разрешений на переработку. Из чего можно сделать вывод, что только около 1,4% лиц, получивших разрешение на переработку товаров, совершали административные правонарушения в области применения таких таможенных процедур.

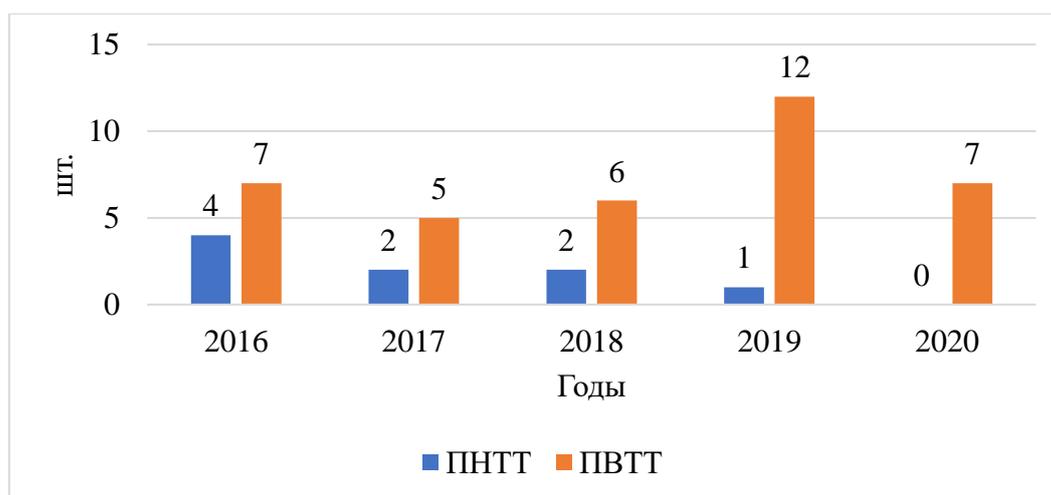


Рис. 3. Динамика количества административных правонарушений, связанных с применением таможенных процедур переработки в регионе деятельности СЗТУ в 2016–2020 гг.

Судебная практика в области применения и таможенного контроля за применением таможенных процедур переработки также складывается преимущественно в пользу ТО и состоит главным образом из дел по исковым заявлениям, предъявляемым участниками ВЭД к ТО. В исковых заявлениях участники ВЭД чаще всего оспаривают решения и постановления о привлечении к административной ответственности при:

1) недостоверном заявлении стоимости операций по переработке товаров, не включением в таможенную стоимость операций по переработке, повлекшее за собой занижение таможенной стоимости товаров и сумм таможенных платежей;

2) нарушении сроков представления в ТО отчетности о соблюдении условий таможенных процедур переработки;

3) пользовании и распоряжении товарами в нарушение таможенной процедуры (чаще всего – передача товаров лицам, не указанным в разрешении на переработку для совершения операций по переработке, а также совершение не поименованных в разрешении операций по переработке).

В ходе проведенного анализа судебной практики арбитражных судов и судов общей юрисдикции не было выявлено каких-либо существенных проблем в деятельности ТО, приводящих к принятию судами решений не в их пользу.

Тем не менее, осуществление таможенного контроля за применением таможенных процедур переработки и соблюдением лицами их условий сопряжено с рядом проблем, оказывающих негативное влияние на его эффективность. Остановимся на них подробнее:

1. Существование в нормативной базе лагун: несмотря на закрепленную в Федеральном законе №289-ФЗ необходимость утверждения порядка представления лицами отчетности о соблюдении условий таможенных процедур переработки, соответствующий порядок все еще не регламентирован [1]. Также не установлены сроки представления отчетности об окончательной выверке количества товаров, продуктов переработки для таможенных процедур ПВТТ и ПДВП. Еще одним проблемным моментом, на наш взгляд, является неточность в формулировках, касающихся представления в ТО отчетности о соблюдении условий помещения товаров под таможенные процедуры переработки. Так как в тексте закона напрямую не упомянуто начало течения второго и последующих сроков представления в ТО отчетности о соблюдении условий таможенных процедур переработки с момента представления предыдущей отчетности, некоторые участники ВЭД полагают, что соответствующий срок каждый раз отсчитывается с момента помещения товаров под таможенную

процедуру [1]. Подобное понимание законодательной нормы зачастую ведет к тому, что лицами нарушаются фактические сроки представления отчетности, за что они привлекаются ТО к административной ответственности в соответствии со статьей 16.15 КоАП РФ. Кроме того, одним из следствий неверной трактовки данной законодательной нормы и нарушения сроков представления отчетности является нарушение непрерывности таможенного контроля за соблюдением условий таможенных процедур переработки.

2. Отсутствие методической поддержки для должностных лиц ТО, принимающих решение о выдаче разрешения на переработку товаров в виде ДТ: решение о выдаче или отказе в выдаче соответствующих разрешений принимаются не специалистами профильных отделов (например, таможенных процедур и таможенного контроля), а выпускающими инспекторами. При этом выпускающий инспектор, в отличие от сотрудников профильных отделов, является «универсальным» специалистом, чаще всего не специализирующимся на конкретных таможенных процедурах. Кроме того, в сравнении со сроком рассмотрения заявления на переработку в виде отдельного документа, существенно ограничен и срок рассмотрения заявления на переработку в виде ДТ. Совокупность перечисленных факторов приводит к увеличению вероятности допущения выпускающим инспектором в процессе рассмотрения заявления на переработку ошибок, что может способствовать неправомерным выдачам разрешений на переработку либо неправомерным отказам в их выдаче.

3. Недостаточная проработанность вопроса об указании при получении разрешения на переработку товаров норм выхода продуктов переработки с отклонением на +/-: методические рекомендации ФТС России по получению участником ВЭД разрешения на переработку товаров (которые сами по себе не являются нормативно-правовым актом) предусматривают для участника ВЭД возможность указания в заявлении на переработку товаров норм выхода с отклонением на +/-, которые в последующем подлежат уточнению путем внесения в выданное разрешение на переработку соответствующих изменений. При этом отсутствует регламентация сроков, в которые участнику ВЭД необходимо обратиться в ТО с заявлением о внесении соответствующих изменений.

4. Отставание фактического распространения информационных технологий от плановых сроков: приказы Министерства финансов, утверждающие порядок выдачи разрешений на ПНТТ, ПВТТ и ПДВП [2, 3, 4] предполагают возможность получения участниками ВЭД разрешения на переработку через личный кабинет участника ВЭД на официальном сайте ФТС России, без необходимости представления в ТО документов на бумажном носителе, а также автоматическую регистрацию такого заявления в единой информационной системе ТО. Тем не менее, в регионе деятельности СЗТУ данная возможность на настоящий момент так и не реализована ВОПРОС, хотя в соответствии с текстом приказа необходимые изменения должны были быть внесены в единую информационную систему ТО к августу 2020 года. Также в настоящее время ведение учета ввозимых или вывозимых в рамках применения таможенных процедур переработки в ТО осуществляется в ручном порядке по каждому выданному разрешению на переработку, что не является эффективным подходом, так как сопряжено со значительным риском ошибок и неточностей из-за человеческого фактора. Кроме того, отсутствие единообразия в вопросе ведения подобного учета не позволяет создать единую базу данных, доступную для всех выпускающих инспекторов. Это приводит к тому, что по некоторым разрешениям на переработку оформляется большее количество товаров, чем предусмотрено в самом разрешении, то есть к нарушению таможенного законодательства ЕАЭС.

Для решения существующих проблем и оптимизации механизма таможенного контроля за применением таможенных процедур переработки предлагаются следующие

направления совершенствования:

1. Разработка приказа Министерства финансов для заполнения пробелов в нормативно правовой базе. В качестве основы предлагается использовать приказ ФТС России от 04.04.2019 №592, который регламентирует порядок представления отчетности о соблюдении условий таможенной процедуры временного ввоза (допуска). В приказе Минфина необходимо осветить следующие моменты: форму представления лицами отчетности (электронная и бумажная), системы, которые могут использоваться для представления отчетности (например, личный кабинет участника ВЭД). В качестве срока представления отчетности об окончательной выверке для ПВТТ и ПДВП предлагается использовать срок равный 30 календарным дням с момента завершения действия таможенной процедуры, так как именно такой срок установлен для ПНТТ. Также в приказ целесообразно добавить формулировку о факте начала течения второго и последующих сроков представления отчетности о соблюдении условий таможенных процедур переработки со дня представления в ТО предыдущей отчетности.

2. Дополнение Методических рекомендаций ФТС России по применению таможенной процедуры ПНТТ пунктом о необходимости внесения в разрешение на переработку уточнений при заявлении норм выхода с отклонением на +/- до момента подачи ДТ на продукты переработки, отходы, остатки.

3. Завершение практической реализации в регионе деятельности СЗТУ предусмотренных приказами Министерства финансов возможностей подачи заявлений на переработку и получения разрешений на переработку в электронном виде с использованием личного кабинета участника ВЭД. Подобная практика ускорит и упростит для участников ВЭД весь процесс получения разрешения на переработку, избавит их от необходимости пересылки документов на бумажных носителях, ускорит получение документов ТО.

4. Разработка программного средства для целей автоматизации учета количества ввозимых по каждому разрешению на переработку товаров в целях исключения практики ввоза или вывоза по разрешениям на переработку большего количества товаров, чем предусмотрено в разрешении.

5. Распространение практики проведения предварительного осмотра товаров с участием должностных лиц ТО до подачи ДТ для помещения товаров под таможенные процедуры переработки в целях сокращения времени, затрачиваемого на осуществление фактического контроля при перемещении товаров через таможенную границу ЕАЭС.

Литература

1. Федеральный закон «О таможенном регулировании в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 №289-ФЗ. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304093/ (дата обращения: 08.01.2021).
2. Приказ Минфина России от 14.01.2020 №5н «Об утверждении порядка выдачи разрешения на переработку товаров для внутреннего потребления, отзыва и аннулирования, восстановления разрешения на переработку товаров для внутреннего потребления...». Режим доступа: <https://www.alta.ru/tamdoc/20a00007/> (дата обращения: 16.01.2021).
3. Приказ Минфина России от 14.01.2020 №7н «Об утверждении порядка выдачи разрешения на переработку товаров вне таможенной территории, отзыва, аннулирования, восстановления разрешения на переработку товаров вне таможенной территории, формы заявления на переработку товаров вне таможенной...». Режим доступа: <https://www.alta.ru/tamdoc/20a00007/> (дата обращения: 16.01.2021).
4. Приказ Минфина России от 24.12.2019 №246н «Об утверждении порядка выдачи

разрешения на переработку товаров на таможенной территории, передачи разрешения на переработку товаров на таможенной территории, отзыва, аннулирования, восстановления разрешения на переработку товаров на таможенной территории...». Режим доступа: <https://www.alta.ru/tamdoc/19a00246/> (дата обращения: 20.01.2021).

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

Волоха Валерия Дмитриевна

Год рождения: 1997 год

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

студент группы №С42101,

направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные

технологии и системы связи,

e-mail: valerii.volokha@gmail.com

Гладилин Петр Евгеньевич

Год рождения: 1987 год

Университет ИТМО,

факультет цифровых трансформаций,

к.ф.-м.н., доцент, ординарный доцент,

e-mail: peter.gladilin@gmail.com

УДК 004.032.26, 004.932.72

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРЕСОВ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

В.Д. Волоха

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент П.Е. Гладилин

Аннотация

В работе предложен подход к определению интересов пользователя по изображениям из его профилей в социальных сетях, так как использование изображений в качестве источника интересов не представлено в литературе. Кроме того, в работе предложен метод улучшения точности выявления интересов с помощью обратной связи от пользователя, позволяющий выделять релевантные объекты среди обнаруженных объектов на изображениях.

Ключевые слова

Анализ профилей социальных сетей, анализ изображений, обнаружение объектов, глубокие нейронные сети, использование обратной связи.

Социальные сети пользуются большой популярностью у огромного числа интернет-пользователей. С помощью анализа профилей социальных сетей можно получить много информации о пользователях. Самым распространенным контентом в социальных сетях являются фотографии, однако исследований, где анализируются фотографии пользователей значительно меньше, чем исследований, где анализируют посты или отметки «мне нравится». Исследования, где анализировались бы фотографии, как источник интересов пользователей отсутствуют. В связи с этим, встает задача повышения эффективности методов прогнозирования интересов пользователей социальных сетей путем использования методов детектирования объектов на изображениях.

В данной работе для получения информации с изображений предлагается использовать методы детектирования и сегментации объектов. Для детектирования предлагается использовать модель Cascade R-CNN, так как существует необходимость детектировать как объекты маленького размера, так и большого, а данная модель показала свою эффективность для решения такой задачи [1]. Для сегментации предлагается использовать модель DeepLabV3+, так как данная модель способна

сегментировать не только простые объекты, но и, что более важно, фоновые объекты, такие как горы, море, снег и т. д., а такие объекты могут многое говорить об интересах пользователя [2].

Для обучения моделей предлагается использовать изображения из открытых наборов данных, таких как COCO-Stuff, ImageNet, Open Images и др. [3, 4, 5]. Помимо данных наборов, в работе также использовались более 5000 самостоятельно размеченных изображений. Разные наборы данных содержат аннотации в разном формате, что неудобно при их использовании для обучения одной модели, поэтому предлагается преобразовывать аннотации к общему виду по схеме, представленной на рис. 1.

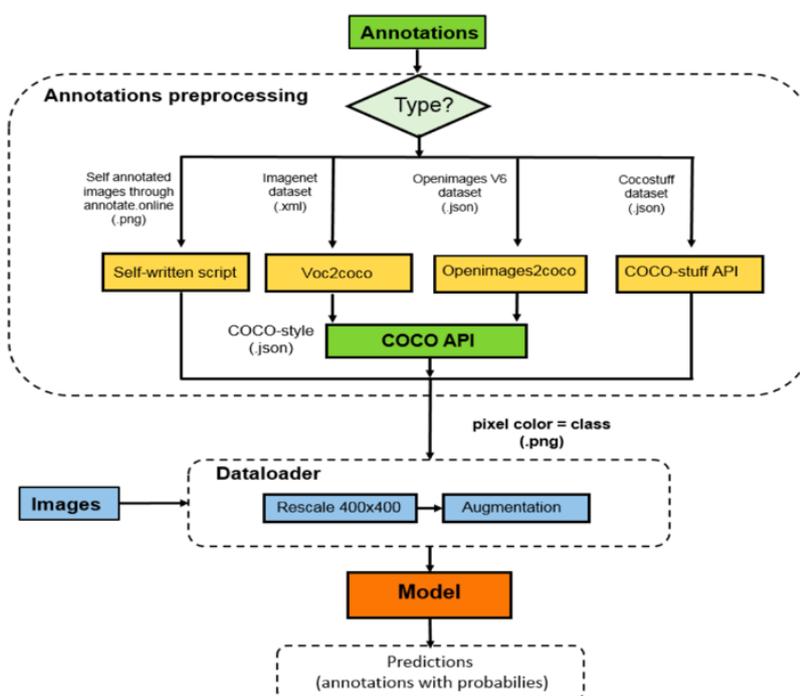


Рис. 1. Схема преобразования и использования аннотаций

Для определения смежных интересов была разработана онтология пользовательских интересов, представленная на рис. 2, которая является наглядным представлением рассматриваемых классов интересов и отражает иерархию интересов пользователей. На нижнем уровне онтология содержит классы объектов, которые могут быть обнаружены на изображениях, а верхнем уровне – глобальные интересы, по которым можно построить профиль пользователя.

На рис. 2 можно видеть большое количество групп интересов пользователей. Для того, чтобы покрыть все группы необходимо огромное количество изображений и классов объектов. Обучении одной модели на всех классах делает такую модель очень сложной, кроме того, набор интересов может изменяться и дополняться, что потребует полного переобучения модели. Необходимо было найти подход, позволяющий удобно поддерживать и дополнять модели. В качестве такого подхода в работе предлагается для каждой группы классов обучать отдельную модель, что позволит изменять только ту модель, которой касаются изменения. Более того, использование множества моделей позволяет улучшить точность детектирования каждого класса, так как уменьшение количества классов в рамках одной модели уменьшает количество ложных срабатываний в пользу других классов. Кроме того, предлагается разделять модель на сервисы, с которых агрегируются списки найденных классов, что позволит добавлять

новые группы классов без вмешательства в работу и логику других моделей и сервисов. На рис. 3 представлен принцип работы предлагаемой архитектуры.

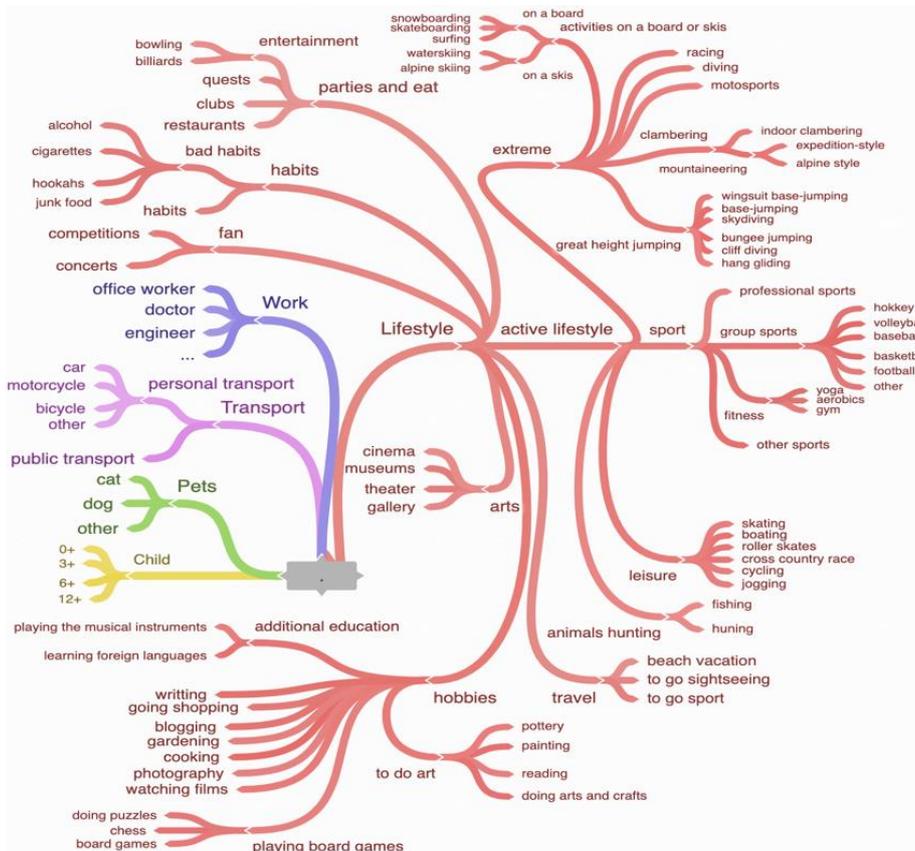


Рис. 2. Онтология пользовательских интересов

На собранных и замеченных данных было обучено 10 моделей для таких групп интересов, как «Зрелищные мероприятия», «Вредные привычки», «Спорт», «Экстрим», «Хобби», «Дети», «Животные», «Транспортные средства», «Путешественники» и «Фон». В таблице представлены результаты обучения моделей для каждой из групп и полученные точности обнаружения, сегментации и классификации. В скобках указана общепринятые обозначения используемых при оценке метрик.

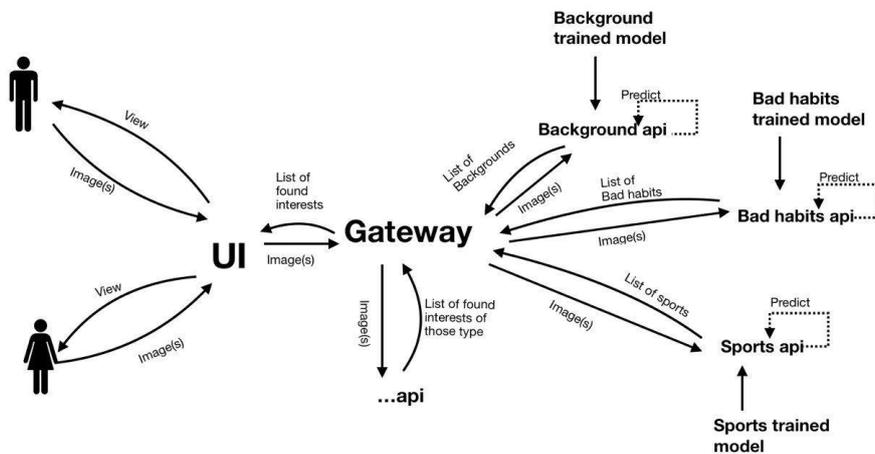


Рис. 3. Принцип разделения моделей на сервисы и взаимодействия между ними

Результаты обучения моделей

Группа классов	Средняя точность, %
Зрелищные мероприятия	80,9 (top-1 acc)
Вредные привычки	86,6 (AUC)
Спорт	83,7 (AUC)
Экстрим	87,5 (AUC)
Хобби	74,9 (AUC)
Дети	94,0 (AUC)
Животные	98,2 (AUC)
Транспортные средства	99,1 (AUC)
Путешественники	83,6 (AUC)
Фон	78,4 (pixel)

Результаты в таблице показывают достаточно высокую точность на различных группах интересов. Необходимо было оценить пороговое значение отсечения для каждой группы классов, при котором модель сохранит баланс между точностью классификации и количеством ложных срабатываний. Для этого задача из многоклассовой была переведена в «один против всех», где для каждого объекта определялась не вероятность отнесения к определенной метке относительно вероятностей отнесения к другим, а вероятность назначения каждой метки по отдельности. Для оценки использовались ROC-кривые, примеры которых представлены на рис. 4 справа – для групп «Вредные привычки», и слева – для фоновых объектов.

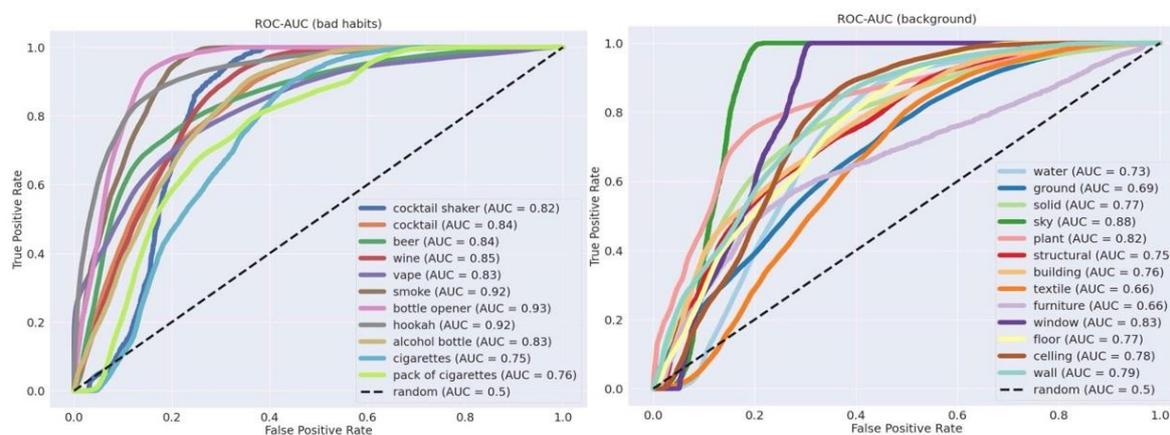


Рис. 4. ROC-кривые для выбора порога отсечения

Определить эффективность разработанного подхода без реального пользователя невозможно, так как заранее не известны реальные интересы пользователей, поэтому решено было провести опрос. На рис. 5 представлен интерфейс разработанного опроса, в котором пользователям предлагалось ввести ссылку на свой профиль в социальной сети ВКонтакте и выбрать, какие из предложенных интересов действительно соответствуют интересам, представленным на фотографиях в профиле.

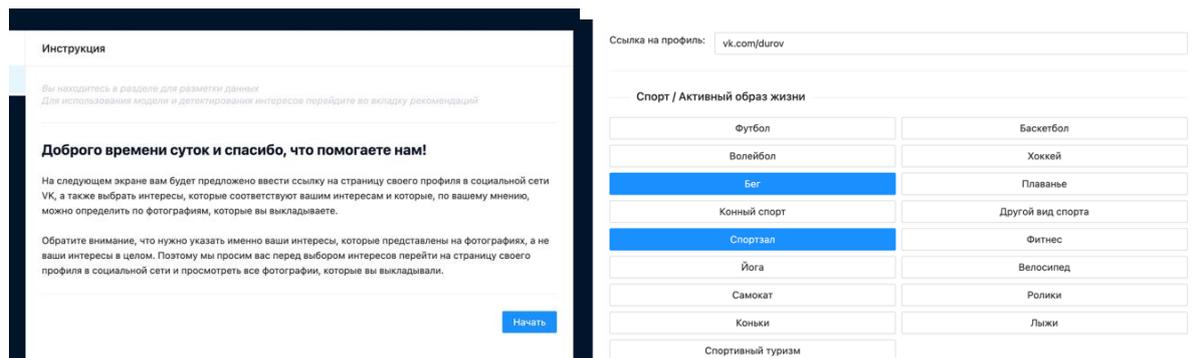


Рис. 5. Интерфейс пользователя: окно выбора интересов

Опрос прошли 338 пользователей, у которых суммарно было выявлено 1915 интересов. Результаты показали, что с вероятностью 96,4% модель обнаружит интерес, если он представлен на фотографиях, однако с вероятностью 12,7% модель предложит интерес, которого на самом деле нет. Чаще всего пользователи выбирали в качестве своих интересов путешествия, наличие детей, походы в рестораны, галереи и музеи, на концерты, наличие собак, походы в тренажерный зал, наличие автомобиля, употребление алкоголя, поездки на велосипеде, наличие кошек, походы в клубы и т. д. Стоит отметить, что для опроса преимущественно выбирались пользователи, которые имеют большое количество опубликованных фотографий. Данное допущение необходимо, так как такие пользователи позволяют более полно оценить модель, потому что имеют разнообразные фотографии, которые содержат информации о более широком перечне интересов.

На рис. 6 показана сводная гистограмма по 25 самым часто встречаемым интересам на изображениях, которые выкладывают пользователи. Можно видеть, что различия с реальными результатами достаточно невелики.

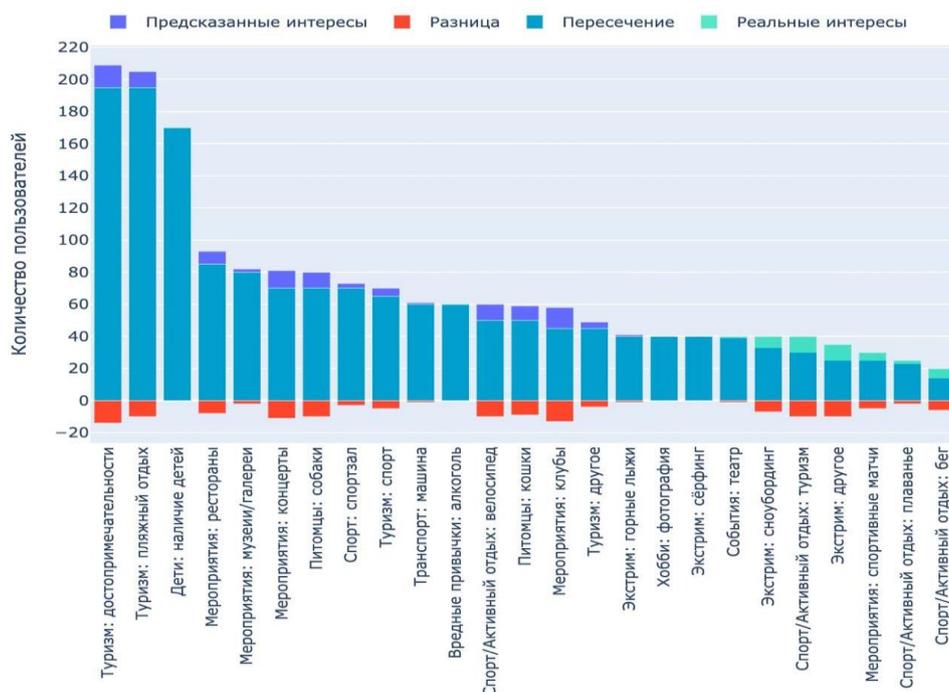


Рис. 6. Гистограмма реальных и предсказанных интересов пользователей

Результаты показывают эффективность модели, однако вероятность ложного срабатывания сохраняется на уровне 10%. Для решения этой проблемы в работе предлагается подход, использующий обратную связь от пользователя для улучшения точности определения интересов. Предлагается раскладывать каждый объект на изображениях на область, содержащую объект, и область, содержащая оставшееся изображение, и полученные пары передавать на вход в глубокую нейронную сеть. В качестве выхода модели предлагается использовать обратную связь от пользователя для назначения каждой паре метки – 0, если объект представляет нерелевантный интерес, и 1, если обнаруженный с помощью данного объекта интерес действительно соответствует пользователю. В результате такая модель обучается разделять важные и не важные объекты на изображениях. В данной работе в качестве такой модели использовалась UNet модель. На рис. 7 показана схема предложенного подхода.

В результате использования такой модели удалось снизить вероятность ложных срабатываний на 2% и с большой точностью отсеивать простые не релевантные объекты, такие как, например, автомобили на фоне.

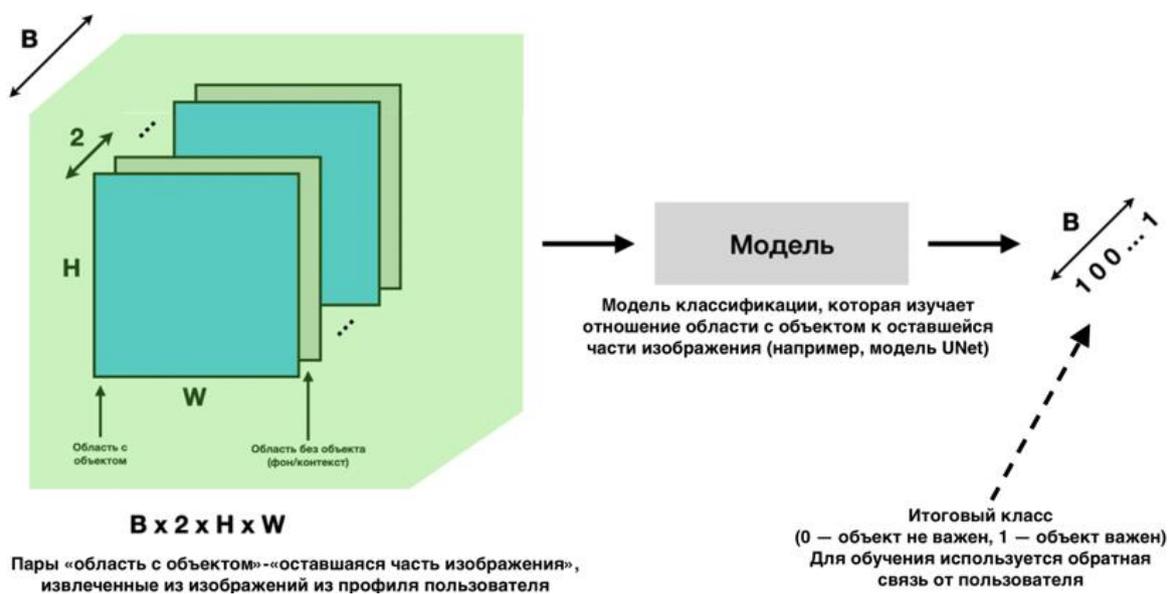


Рис. 7. Принцип улучшения рекомендаций с использованием обратной связи от пользователя

На рис. 8 показана схема клиент-серверного взаимодействия при опросе пользователя, получения обратной связи от него и использования обратной связи для дообучения модели.

В ходе работы были отобраны и размечены изображений классов интересов, приведен процесс преобразования аннотаций различных открытых наборов данных и самостоятельно размеченных фотографий к унифицированному виду. По результатам отбора и разметки классов была построена онтология пользовательских интересов. Были обучены модели детектирования различных классов, которые показали достаточно высокую точность. Была спроектирована и описана схема серверной архитектуры, а также схема разделения моделей на отдельные сервисы. Был описан подход к оценке эффективности полученного метода с помощью опроса пользователя, описан ход апробации результатов, а также анализ результатов, полученных в ходе апробации. Результаты обучения моделей и апробация полученных результатах на реальных пользователях, показали, что предложенный подход достаточно эффективен.

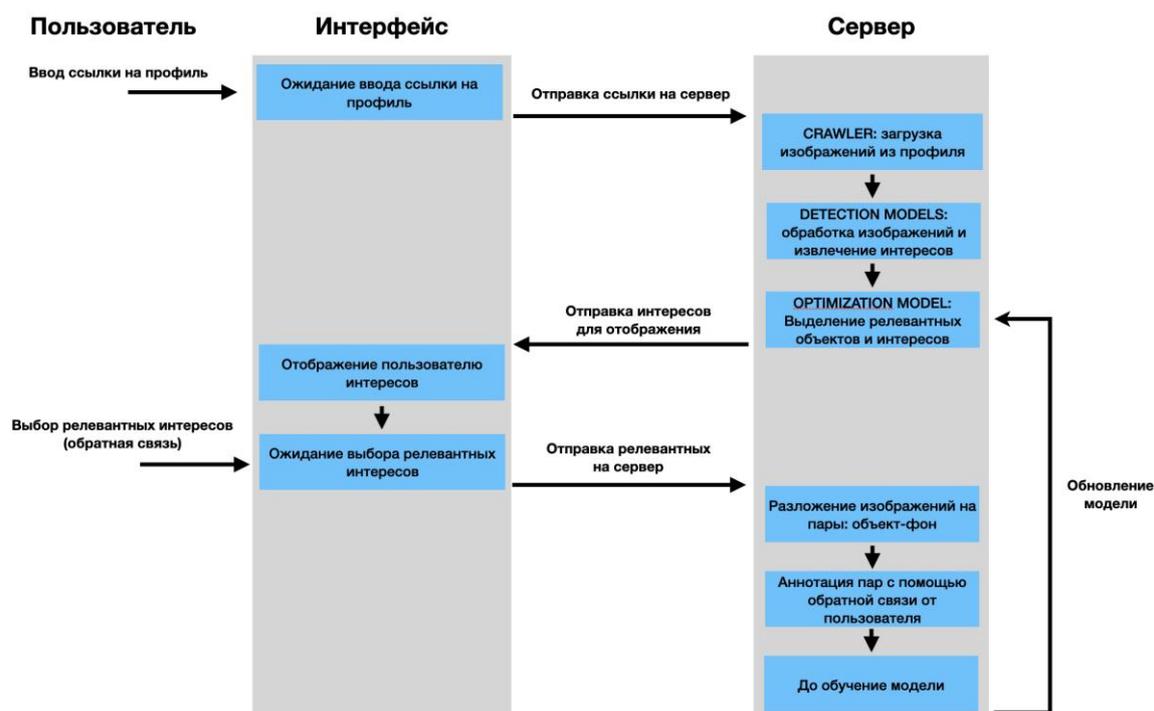


Рис. 8. Схема клиент-серверного взаимодействия для опроса пользователя, получения обратной связи и использования ее для дообучения модели

В дальнейшем планируется расширить данную работу по анализу профилей социальных сетей, на другую информацию, которую они содержат, а также расширить классы интересов пользователей.

Литература

1. Cascade R-CNN Detection // Arxiv.org e-Print archive [Электронный ресурс]. 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1712.00726.pdf> (дата обращения: 15.03.2020).
2. Review: deeplabv3+ — atrous separable convolution (semantic segmentation) // Medium – Where good ideas find [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://medium.com/@sh.tsang/review-deeplabv3-atrous-separable-convolution-semantic-segmentation-a625f6e83b90> (дата обращения: 18.05.2020)
3. Open images dataset v6 // Open Images Dataset V6 [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://storage.googleapis.com/openimages/web/factsfigures.html> (дата обращения: 18.05.2020).
4. About imagenet // ImageNet [Электронный ресурс]. 2015. URL: <http://www.image-net.org/about.php> (дата обращения: 18.05.2019).
5. Coco-stuff: thing and stuff classes in context // cvf [Электронный ресурс]. 2018. URL: http://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/papers/caesar_coco-stuff_thing_and_cvpr_2018_paper.pdf (дата обращения: 15.05.2019).

Гиндина Маргарита Игоревна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,

студент группы №L42383,

направление подготовки: 16.04.01 – Светодиодные

технологии и оптоэлектроника,

e-mail: mgindina@yandex.ru

Брунков Павел Николаевич

Год рождения: 1964

Университет ИТМО,

факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,

д.ф.-м.н., профессор,

e-mail: pnbrunkov@itmo.ru

Гуткин Андрей Абрамович

Год рождения: 1934

ФТИ им. Иоффе,

д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник,

e-mail: agut.defect@mail.ioffe.ru

УДК 538.915

**АДМИТТАНС СПЕКТРОСКОПИЯ МЕЛКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ
ЛОВУШЕК В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЯХ n-GaN**

М.И. Гиндина

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор П.Н. Брунков

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование мелких электронных ловушек в эпитаксиальных слоях n-GaN методом Адмиттанс спектроскопии».

Аннотация

В данной работе представлены исследования дефектов с глубокими уровнями в эпитаксиальных слоях n-GaN, выращенных методом эпитаксии из металлоорганических соединений (МОГФЭ). Измерения методом адмиттанс-спектроскопии проводились на p^+-n-n^+ структуре на основе GaN, где слои p- и n-типа проводимости легировались атомами Mg и Si, соответственно. С использованием метода адмиттанс-спектроскопии было показано, что энергия термической активации этой электронной ловушки находится на уровне 40 мэВ. Данный дефект может быть связан с комплексом вакансии в подрешетке азота с атомом водорода V_N-H . Образование данного дефекта было предсказано теоретически [1, 2], и ранее он наблюдался только в спектрах низкотемпературной фотолюминесценции [2].

Ключевые слова

дефекты с глубокими уровнями, GaN, p-n переход, адмиттанс-спектроскопия, эффект Пула-Френкеля.

GaN является перспективным материалом для создания мощных полупроводниковых приборов благодаря широкой запрещенной зоне. Известно, что свойства полупроводниковых материалов в значительной степени определяются дефектами с глубокими уровнями, поэтому определение их параметров является неотъемлемой частью в исследованиях полупроводниковых структур и разработке на их

основе полупроводниковых приборов. Параметры дефектов с глубокими уровнями (ГУ) можно определять путем анализа их переходов при термической активации, а также при исследовании оптических переходов. Метод адмиттанс-спектроскопии заключается в том, что на исследуемый образец подается переменное напряжение малой амплитуды δV с частотой f и измеряется емкость и проводимость образца в зависимости от величины постоянного напряжения смещения V при фиксированной температуре или в зависимости от температуры при фиксированном напряжении смещения.

Исследуемые структуры и методика эксперимента

Исследуемая $p^+-n_0-n^+$ структура на основе GaN (рис. 1) была выращена методом эпитаксии из металлоорганических соединений (МОГФЭ) на подложке сапфира с буферным слоем GaN толщиной 5 мкм. Эпитаксиальный слой n^+ -GaN толщиной 2 мкм был легирован кремнием до концентраций $4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Эпитаксиальный слой n_0 -GaN толщиной 500 нм также был легирован кремнием на уровне $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Верхний p^+ -GaN слой толщиной 60 нм был легирован магнием $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Методом ионно-плазменного травления через металлическую маску была создана меза-структура диаметром 0,57 мм. На n^+ -GaN и p^+ -GaN слои были напылены металлические сплавы для формирования омического контакта. Исследуемый p^+-n_0 переход является ассиметричным, т.к. $N_A \gg N_d$, где N_A – концентрация акцепторов в p^+ -GaN слое, N_d – концентрация доноров в n_0 -GaN слое. Измерения вольтфарадных-характеристик (ВФХ) и адмиттанс спектров проводились в вакуумном криостате замкнутого цикла с системой охлаждения жидким азотом. В автоматизированной установке использовался измеритель LCR Agilent E4980A. Образец был установлен в гелиевый криостат замкнутого цикла Janis CCS-450, который позволял устанавливать температуру в диапазоне 10–450 К (рис. 1).

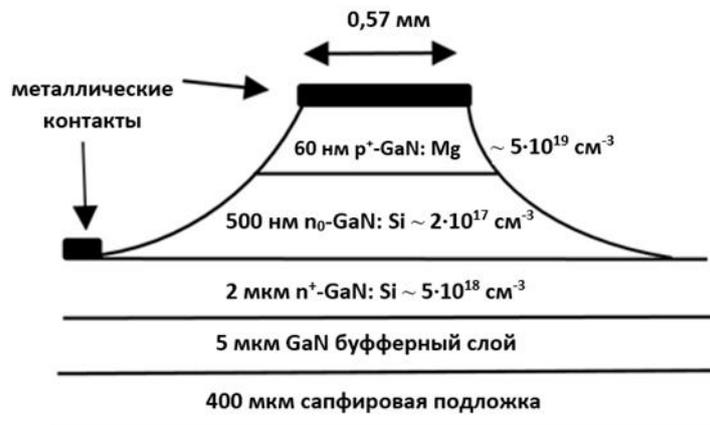


Рис. 1. Меза-структура исследуемого образца с уровнем легирования кремнием n_0 -GaN:Si

Из наклона $1/C^2(V)$ кривой, полученной методом ВФХ, определялась концентрация доноров N_d [3]:

$$N_d = \frac{2}{e \varepsilon_r \varepsilon_0 S^2} \left(\frac{d \left(\frac{1}{C^2} \right)}{dV} \right)^{-1}, W = \frac{S \varepsilon \varepsilon_0}{C}, \quad (1)$$

где S – площадь барьера Шоттки, ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость, ε_0 – диэлектрическая постоянная.

Согласно [4] поправка к энергии, учитывающей эффект Пула-Френкеля, определяется выражением:

$$\delta E(\epsilon) = \sqrt{\frac{q^3 \epsilon}{4\pi \epsilon \epsilon_0}}, \quad (2)$$

Результаты эксперимента

На рис. 2 представлены ВФХ при температурах 10-300 К, измеренные на частоте 10 кГц. Уменьшение ёмкости при понижении температуры ниже 50 К свидетельствует о вымораживании свободных носителей заряда. По формуле (1) была оценена концентрация доноров: $N_d \approx 2,3 * 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Зависимости $1/C^2$ от V на рис. 2 (б) ложатся на прямую при высоких температурах. Напряжение отсечки растет с понижением температуры, что связано с повышением встроенного потенциала p^+-n_0 перехода. С понижением температуры ниже 50 К кривая зависимости $1/C^2$ начинает загибаться в области прямых смещений напряжения $> 1 \text{ В}$. Это свидетельствует о том, что $p-n$ переход становится менее резким. Напряжение отсечки находится в районе 3 В, что хорошо коррелирует с шириной запрещенной зоны нитрида галлия.

Таким образом, структура представляет собой резкий асимметричный диод, где область объемного заряда (ОПЗ) лежит главным образом в слаболегированной области n типа проводимости.

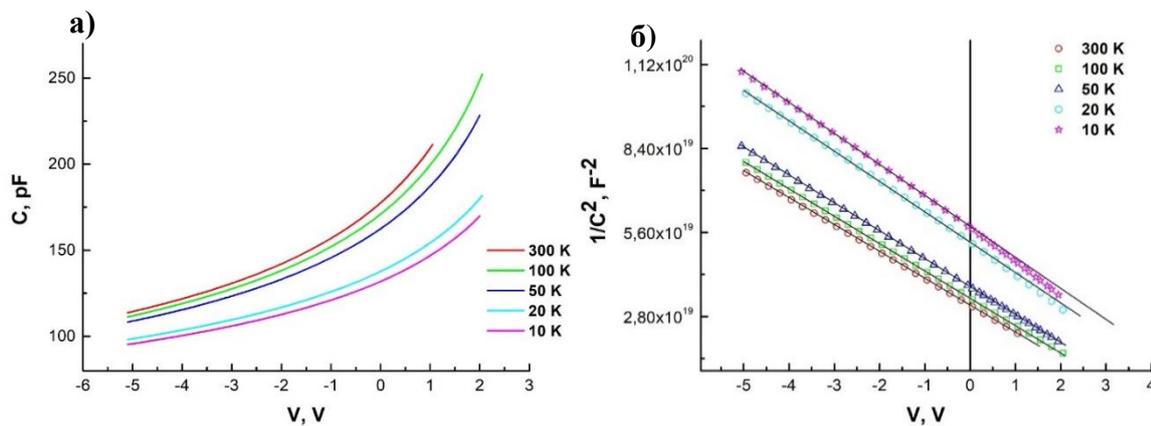


Рис. 2. Зависимости а) ёмкости C (пФ) от напряжения смещения V (В) и б) $1/C^2$ (Ф^{-2}) от напряжения смещения V (В) GaN $p^+-n_0-n^+$ -структуры при разных температурах

Адмиттанс-спектры структуры p^+-n-n^+ , зарегистрированные при нулевом смещении и амплитуде модулирующего напряжения 30 мВ, приведены на рис. 3, а, б – $C(T)$ и $G(T)/2\pi f$. Измерения проводились в диапазоне температур 10-250 К. В этом диапазоне в зависимости $C(T)$ наблюдалась ступенька, а в спектрах проводимости – положительный пик, свидетельствующий о перезарядке электронной ловушки E_{T1} . При увеличении частоты измерительного сигнала спектры ёмкости $C(T)$ и проводимости $G(T)/2\pi f$ смещаются вверх по температуре.

Амплитуда пика проводимости, пересчитанная в пФ, примерно составляет $1/2$ от высоты ступеньки ёмкости, что говорит о применимости метода адмиттанс-спектроскопии.

Для обнаруженной на спектрах адмиттанс спектроскопии мелкой низкотемпературной ловушки E_{T1} из наклона графика Аррениуса была определена энергия активации: $E_{T1} = 10,5 \text{ мэВ}$. Также была оценена концентрация ловушек: $N_T \approx 4,3 * 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Установлено, что обнаруженный дефект E_{T1} проявляет сильную зависимость темпа эмиссии от величины модулирующего напряжения смещения (рис. 4). Увеличение модулирующего напряжения приводило к смещению пика проводимости в сторону низких температур и к уменьшению кажущейся энергии

активации этой ловушки. При этом зависимости Аррениуса становились сильно нелинейными, что может быть связано с увеличением электрического поля в ОПЗ при увеличении амплитуды модулирующего напряжения, где происходит эмиссия с ГУ, и может быть объяснено термоактивированным туннелированием. Определение энергии активации было решено производить в области высоких температур и малых величин модулирующего напряжения смещения, т.к. в этой области наклон линии Аррениуса слабо зависит от величин модулирующего напряжения, что может говорить об уменьшенном вкладе термоактивированного туннелирования в процессы эмиссии. Энергия активации при этом приняла значение 12,5 мэВ. Для исключения влияния электрического поля, при котором происходит уменьшение потенциального барьера в направлении поля, вследствие которого вероятность эмиссии электронов с ловушек увеличивается, мы рассчитывали энергию активации с учетом эффекта Пула-Френкеля (П-Ф) [4]. Для уровня легирования доноров порядка $2 \cdot 10^{17}$, см^{-3} характерно вырождение, при котором уровень Ферми совпадает с дном зоны проводимости. Энергию активации электронов с ГУ при этом можно приравнять к величине потенциала U в точке с координатой z_0 , где уровень Ферми пересекается с энергетическим положением ГУ. С другой стороны, полная энергия активации в отсутствие электрического поля складывается из определенной ранее из анализа зависимостей Аррениуса энергии $E_{\text{Тexp}} = 12.5$ мэВ и поправки к энергии δE , учитывающей эффект П-Ф (2). Для оценки величины потенциала $U(z_0)$ мы решали уравнение Пуассона в приближении обедненного слоя. Мы численно решали уравнение (3) и получили энергию активации E_{T1} , которая составила 42 мэВ.

$$E_{\text{Тexp}} + \delta E(\varepsilon(z_0)) = qU(z_0), \quad (3)$$

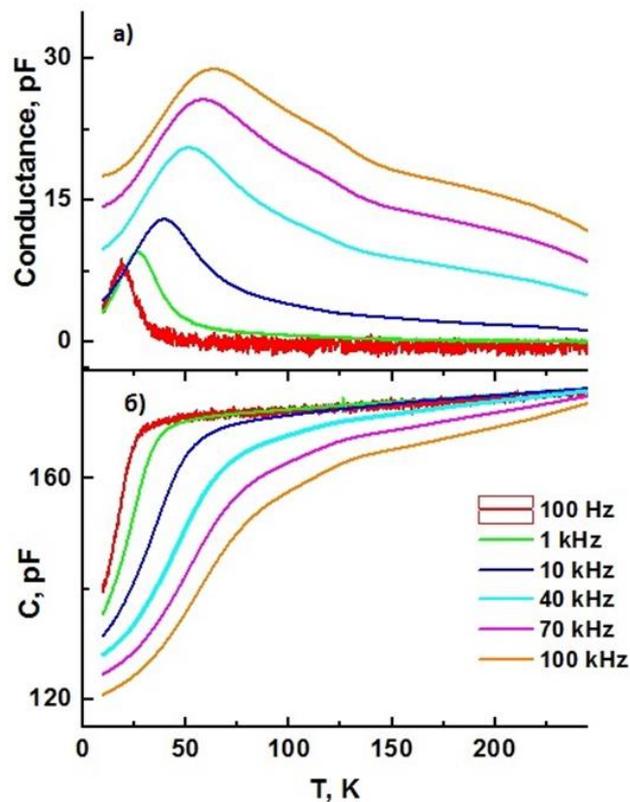


Рис. 3. Зависимости нормированной на частоту дифференциальной активной проводимости G (пФ) (а) и емкости C (пФ) (б) GaN p^+-n-n^+ структуры от температуры T (К) при разных частотах

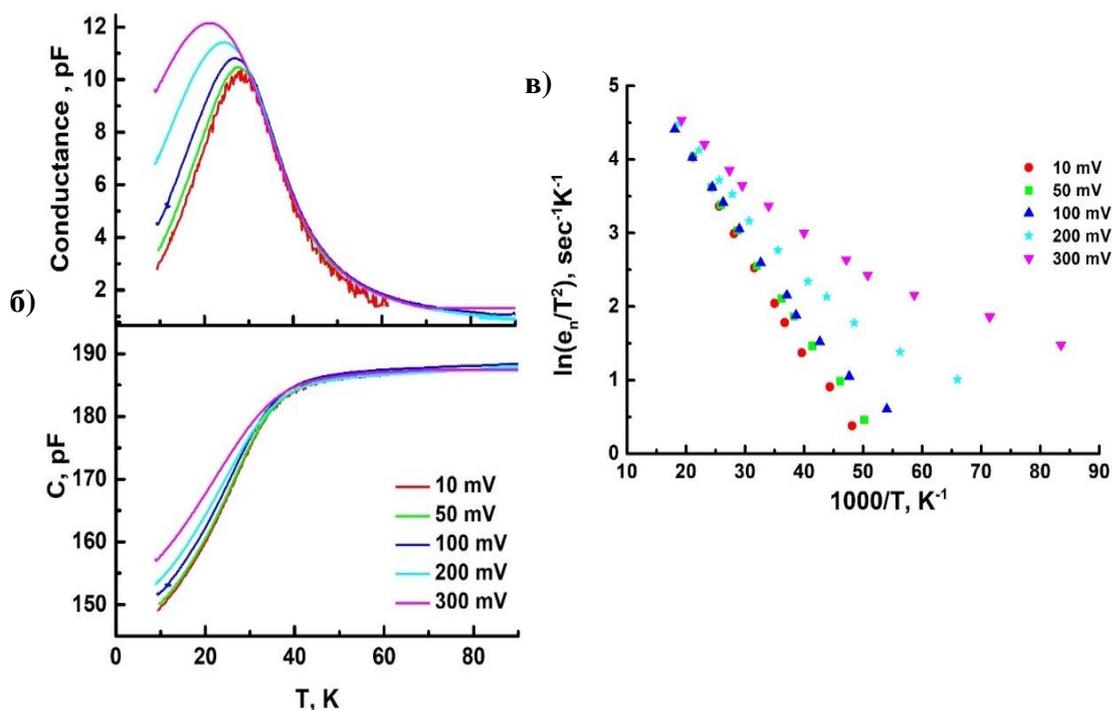


Рис. 4. а) Зависимости нормированной дифференциальной активной проводимости G (пФ) и б) емкости C (пФ) GaN p^+-n-n^+ структуры от температуры T (К) от величины модулирующего напряжения смещения; в) Зависимости Аррениуса для электронной ловушки в GaN структуре p^+-n-n^+ , определенная методикой адмиттанс-спектроскопии от величины модулирующего напряжения смещения

В процессе роста полупроводниковых структур методом эпитаксии из металлоорганических соединений в растущий материал встраиваются большие концентрации водорода H [2]. В работах Ван дер Валле была разработана модель расчета энергетического спектра на основе теории функционала плотности и было показано, что наиболее энергетически выгодным является взаимодействие водорода с вакансиями [5]. Вакансии азота V_N в материалах GaN ведут себя как глубокие доноры [5]. Наиболее близким кандидатом на роль найденной глубокой донорной ловушки с малой энергией активации является комплекс вакансии азота и атома водорода V_N-H , образующего уровень близко ко дну зоны проводимости, и наличие которого в слабелегированных слоях n -GaN теоретически было предсказано Ван дер Валле [1, 2, 5]. Наличие этой ловушки проявлялось в спектрах низкотемпературной фотолюминесценции, но электрическими методами до сих пор не наблюдалось [2].

Заключение

Таким образом, были исследованы дефекты с ГУ в эпитаксиальных слоях GaN и было показано, что в диапазоне температур от 10 К до 300 К исследуемая $p^+-n_0-n^+$ структура на основе GaN проявляет свойства резкого асимметричного диода. С помощью метода адмиттанс спектроскопии в слоях n_0 -GaN была впервые обнаружена мелкая донорная ловушка с энергией активации ~ 40 мэВ. Ее наличие было предсказано теоретически, как комплекс V_N-H , образующийся в процессе эпитаксиального роста GaN методом МОГФЭ. Энергия термической активации электронов в зону проводимости с этого уровня проявляет сильную зависимость от электрического поля, поэтому для определения положения уровня в запрещенной зоне необходимо учитывать эффект Пула Френкеля.

Литература

1. Buckeridge J. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 2015.114. P. 016405.
2. Van de Walle C.G. // *Journal of Applied Physics.* 2004. 95. P. 3851.
3. Брунков П.Н. Емкостная спектроскопия электронных состояний в гетероструктурах с квантовыми ямами и квантовыми точками: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.10. СПб. 2007. 315 с.
4. Hartke J.L. // *Journal of Applied Physics.* 1968. 39. P. 4871.
5. Van de Walle C.G. // *Phys. Rev. B.* 1997. 56. P. 10 020.

Горбенко Дарья Александровна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

студент группы № А42421,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: daryarogova7@gmail.com

Колпащиков Дмитрий Михайлович

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

к.х.н., профессор-исследователь,

e-mail: kolpaschikov@scamt-itmo.ru

УДК 577.323.23

**ДЕТЕКЦИЯ ПАТОГЕНОВ ЧЕЛОВЕКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДИЗАЦИОННЫХ ЗОНДОВ
НА ОСНОВЕ ДНКЗИМОВ С ПЕРОКСИДАЗНОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

Д.А. Горбенко

Научный руководитель – к.х.н., профессор-исследователь

Д.М. Колпащиков

Работа выполнена в рамках НИР «Разработка экспериментального образца тест-системы на основе зондов днкзимов для *in vitro* диагностики специфических последовательностей нуклеиновых кислот» поддержанного Федеральным государственным бюджетным учреждением «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Минздрава России.

Аннотация

В ходе работ по созданию тест-системы для обнаружения патогенов человека было произведено конструирование и оптимизация гибридационных зондов на основе ДНКзимов с пероксидазной активностью в различных режимах. Интеграция в закрытую тест-систему проводилась с сохранением высокой селективности и чувствительности. Цель и задачи данной работы были достигнуты, а именно: 1) Успешно проведено каскадное, бинарное и многокомпонентное обнаружение ДНКзимами нескольких патогенов. Решена проблема распознавания длинно-свернутых (> 80 нт) аналитов путем создания многокомпонентных зондов, способных раскручивать вторичные структуры нуклеиновых кислот. 2) Разработанные зонды доказали свою применимость не только для обнаружения синтетических аналитов и продуктов NASBA, но и для выборочного обнаружения мультиплексных продуктов NASBA, содержащих до 6 патогенов одновременно. 3) Бинарные и многокомпонентные зонды больше подходят для диагностики на месте, так как они не требуют дополнительных этапов инкубации и отжига. По данным серийных разведений чувствительность системы составляет всего 100 бактериальных или инфицированных (вирусных) клеток, что было установлено заказчиком и соответствует чувствительности общепринятых тестов. Общее время обнаружения составило около 2 часов учитывая микробиологические манипуляции, реакцию NASBA и визуальное обнаружение. Для метода требуется только водяная баня (термоблок, термопакет).

Ключевые слова

Пероксидазо-подобные ДНКзимы, гибридизация, NASBA, point-of-care diagnostics, гуаниновые квадруплексы.

Учитывая нынешнюю пандемию коронавируса, а также опыт предыдущих эпидемий, существует настоятельная потребность в обеспечении доступа к диагностическим процедурам в местах оказания медицинской помощи.

Обзор доступных решений однозначно указывает на недостаточный уровень микробиологической диагностики инфекций и необходимость создания простых тест-систем, позволяющих быстро и эффективно выявлять возбудителей заболеваний вирусного или бактериального происхождения в короткие сроки без предварительной обработки образца и дополнительного дорогостоящего оборудования.

Предлагаемая система основана на изотермической амплификации на основе нуклеиновых кислот [1] (NASBA) возбудителя РНК, что позволяет избежать использования дорогостоящих термоциклеров. В настоящее время принятые коммерческие системы содержат зонды гибридизации нуклеотидов, которые позволяют обнаруживать бактериальные и вирусные патогены за счет амплификации определенных фрагментов ДНК или РНК. Большие перспективы лежат в разработке колориметрических систем, определяющих присутствие патогенов по оптическому изменению цвета. В данной работе представлены три типа ферментативных ДНК-наносенсоров ДНК, которые образуют чувствительные сайты гибридизации, способные к высокоселективному распознаванию интересующих областей, и в то же время к образованию структур G-квадруплекса (G-4) [2], которые участвуют в ферментативной трансформации.

G-4 представляют собой структуры гуаниновых тетрад, поддерживаемые Хугстиновскими связями. Одним из важных аспектов G-4 является то, что он может связываться с гемом (железо (III) -протопорфирин IX) с образованием пероксидазы, имитирующей ДНКзимы. Активная пероксидаза катализирует окисление бесцветного субстрата (например, 3,3'-диаминобензидина (DAB) или 2,2'-азино-бис (3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислоты (ABTS)) до окрашенного продукта. Использование гибридационных зондов таких ДНК-ферментов является методом дополнительного контроля полученного фрагмента с одновременной визуализацией результата.

В этом исследовании были разработаны гибридационные зонды для обнаружения 16 патогенов центральной нервной системы в качестве модели: *E. coli* (16S РНК), *S. pneumoniae* (16S РНК), *H. Influenza* (16S РНК), *N. Meningitides* (ctrA), *L. monocytogenes* (Lmo0753), *S. agalactidae* (groEL), вирус простого герпеса 1,2 (UL22), цитомегаловирус (CMV UL37), вирус Эпштейна-Барра (gH), вирус Коксаки В (Id EU147493.1, с 4976 по 5067), Вирус герпеса человека 6 (U82), вирус ветряной оспы (ORF31), *C. albicans* (18S РНК), *M. tuberculosis* (16S РНК), *S. aureus* (gyrA). Целевые области генома, выбранные для амплификации и последующего обнаружения различными ДНКзимами с пероксидазной активностью, указаны в скобках. Для обнаружения были разработаны бинарные [3, 4] (biPxD), каскадные PxD и многокомпонентные пероксидазоподобные ДНКзимные гибридационные зонды (mPxD).

Таким образом, метод бинарных пероксидазоподобных ДНКзимных гибридационных зондов представляет собой G-4-образующий дезоксирибозим (Dz) для визуального обнаружения бактериальных и вирусных патогенов. Бинарный Dz состоит из двух цепей ДНК, которые образуют структуру G-4 при гибридизации с прилегающими позициями анализируемого вещества ДНК или РНК. G-4 связывает гемин и катализирует H₂O₂-зависимое окисление бесцветного субстрата до окрашенного продукта (рис. 1).

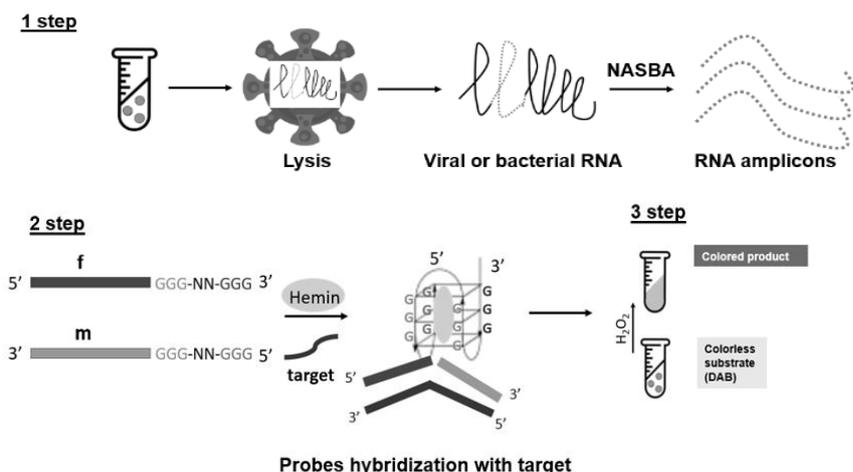


Рис. 1. Этап 1 представляет собой суспензию бактериальных или вирусных клеток и амплификацию целевых фрагментов генома NASBA. Шаг 2 - визуальное обнаружение бактериальных или вирусных патогенов с помощью расщепленной G-4-образующей пероксидазы Dz: Этап 2 - цепи f и m гибридизуются с целевым анализом и образуют структуру G-4, Этап 3 - формирование цвета в присутствии гемина, H₂O₂ и диаминобензидин (DAB)

В каскадном режиме РНК-аналиты распознаются РНК-расщепляющими зондами Dz с последующим расщеплением химерного субстрата ДНК / РНК, который реализует пероксидазу G-4. РНК или синтетический анализит и части зонда инкубируют в реакционном буфере при 50 ° C в течение 1 часа. После инкубации смеси охлаждали до комнатной температуры в течение 15 мин, чтобы позволить PDz сформировать структуру G-4. Затем к образцам добавляли гемин, DAB (1 мМ) и H₂O₂ (1 мМ). G-4 связывает кофактор гемина с образованием второго Dz - каталитически активного комплекса PDz-гемин, который катализирует опосредованное H₂O₂ окисление бесцветного субстрата (DAB) в окрашенный продукт перекисного окисления (рис. 2).

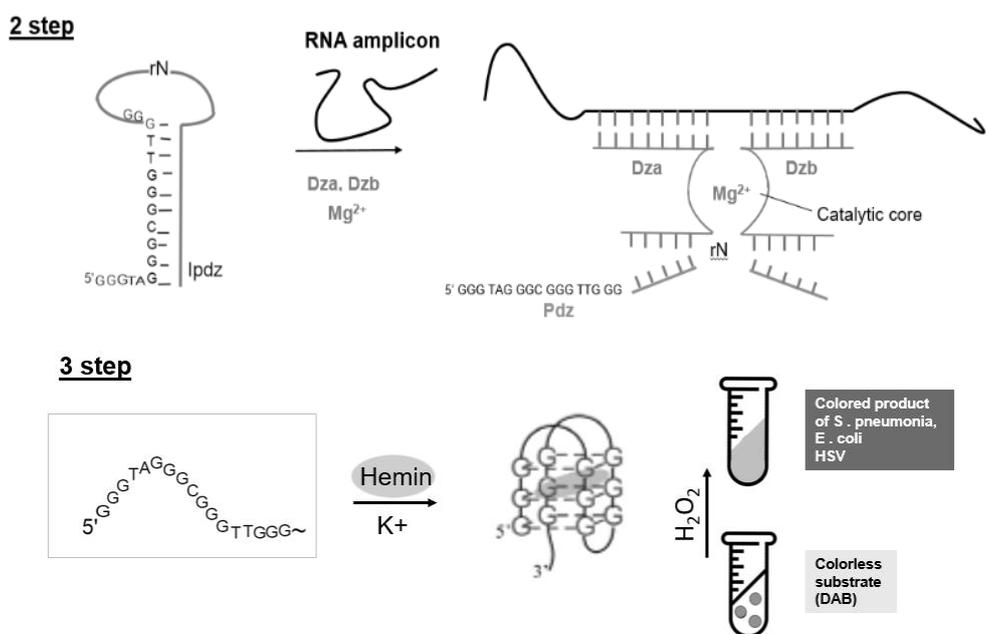


Рис. 2. Визуальное обнаружение бактериальных или вирусных патогенов с помощью каскада РНК-расщепляющих и пероксидазоподобных Dz. Этап 2 – распознавание и активация IPDz в каскадном режиме [5]. Этап 3 – формирование структуры G-4 и генерация цвета в каскадном режиме

Многокомпонентные пероксидазоподобные ДНК-зонды (mPxD) состоят из 1-4 связывающих плеч и предназначены для прочного связывания и раскручивания анализов оцРНК / ДНК, в то время как другое РНК-связывающее плечо избирательно распознает конкретную последовательность анализируемого вещества и формирует структуру G-4. Структура G-4 меняет цвет в присутствии гемина, H₂O₂ и бесцветного органического субстрата. В этом исследовании мы определили длину и фрагменты ампликона оцРНК для связывания плечами зондов mPxD, чтобы гарантировать высокую селективность и высокое соотношение сигнал / фон (S/B) (рис. 3).

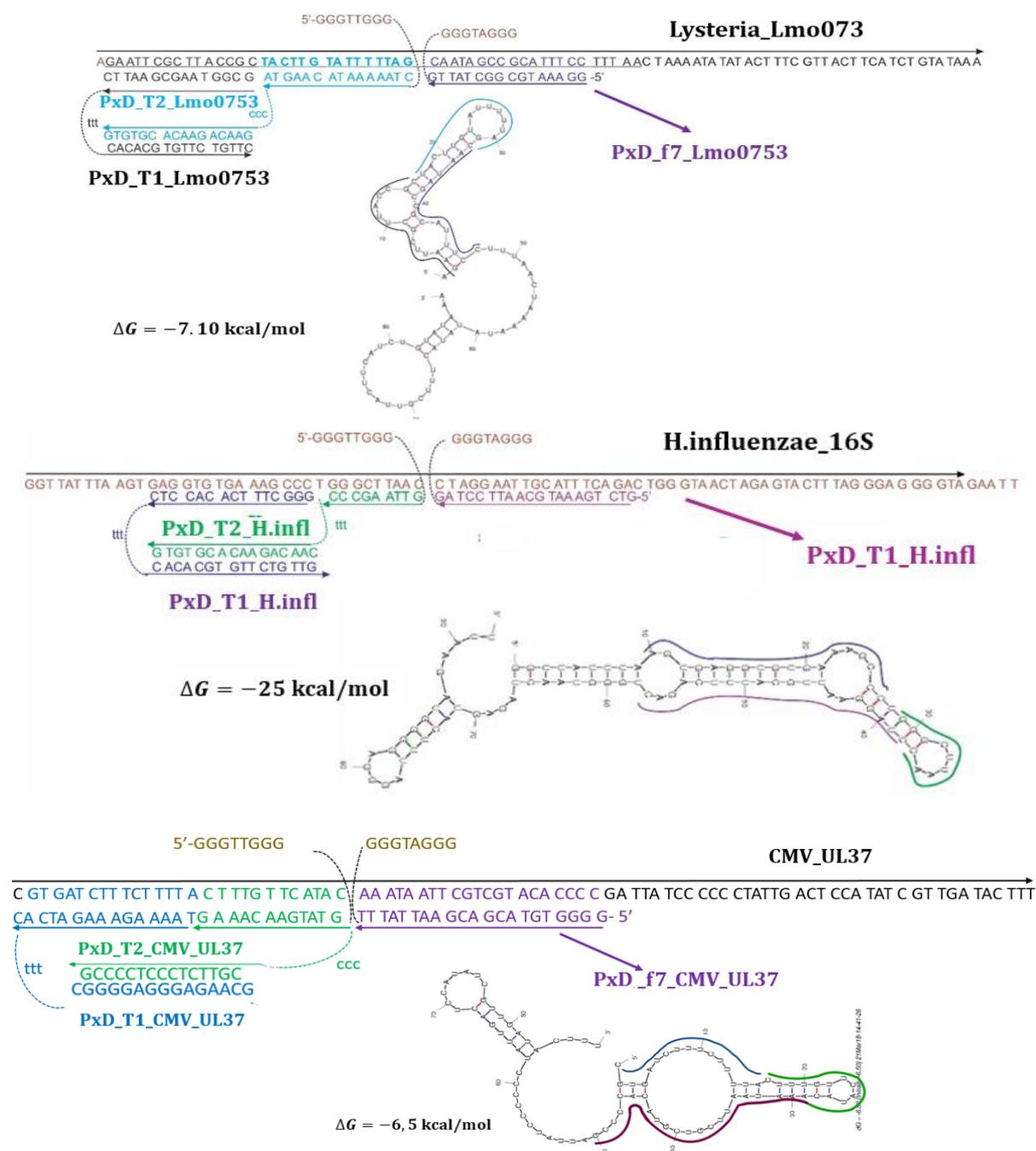


Рис. 3. Дизайны зондов mPxD, нацеленных на фрагмент гена *L.monocytogenes H.influenzae*, а также Cytomegalovirus. Зонды в комплексе с родственным анализом. Минимальная энергия вторичных структур анализов РНК. Голубые и пурпурные линии показывают области, связанные с зондом mPxD. Структуры олигонуклеотидов были предсказаны Mfold

После инкубации образцов при комнатной температуре (23-25 °C) в течение 20 мин был проведен визуальный анализ невооруженным глазом и измерение оптической плотности ($\lambda = 500$ нм).

На первом этапе работы сравнивались бинарные и каскадные зонды. Патогены различного происхождения (*E. coli*, *S. pneumoniae*, вирус простого герпеса 1,2) были отобраны и проведены для изучения этих образцов на синтетических анализатах и одноплексном РНК-продукте реакции NASBA. Было показано, что бинарные датчики демонстрируют лучшее соотношение S / B и не требуют дополнительных этапов инкубации или охлаждения, поэтому было решено сосредоточиться на разработке бинарных зондов для других патогенов. Таким образом, были разработаны все остальные 13 бинарных зондов, и мы приступили к обнаружению одиночных и мультиплексных ампликонов NASBA. Для мультиплексных реакций одновременно использовали реакцию NASBA с несколькими парами праймеров.

Мы разделили патогены на 3 группы по 6 и 5 патогенов в каждой и детектировали одиночные и мультиплексные ампликоны, сравнивая их с положительным контролем на синтетическом анализате и отрицательным контролем (датчик только в реакционном буфере). Окрашивание от бесцветного до коричневатого и увеличение отношения S / B в ~ 3 или более раз оценивали как положительный результат, указывающий на присутствие РНК-мишени.

Некоторые патогены (например, *L.monocytogenes*, *H.influenzae*, а также Cytomegalovirus) были обнаружены со слабым соотношением между отрицательным контролем и мультиплексным ампликоном NASBA, и было решено разработать принципиально новые многокомпонентные зонды для обнаружения этих трёх возбудителей.

Мы выполнили обнаружение mPxD этих трех с максимальной яркостью окраски. С мультиплексными продуктами NASBA было продемонстрировано явное преимущество технологии mPxD перед biPxD. Высокое фоновое значение в случае отрицательного контроля с *L.monocytogenes* и Cytomegalovirus, связанное с ассоциацией частей сенсора с праймерами, присутствующими в растворе, сдвигает концы анализата. Эта трудность была устранена за счет конструкции mPxD, для которой не требуются рычаги, связывающие анализат, на концах анализируемого вещества. Значения детектирования сингплексных и мультиплексных образцов NASBA при детектировании с mPxD увеличиваются в среднем на 0,38 усл. единицы измерения.

Было рассчитано количество бактериальных и вирусных клеток на мкл, и были сделаны полные разведения, соответствующие 10^5 , 10^4 , 10^3 , 100, 10, 1 или 0 клеток на реакцию NASBA. Для каждой реакции выполняли по три повтора. Согласно серийным разведениям, чувствительность бинарных и многокомпонентных зондов при гибридизации составляет всего 100 бактериальных или инфицированных (вирусных) клеток (рис. 4).

Время проведения этих тестов на обнаружение было значительно сокращено: с учетом времени, необходимого для микробиологических манипуляций, реакции NASBA и визуального обнаружения, общее время обнаружения составило около 2 часов. Для метода требуется только обычная кипящая баня (термоблок, термопакет). Общее время и чувствительность этого анализа находятся в пределах диапазона бактериальной и вирусной чувствительности, определенного для клинических образцов с помощью современных тестов.

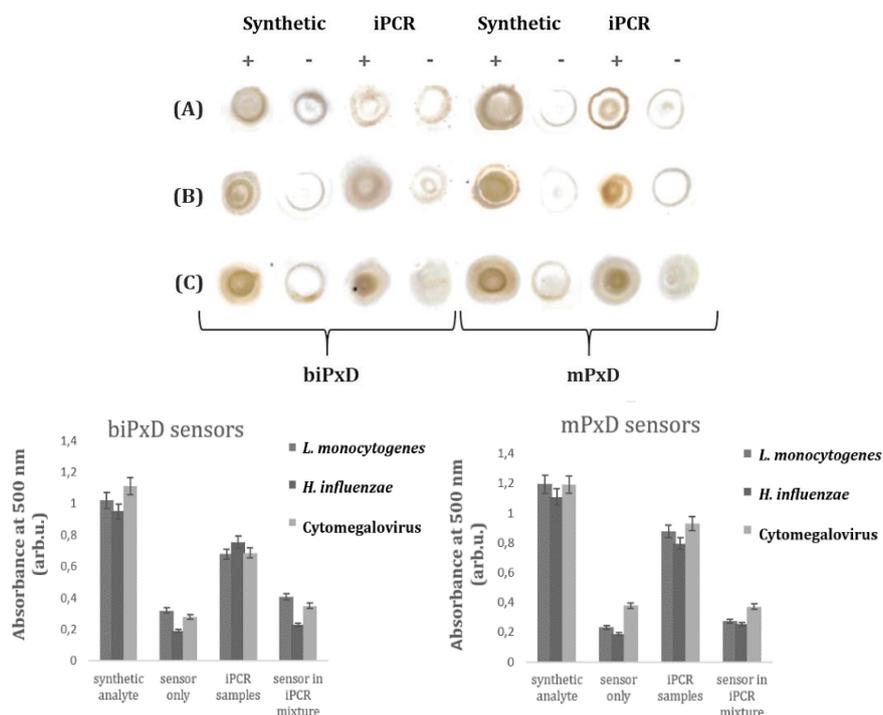


Рис. 4. Визуальная детекция и измерения абсорбции отрицательных контролей (только сенсор в реакционном буфере или смеси изотремической iPCR (NASBA) без бактериальной РНК), положительных контролей и образцов продукта NASBA *L.monocytogenes*, *H .influenzae* и Cytomegalovirus, полученных из 100 клеток с помощью бинарных (biPxD) и многокомпонентных (mPxD) сенсоров

Литература

1. J. Compton, «Nucleic acid sequence-based amplification» // *Nature*, 1991. 350 (6313).
2. Li Wang et al. "Insight into G-quadruplex-hemin DNAzyme/RNAzyme: adjacent adenine as the intramolecular species for remarkable enhancement of enzymatic activity." // *Nucleic acids research* 2016, 44.15, 7373-7384.
3. Kolpashchikov D.M. "Split DNA enzyme for visual single nucleotide polymorphism typing." // *Journal of the American Chemical Society* 2008, 130.10, 2934-2935.
4. Connelly R.P., Verduzco C., Farnell S.T., Yishay, Gerasimova Y.V. Toward a Rational Approach to Design Split G-Quadruplex Probes // *ACS Chem. Biol.* 2019. Vol. 14. P. 2701– 2712.
5. Reed A.J., Connelly R.P., Williams A., Tran M., Shim B. Shik, Choe H., Gerasimova Y.V. Label-Free Pathogen Detection by a Deoxyribozyme Cascade with Visual Signal Readout // *Sensors and amp; Actuators: B. Chemical.* 2018. P.1-13.

Горохова Наталья Михайловна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42331с,

направление подготовки: 15.04.06 – Робототехника,

e-mail: gnatali1997@gmail.com

Перепелкина Светлана Юрьевна

Год рождения: 1979

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент, н.с.,

e-mail: sker@mail.ifmo.ru

УДК 62-03

**РАЗРАБОТКА ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТЕЛКИ ДЛЯ
РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПЛАНТАРНЫМ ФАСЦИИТОМ**

Н.М. Горохова

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.Ю. Перепелкина

Работа выполнена в рамках научно-исследовательского гранта «УМНИК – Цифровая Россия 2019» по договору 149ГУЦЭС8-D3/56407 «Разработка ортопедической стельки для реабилитации пациентов с плантарным фасциитом».

Аннотация

В работе описывается проектируемое изделие – ортопедическая стелька – используемая для реабилитации пациентов с плантарным фасциитом (ПФ). Особенностью данной разработки заключается в реализации трёх функций, необходимых для реабилитации: разгрузки стопы посредством изменения рельефа стельки, микромассажного воздействия для смягчения болевого синдрома и использовании технологии, аналогичной технологии ударно-волновой терапии (УВТ), которая широко применяется в реабилитации ПФ.

Ключевые слова

Ортопедическая стелька, плантарный фасциит, полимер, ударно-волновая терапия, пьезоэлемент.

В современном мире существует большое количество заболеваний, связанных с опорно-двигательной системой человека. Такие заболевания могут не только добавить дискомфорт в повседневную жизнь, но и порой поставить под серьезную угрозу здоровье человека. Одним из таких заболеваний является плантарный фасциит (ПФ), который широко встречается как среди взрослого, так и среди молодого населения. ПФ – это заболевание, обусловленное воспалительно-дегенеративными изменениями плантарной (подошвенной) фасции. Плантарная фасция создает «арку» между костями на стопе и выполняет амортизирующую функцию, т.е. смягчает нагрузку. Фасция состоит из мягкого, но труднорастяжимого материала. Из-за чрезмерного перенапряжения возникает деформация, и как следствие пяточная шпора.

Сущность заболевания заключается в следующем: при большой нагрузке на стопу возникает перенапряжение фасции из-за уплощения свода стопы, в результате чего фасция подвергается чрезмерному растяжению, и часть волокон разрывается. Затем

начинается воспалительный процесс, и появляется болевой синдром. У людей, страдающих данным заболеванием, болевой синдром особенно выражен в утренние часы (так называемая «боль первого шага»).

Проведенный обзор существующих средств реабилитации показывает многообразие средств и портативных устройств реабилитации ПФ. Самым распространенным средством реабилитации являются ортопедические стельки. Фирмы medi и Scholl являются наиболее известными производителями ортопедических стелек и предлагают широкий выбор продукции для разных видов заболеваний и их степени тяжести, независимо от возраста и пола [1].

Однако ортопедические стельки имеют ряд недостатков. Несмотря на существенное улучшение качества жизни, стельки не убирают само заболевание, т.е. не убирают причину заболевания, а лишь облегчают болевые ощущения.

Широко известным является изобретение «Страсбургский носок», представляющее собой фиксирующее устройство (так называемый ночной ортез) для поддержания стопы в одном положении на протяжении 6-8 часов во время сна [2]. Другое устройство - Advanced Foot Energizer представляет собой платформу, обеспечивающую электростимуляцию мышц, а также массажные функции и растяжение мышц стопы [3]. В устройстве InterX 5002 используются передовые технологии на основе метода неинвазивной нейростимуляции, который определяет относительный импеданс кожи, область лечения и впоследствии подает последовательности лечебных импульсов на очаг воспаления [4]. Следует отметить, что зарубежные устройства реабилитации имеют чрезмерно высокую стоимость.

На основании приведенного обзора существующих аналогов можно заключить, что требуется новое наиболее приближенное к универсальному средство реабилитации, способное не только облегчать качество жизни людей с ПФ, но и осуществлять лечение данного заболевания. В качестве такого устройства рассматривается проектируемая ортопедическая стелька.

Ортопедическую стельку можно схематично рассмотреть в виде балки с прямоугольным сечением, на которую действует распределенная внешняя нагрузка (вес человека), и два вращающих момента на концах балки, направленные в противоположные стороны [5]. На концах балки также действуют реакции опоры. Номинальными усредненными размерами балки являются ее длина – 250 мм, и ширина – 25 мм согласно соответствующим стандартам [6]. Балка разделена на три равные части, соответствующие областям стопы: носок, средняя часть и пятка (рис. 1).

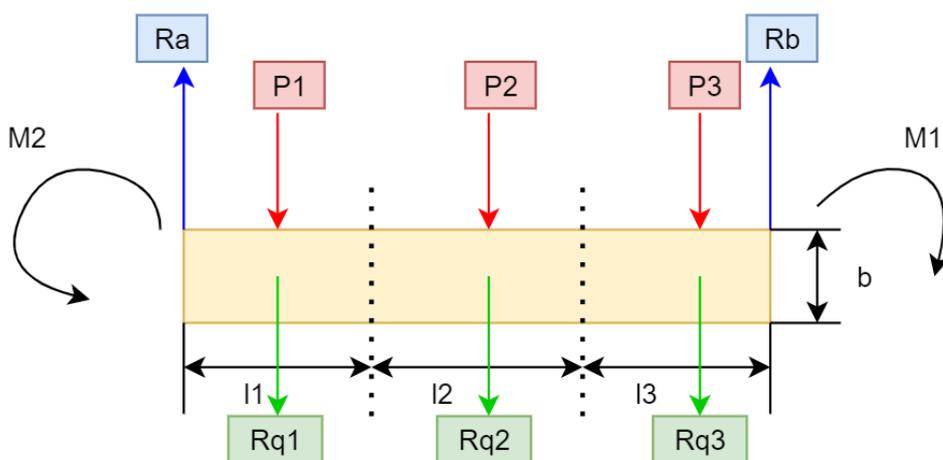


Рис. 1. Упрощенная схема стельки для расчета, где $M1$, $M2$ – действующие вращающие моменты, $P1... P3$ – распределенный вес, RA , RB – реакции опор, $Rq1$, $Rq3$ – распределенные силы, действующие внутри стельки

Были проведены три вида расчётов для вычисления соответствующих давлений в каждой части стельки. В вычислениях учитывались весовые коэффициенты.

Был проведен эксперимент с использованием педографической платформы emed. Суть эксперимента можно кратко изложить следующим образом. Пациент встает на поверхность платформы, оснащенной соответствующими датчиками, и платформа регистрирует значения давлений в стопе в областях площадью 1 см^2 [7]. На выходе получается соответствующее изображение (рис. 2). Следует отметить, что измерения можно проводить как во время статики, так и во время динамики (ходьба и бег). Изображение разделено на разноцветные области, где каждая соответствует определенному числовому значению. Красным и розовым отмечены наиболее нагруженные области, оттенками синего цвета – наименее нагруженные.

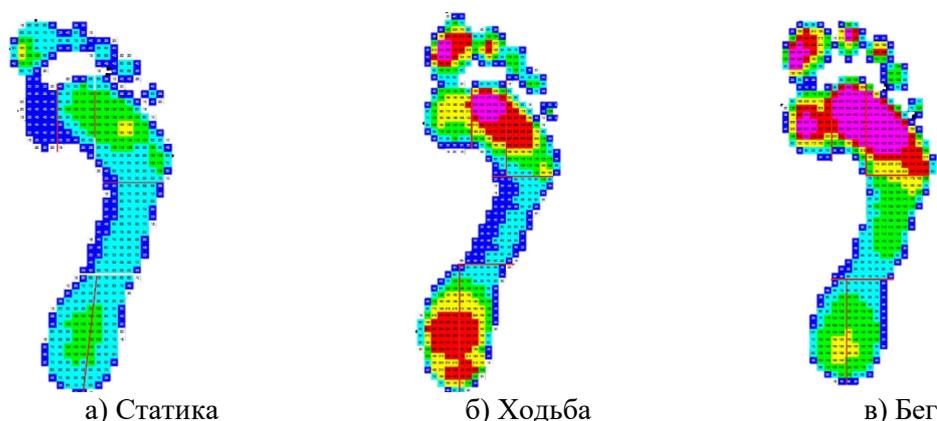


Рис. 2. Измерения давлений в статике а) и динамике б), в)

Перед выбором материала необходимо учесть следующее соотношение:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma], \quad (1)$$

где $W = 2.87 \cdot 10^{-5}$, площадь поперечного сечения стельки прямоугольной формы.

Максимальное значение 0,48 – пиковое значение прочности на изгиб. На основании полученного значения было обнаружено, что, либо полилактид (ПЛА), либо вспененный ПЛА являются наилучшими материалами для проектирования ортопедической стельки из-за особых свойств материала. Данный полимер имеет низкую скорость ухудшения рабочих характеристик, что позволяет использовать его для производства ортопедических изделий для длительного ношения.

Для прогнозирования оптимальных значений напряжений в стельке был использован алгоритм полиномиальной регрессии.

$$\hat{y} = \theta_0 + \theta_1 x + \theta_2 x^2 + \theta_3 x^3 + \dots + \theta_n x^n, \quad (2)$$

где

\hat{y} – спрогнозированное значение;

n – количество признаков;

x^n – значение i -го признака в соответствующей степени;

θ_j – j -й параметр модели (включая член смещения θ_0 , а также веса признаков $\theta_1 \dots \theta_n$).

Полученные данные используются для вычисления высоты, на которую необходимо поднять рельеф стельки для оптимальной разгрузки стопы. С учетом соотношений, используемых для расчетов, полученная величина составляет 1-2 (мм).

Функция лечения в ортопедической стельке осуществляется посредством микромассажного воздействия. Данное воздействие осуществляется с помощью перемещений вдоль оси z нескольких усеченных конусов, расположенных прямо под болевым очагом (там, где «концентрируется» плантарный фасциит). В результате перемещения усеченных конусов, поверхность их меньшего основания соприкасается с болевым очагом, и таким образом, выполняется массаж болевого очага, что предусматривает облегчение боли пациента. Учитывая конструктивные особенности, для данной задачи был выбран пьезоэлемент ЦТС – 19.

Рассмотрим габариты пяточной шпоры. Средняя длина пяточной шпоры составляет $l_{шпоры} = 3,86 \pm 3,36$ (мм), минимальная и максимальная величины $l_{min} = 3,36$ (мм), $l_{max} = 7,22$ (мм). Учитывая данные величины, рассмотрим величину болевого очага на пятке пациента, представленную на рис. 3. Для упрощения расчетов болевой очаг имеет прямоугольную форму с болевым центром посередине. Диаметр болевого центра равен длине пяточной шпоры.

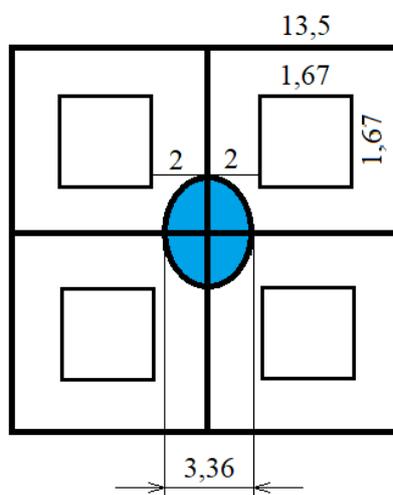


Рис. 3. Схематичное изображение болевого очага плантарного фасциита

В результате вычислений площади оснований усеченного конуса составляют $2,19$ (мм^2), для большего основания и 1 (мм) для меньшего основания. Итоговое перемещение усеченного конуса для реализации лечебного воздействия с помощью микромассажа составляет $1,25$ (мм).

Несмотря на эффективность, использование УВТ является довольно дорогостоящей технологией, и поэтому необходимо подобрать такой же эффективный и действенный аналог. Эту технологию можно повторить с помощью изменения режима работы пьезоэлектрика ЦТС-19. Свойство пьезоэлектриков деформироваться под электрическим напряжением создает микроперемещения, а за счет многослойности можно добиться перемещения в несколько миллиметров. Такой принцип может послужить аналогом технологии УВТ и использоваться для разбивания кальциевых солей на месте заболевания.

Для реализации такой технологии необходимо, чтобы пьезоэлектрик, используемый в работе, состоял из нескольких элементов или слоев, наложенных друг на друга. Каждый из этих элементов создает микроперемещение, а суммарное перемещение и будет являться воздействующим на очаг заболевания. Известно, что пьезоэлектрики имеют параметр, называемый пьезоэлектрической постоянной деформации – отношение полученного электрического напряжения к внешнему изменению толщины (создаваемой деформации). Эту константу можно получить из следующего расчета:

$$U_e = d_{33} * \Delta x_e, \quad (3)$$

где d_{33} – пьезоэлектрическая постоянная деформации; U_e – результирующее электрическое напряжение на пьезоэлектрическом элементе, (В); Δx_e – внешнее изменение толщины, (м).

Было получено значение, составляющее 5,6 (В). Следовательно, необходимо выбрать микросхему, которая способна выдавать значение в 5,6 (В) на выходе. Была найдена микросхема – генератор импульсов К176ИЕ5 – которую можно использовать в качестве источника напряжения для пьезоэлектрика.

В результате работы было спроектировано ортопедическое изделие, которое обеспечивает разгрузку стопы, смягчает болевой синдром и обеспечивает реабилитацию ПФ.

Литература

1. Ортопедические стельки igli и корректоры стопы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.medi-salon.ru/catalog/ortopedicheskie_stelki_igli_i_korrektory_stopy/, (дата обращения 21.01.2020).
2. Strassburg T.A., Stachura J. J. Static ankle plantar-flexion prevention device: пат. 5399155 США. 1995.
3. Advanced Foot Energizer [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://advancedfootenergizer.com/>. (дата обращения 21.01.2020).
4. InterX 5002 Professional [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://interxclinic.com/interx-5002-professional/>, (дата обращения 21.01.2020).
5. Биндюк В.В., Коваленко П.П. Прикладная механика: Учебное пособие - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО. 2014. 54 с.
6. ГОСТ Р 54739-2011 Изделия обувные ортопедические. Общие технические условия. М. 2013. 20 с.
7. Materials choices in foot orthotic design [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://opedge.com/Articles/ViewArticle/2008-02_13. (дата обращения 04.07.2020).

Дьякова Валерия Александровна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

Институт дизайна и урбанистики, студент,

студент группы №С42042,

направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика,

e-mail: dyakova.valery@yandex.ru

Кононова Ольга Витальевна

Год рождения: 1964

Университет ИТМО,

Институт дизайна и урбанистики,

к.э.н., доцент,

e-mail: kononolg@yandex.ru

УДК 004.9

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВИСА ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДОРОВЬЯ В РАМКАХ
ПРИОРИТЕТНОГО ПРОЕКТА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
«ЭЛЕКТРОННОЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЕ»**

В.А. Дьякова

Научный руководитель – к.э.н., доцент О.В. Кононова

Работа выполнена совместно с СПб ГБУЗ МИАЦ в рамках приоритетного проекта Санкт-Петербурга «Электронное здравоохранение» программы обучения «Цифровые технологии умного города».

Аннотация

В работе представлен подход к проектированию сервиса дистанционного мониторинга показателей здоровья для портала электронных сервисов «Здоровье петербуржца» в рамках приоритетного проекта Санкт-Петербурга «Электронное здравоохранение». С помощью данного сервиса появляется возможность сбора объективной информации о состоянии здоровья пациента, контроль процесса лечения и оперативная связь с лечащим врачом из любой точки мира.

Ключевые слова

Дистанционный мониторинг здоровья, электронное здравоохранение, цифровые медицинские сервисы, телемедицинское наблюдение.

Цифровые технологии активно внедряются в сферу здравоохранения. В настоящее время в Российской Федерации прорабатывается проект «Цифровая экономика», утвержденный указом Президента РФ от 09.05.2017 г. «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы», и включающий в себя несколько направлений работы, одним из которых является национальный проект «Здравоохранение» [1]. В рамках национального проекта «Здравоохранение» Правительством Российской Федерации активно осуществляется политика по развитию и модернизации системы здравоохранения для повышения качества и доступности медицинской помощи, за счет создания новой инновационной цифровой системы здравоохранения [2, 3].

Обычной практикой становится проведение телемедицинской консультации с врачом через интернет, получение больничного листа или рецепта и хранение медицинских документов в электронном виде [4]. На государственном уровне в регионах

разрабатываются проекты по совершенствованию процессов организации и оказания медицинской помощи за счет внедрения телемедицинских технологий, прорабатывается нормативная база по данному направлению.

Данная работа посвящена исследованию одного из направлений телемедицины – дистанционному мониторингу показателей здоровья пациентов. Благодаря телемедицинским технологиям появилась реальная возможность сбора объективной информации о состоянии здоровья пациента, контроля процесса лечения и оперативная связь с лечащим врачом из любой точки мира. Доступ пациентов к медицинской информации о собственном здоровье делает их более ответственными и усиливает вовлеченность в лечебный процесс. Причем значимость такой услуги, как дистанционный мониторинг показателей здоровья, была признана на государственном уровне, и был запущен в разработку соответствующий проект в рамках общего государственного вектора в области здравоохранения, направленного на повышение качества и продолжительности жизни населения. Поэтому вопросы улучшения системы предоставления медицинских услуг с помощью телемедицинских технологий, в том числе дистанционного мониторинга показателей здоровья, для решения данных проблем стали как никогда актуальны.

В 2018 году в Санкт-Петербурге был принят к разработке и исполнению проект «Электронное здравоохранение» [5], который входит в перечень приоритетных проектов города. Целью проекта является повышение организации оказания медицинской помощи гражданам Санкт-Петербурга за счет создания ИЭМК (интегрированной электронной медицинской карты) петербуржца, которая будет объединять всю информацию о пациенте, полученную от медицинских организаций, а также реализацией сервисов для пациентов на портале «Здоровье петербуржца», медицинских работников и руководителей здравоохранения. В рамках проекта планируется внедрить не менее 44 сервисов. Сервисы для пациентов направлены прежде всего на упрощение взаимодействия с системой здравоохранения: сокращение временных издержек по обращениям в организации, появление удобных инструментов контроля за показателями здоровья, полноценный свод информации о здоровье в электронной карте петербуржца – все это должно вовлечь пациента в процесс заботы о собственном здоровье. Одним из сервисов для пациентов является разрабатываемый сервис дистанционного мониторинга показателей здоровья.

Сервис дистанционного мониторинга показателей здоровья наиболее востребован при наблюдении и лечении пациентов с хроническими неинфекционными заболеваниями, такими как сахарный диабет и артериальная гипертензия, пожилых и маломобильных пациентов, а также пациентов, проживающих в отдаленных населенных пунктах [6, 7, 8]. Невозможность охватить наблюдением всех больных в связи с высокой загруженностью врачей, недостаточной вовлеченностью в заботу о своем здоровье населения и недостаточным привлечением к прохождению профилактических осмотров и диспансеризаций, свидетельствуют о необходимости внедрения дистанционного мониторинга пациентов. В результате использования сервиса появится возможность увеличить охват населения, нуждающегося в постоянном наблюдении, снизить число очных обращений больных в медучреждения и увеличить эффективность использования бюджетных средств в здравоохранении, а также отслеживать критические изменения показателей здоровья, появление сопутствующих заболеваний и факторов риска.

Хотя сегодня уже существуют мобильные приложения и электронные сервисы для дистанционного мониторинга показателей здоровья, они не являются доступными ресурсами общего пользования, не включены в региональную сеть и не интегрированы с медицинскими региональными системами и базами данных. Большинство приложений являются собственностью частных клиник и предоставляются только на возмездной основе. Поэтому так важно развитие региональных проектов по внедрению

телемедицинских технологий, которые дают возможность пациентам самостоятельно заполнять данные о собственном здоровье, предоставлять их лечащему врачу и консультироваться в онлайн режиме из любой точки мира.

В разрабатываемом сервисе дистанционного мониторинга показателей здоровья будет учтен опыт реализаций подобных сервисов. Сервис будет доступен для всех зарегистрированных пользователей портала «Здоровье петербуржца» бесплатно, так как его реализация осуществляется на базе единой государственной системы в сфере здравоохранения Санкт-Петербурга (ГИС РЕГИЗ) в рамках проекта «Электронное здравоохранение».

Сервис дистанционного мониторинга показателей здоровья представляет собой информационную систему, обеспечивающую получение, обработку и визуализацию данных о показателях здоровья пациента, которые могут быть получены, как с помощью ручного ввода, так и с помощью автоматической загрузки через мобильные каналы связи с различных совместимых диагностических устройств. Полученные данные после обработки в системе представлены в виде графиков и таблиц, пациент, а также лечащий врач могут ознакомиться с результатами измерений в своих личных кабинетах. Сервис дистанционного мониторинга показателей здоровья обеспечивает автоматизацию получения данных о показателях здоровья пациента, их анализ, прогнозирование и выявление рисков ухудшения здоровья для оперативной реакции лечащего врача или медицинского персонала на критические отклонения показателей.

На основе анализа опыта реализаций сервисов дистанционного мониторинга показателей здоровья, были выделены две модели взаимодействия пользователей с проектируемым сервисом дистанционного мониторинга показателей здоровья – «врач-пациент» и «пациент-сервис». Модель «пациент-сервис» предполагает взаимодействие пациента с сервисом без участия врача. Пациент с помощью сервиса может вести дневники самоконтроля показателей здоровья с получением обратной связи от сервиса в виде уведомлений о необходимости провести очередное измерение или заполнить опросник, а также рекомендаций по изменению режима самоконтроля. При этом, если пациент предоставит доступ к данным мониторинга выбранному им медицинскому работнику, то данная модель автоматически расширится до первой «врач-пациент». Модель дистанционного взаимодействия «врач-пациент» предполагает получение данных о показателях здоровья пациента медицинским работником непосредственно от пациента с помощью сервиса дистанционного мониторинга показателей здоровья. Данные могут передаваться, как автоматически с диагностических устройств, так и вручную через специальные сервисы. Для того, чтобы начать дистанционный мониторинг показателей здоровья пациента врачу необходимо определить план лечения, критические отклонения показателей и сроки проведения дистанционного мониторинга. Врач назначает дистанционный мониторинг показателей здоровья пациенту посредством специального портала или медицинской информационной системы. Данное назначение обрабатывается в РЕГИЗ, и после этого пациенту в личном кабинете открывается возможность начать дистанционный мониторинг с помощью ведения дневника самоконтроля и/или с помощью автоматической передачи данных с диагностических устройств. Полученные в ходе мониторинга данные должны быть предварительно преобразованы в удобный для анализа вид, после чего пациент и врач могут их просматривать в своих личных кабинетах. Получив всю необходимую информацию, медицинский работник может принять решение о необходимости корректирования сформированного ранее плана дистанционного мониторинга, назначенного лечения, проведения внеплановой встречи, связи с пациентом в режиме телемедицинской консультации или прекращении мониторинга [9].

Исходя из перечня основных функций сервиса, определенных в соответствии с моделями взаимодействия пользователей с сервисом дистанционного мониторинга

показателей здоровья, высокоуровневая архитектура системы состоит из трех уровней (рисунок). На уровне пользовательских интерфейсов происходит перевод действий пользователя в задачи для систем, сборе данных для обработки на уровне приложений, а также в переводе результатов, предоставляемых системой, в понятный пользователю формат. На уровне приложений происходит координация сервиса, обработка команд, принятие логических решений и оценок, выполнение анализа и расчетов, а также перемещение и обработка данных между двумя другими слоями. На уровне данных информация хранится и извлекается из базы данных. Затем информация передается обратно на уровень приложений для обработки, а обратно пользователю на уровень пользовательских интерфейсов.

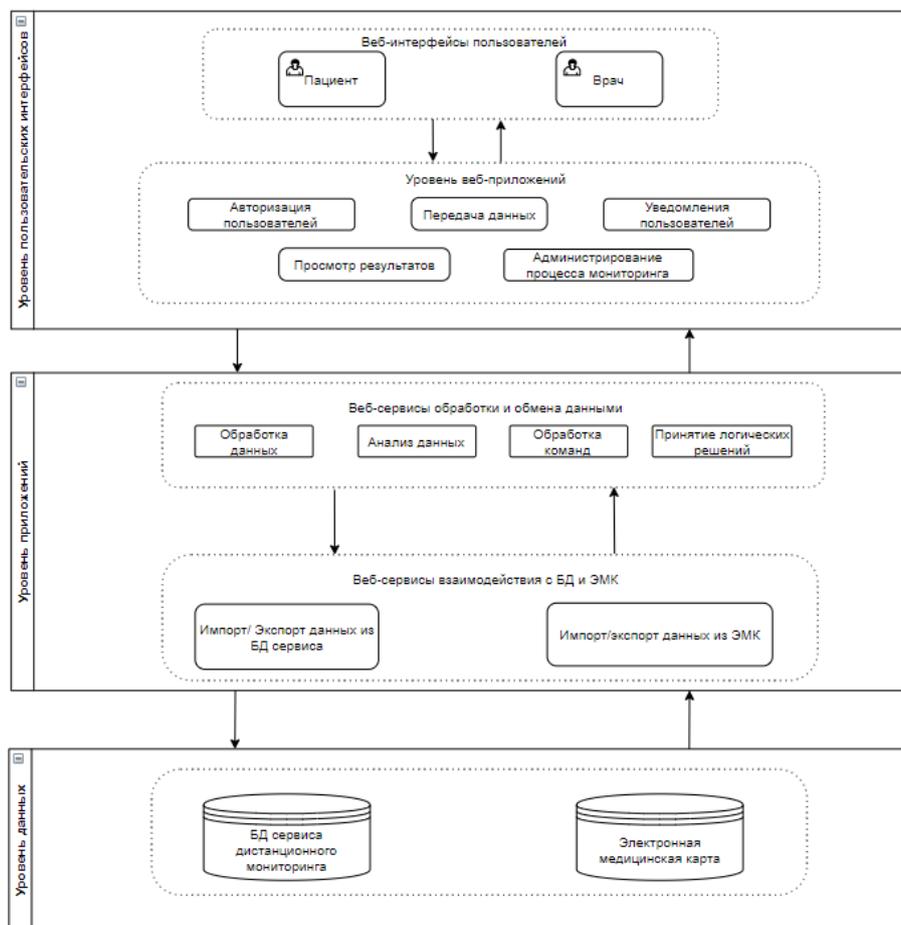


Рисунок. Архитектура электронного сервиса дистанционного мониторинга показателей здоровья

Проектируемый сервис вписывается в общую концепцию ГИС РЕГИЗ и отвечает сервис-ориентированному подходу построения архитектуры для успешной интеграции сервиса в РЕГИЗ. В соответствии с ранее описанными моделями и архитектурой сервиса, были определены функциональные и пользовательские требования к сервису дистанционного мониторинга показателей здоровья, а также спроектированы прототипы интерфейсов врача и пациента.

Исследовательская работа выполнялась в сотрудничестве с медицинским информационным аналитическим центром Санкт-Петербурга. Развитием темы исследования является апробация результатов при внедрении сервиса дистанционного мониторинга на портале электронных сервисов «Здоровье петербуржца», реализация сервиса планируется в 2022 году.

Литература

1. Sisyukov A.N., Yulmetova O.S., Kuznecov V.A., «GPU accelerated industrial data analysis in private cloud environment» // Proceedings of the 2019 IEEE Conference. 2019. P. 348–352.
2. Национальный проект «Здравоохранение» // Министерство здравоохранения РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosminzdrav.ru/poleznye-resursy/natsproektzdravookhranenie> (дата обращения: 05.12.2020).
3. Гусев А.О. проекте «Цифровое здравоохранение». Блог КМИС. 2017. URL: <https://www.kmis.ru/blog/o-proekte-tsifrovoe-zdravookhranenie/> (дата обращения 10.12.2020).
4. Григорьева Н.С., Демкина А.Е. Ограничения и возможности для достижения целей Национального проекта «Здравоохранение» в борьбе с сердечно-сосудистыми заболеваниями в условиях современной модели государственного устройства // Государственное управление. Электронный вестник. 2019 г. №76. С. 258.
5. Максимов Д.Е., Мишкина А.И., Карась С.И., Финченко Е.А. Персонализированные медицинские web-сервисы в системе здравоохранения Российской Федерации // Бюллетень сибирской медицины. 2014. том 13. №5. С.130-137.
6. СПб ГБУЗ МИАЦ. Проект «Электронное здравоохранение». Общее описание [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://spbmiac.ru/ehlektronnoezdravookhranenie/proekt-ehlektronnoezdravookhranenie/obshhee-opisanie/> (дата обращения 20.03.2021).
7. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Система mHealth для информационной поддержки больного сахарным диабетом // Биотехносфера. 2013. № 1 (25). С. 39-55.
8. Ионов М.В., Звартау Н.Э., Емельянов И.В., Конради А.О. Телемедицинское наблюдение и консультирование пациентов с артериальной гипертензией. Старые проблемы – новые возможности. Артериальная гипертензия. 2019. 25(4). С.337– 356. – doi:10.18705/1607-419X-2019-25-4-337-356.
9. Леванов В.М., Перевезенцев Е.А. Возможности комплексного использования телемедицинских технологий в системе медицинского обеспечения работающего населения на удалённых территориях (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. №1. Публикация 2-2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2019-1/2-2.pdf> (дата обращения: 13.04.2021). doi: 10.24411/2075-4094-2019-16233.

Зими́на Лада Владимировна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

Институт международного развития и партнёрства,

студент группы №D42423,

направление подготовки: 45.04.04 – Интеллектуальные

системы в гуманитарной сфере,

e-mail: ladamaximova@itmo.ru

Пучковская Антонина Алексеевна

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

институт международного развития и партнёрства,

к. культурологии, доцент,

e-mail: aapuchkovskaya@itmo.ru

УДК 009

**РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
ЦИФРОВЫМИ СРЕДСТВАМИ: ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ
ФАКТОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ И МЕТОДЫ
ТРАНСЛЯЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Л.В. Зими́на

Научный руководитель – к. культурологии, доцент А.А. Пучковская

Работа выполнена в рамках темы НИР-ПРИКЛ №420465 «Разработка мобильного приложения для геймификации процесса изучения истории и культуры Санкт-Петербурга».

Аннотация

В работе рассмотрен процесс трансформации практик репрезентации и популяризации культурного наследия через призму цифровых технологий. В ходе работы анализируется ризоморфность современной цифровой культуры, влияющая на характер интерпретации памятников культурного наследия и исторических ландшафтов. В практической части работы приводится структура для репрезентации историко-культурных данных о городском ландшафте через связи локаций и исторических персон, а также приводятся примеры трансляции данных, хранимых в разработанной базе данных с помощью разных пользовательских сценариев в рамках мобильного и веб интерфейсов.

Ключевые слова

Культурное наследие, геймификация, digital humanities, культурная память.

Интенсификация распространения и интеграции цифровых технологий во все сферы человеческой деятельности в начале XXI века, неизбежно влияет на культуру в целом и на практики взаимодействия с культурным наследием в частности. В то время как концепции культурного наследия и культурной памяти были широко исследованы, взаимосвязь между культурным наследием и его цифровым представлением требует дальнейшего исследования и обсуждения, чтобы выявить важные аспекты культурной памяти, которые могут быть выражены и транслированы посредством различных гаджетов и интерфейсов, особенно когда речь идет о тех культурных объектах, которые расположены не в секторе GLAM(галереи, библиотеки, архивы, музеи), а за его пределами, например, здания, статуи, архитектурные ансамбли, улицы, площади и т. д.

Объект культурного наследия – это сложный феномен, имеющий дискурсивно-ассоциативный характер, который состоит из множества хронологических слоев и ценностных измерений [1]. Культурное наследие и природная среда, с которой оно неразрывно связано, является уникальным и незаменимым, и в то же время подвергается постоянному переосмыслению, приобретая и утрачивая различные ценностные аспекты. Идея динамического определения была раскрыта австралийской исследовательницей Лораджин Смит, которая рассматривала культурное наследие не как объект, а как действие, которое может выражаться в созерцании объектов, их интерпретации или их сохранении - перечисленные акты коммеморации конституируют наши представления о прошлом и его значимости в настоящем [2].

В фокусе проведенного исследования находится материальное культурное наследие, составляющее культурный ландшафт Санкт-Петербурга. Сам город был основан в 1703 году Петром Великим как «окно в Европу». За время своего развития город трижды менял свое название, приобретая новые характерные черты и коннотации, которые находили свое отражение в городском ландшафте и культурной памяти. Многочисленные художественные, документальные и научные тексты о городе содержат обширные данные о его культурно-историческом развитии. Более того, центр Санкт-Петербурга признан объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО, на территории города находится 8464 объекта, признанных культурно и исторически значимыми на уровне страны [3]. Онлайн-платформа в виде веб или мобильного приложения может быть таким дополнением к видимой предметной реальности, в которой создается «виртуальная экспозиция» города. Такая платформа - где здания запечатлены не как утилитарные объекты, а как объекты музейного показа - может добавить городским локациям новые культурные коннотации и вызвать преобразование городской локации в объект культурного наследия в сознании пользователя.

Задача представления городского культурного ландшафта требует проработанной структуры базы данных, которая должна быть, с одной стороны, научной и репрезентативной с точки зрения гуманитарных наук и краеведения и, с другой стороны, масштабируемой с точки зрения реализации базы данных. Предлагаемая структура данных, призвана репрезентировать объекты культурного наследия, ретроспективно представляя историю каждого и в то же время, связывая разрозненные объекты в единый ландшафт посредством связей локаций с исторически значимыми персоналиями. На рисунке представлена разработанная структура данных, использованная в проекте по визуализации культурного наследия на карте города, представленная структура призвана хранить данные для их последующей репрезентации посредством веб-интерфейса и использования в мобильном приложении, применяющем элементы геймификации для изучения истории города в игровом формате.

Одной из главных отличительных черт данной структуры данных является представление локаций как набора взаимосвязанных сущностей, которые могут отражать разные периоды существования локаций или разные функции, которые она могла исполнять в разное время или параллельно. Другой особенностью является упомянутый выше фокус на репрезентации связей локаций с историческими персоналиями. Теоретическим основанием для данного решения послужила концепция «музея лиц» русского философа Н.Ф. Федорова [4]. Разработанное решение для базы данных внедрено в проекты Que.St и St.Retrospect.

Проект «St.Retrospect» (<https://st-retrospect.dh-center.ru/>) – это попытка создать единую интерактивную двуязычную онлайн среду, содержащую историко-культурологические метаданные об исторически значимых локациях г. Санкт-Петербурга, представленные на карте города. Важной составляющей приложения «Que.St» (<https://quest.dh-center.ru/>) и его главной коммуникативной стратегией является геймификация. Помимо локаций и маршрутов, приложение включает в себя такие

способы трансляции информации как сторителлинг, квест, интерактивная новелла, а также популярные в компьютерных играх механики: очки опыта, коллекционные предметы и достижения.

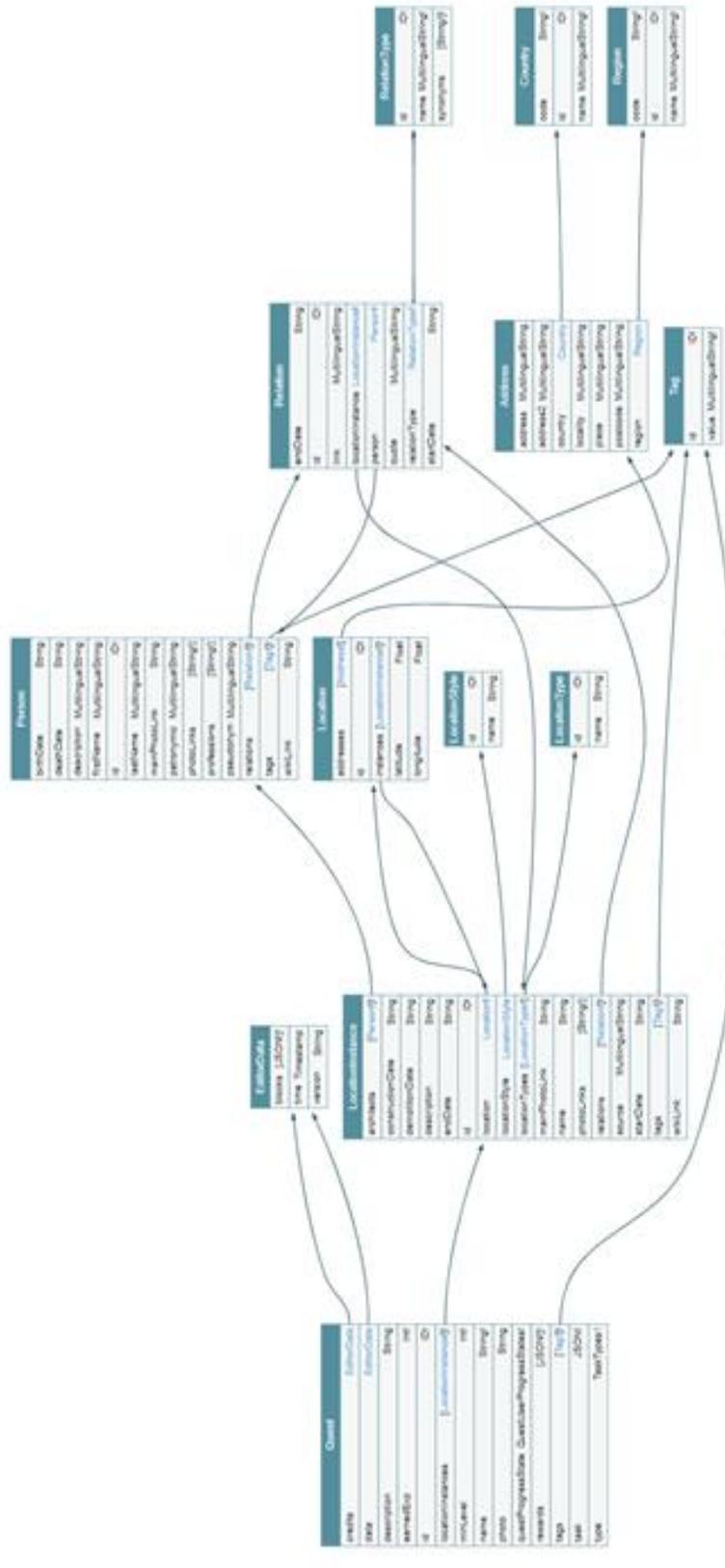


Рис. 1. Предлагаемая структура данных

В ходе работы были проиллюстрированы два разных пользовательских сценария для мобильного и веб-приложений на основе одних и тех же данных о пребывании Ленина в Санкт-Петербурге. Поскольку мобильное приложение нацелено на геймификацию и взаимодействие с подлинной исторической локацией на месте, так и с ее цифровым представлением в приложении, основной задачей было найти и поддерживать баланс между виртуальным опытом прохождения квеста и физическим опытом прогулки по городу - поэтому была выбрана механика ответа на вопросы “что Ленин здесь делал” с помощью поиска информации на мемориальных досках. С другой стороны, веб-приложение, основанное на поисковых запросах, может представить локации, связанные с Лениным во всем их многообразии. Отсутствие необходимости физического перемещения в пространстве дает возможность выстроить нарратив хронологически, показав последовательно все локации, с которыми так или иначе был связан Ленин во время своего пребывания в Санкт-Петербурге и затем - Петрограде.

Так как представленная работа носит скорее экспериментальный характер, она ставит вопросы и предлагает возможные решения, не претендующие на статус лучших из возможных. Наше исследование призвано послужить продолжением дискуссии о современных практиках цифрового представления объектов культурного наследия и применения культурно-пространственных нарративов для репрезентации культурного наследия. Мы надеемся, что проекты Que.St и St.Retrospect смогут предоставить больше возможностей для развития и трансформации культурного наследия не только в секторе GLAM, но и в более широком культурном поле, чтобы адаптировать практики коммеморации прошлого к меняющемуся миру в цифровую эпоху.

Литература

1. Molodkina L. To the question of phenomenology of memory (based on the example of architectural and natural memorial) // Vestnik of MSU. Series 7. Philosophy. 2007. №6. P. 88-97.
2. Smith L. Uses of heritage. Routledge. 2006.
3. Статистика культурной жизни. [Электронный ресурс] https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_culture/culture_statistics/ (Дата обращения: 01.05.2021).
4. Федоров Н.Ф. Музей, его смысл и назначение // Собр. соч. 1982. №. 4. С. 370-422.

Иванов Артем Борисович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М42382,

направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика,

e-mail: ivart07@mail.ru

Ульянцев Владимир Игоревич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

к.т.н.,

e-mail: ulyantsev@itmo.ru

УДК 004.891.2

**МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ИЗ ДАННЫХ
СЕКВЕНИРОВАНИЯ МЕТАГЕНОМА И ПРИМЕНЕНИЕ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ
ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КИШЕЧНИКА**

А.Б. Иванов

Научный руководитель – к.т.н. В.И. Ульянцев

Работа выполнена в рамках темы НИР №718574 «Методы, модели и технологии искусственного интеллекта в биоинформатике, социальных медиа, киберфизических, биометрических и речевых системах».

Аннотация

В работе предложен и реализован метод извлечения признаков из данных секвенирования групп метагеномных образцов. Метод основан на извлечении k-меров, специфичных для группы метагеномов, и построении компонент с использованием графа де Брейна. Полученные компоненты используются в качестве признаков для классификации метагеномных образцов с применением машинного обучения, в том числе для помощи в диагностировании воспалительных заболеваний кишечника на основе данных секвенирования микробиоты кишечника человека.

Ключевые слова

Метагеномика, биоинформатика, извлечение признаков, машинное обучение, граф де Брейна, микробиота, воспалительные заболевания кишечника.

Метагеномика – это раздел молекулярной биологии, в котором изучаются сообщества микроорганизмов из окружающей среды, являющиеся ее неотъемлемой частью. Одной из наиболее актуальных сред для изучения является микробиота кишечника человека, которая играет важную роль в метаболизме и иммунном ответе человека. Ее изучение может помочь в диагностировании воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК) – группе воспалительных процессов в желудочно-кишечном тракте, среди которых выделяют язвенный колит (ЯК) и болезнь Крона (БК). Развитие методов секвенирования позволило получать информацию о ДНК всех организмов из образца для проведения исследований. Одним из методов анализа является метагеномная сборка, то есть процесс получения из данных секвенирования длинных участков ДНК, соответствующих определенным организмам. Однако при сборке может теряться часть

информации о близкородственных организмах, поэтому для сравнения метагеномных образцов могут быть использованы методы на основе k-меров – нуклеотидных строк длины k. Такой подход позволяет анализировать весь объем полученных в результате секвенирования данных, но биологическая интерпретация k-меров затруднительна, что приводит к необходимости разработки новых методов для улучшения качества сравнительного анализа метагеномов.

В данной работе предложен и реализован метод по извлечению уникальных k-меров из групп метагеномных образцов. На рис. 1 показано, как данный метод работает при сравнительном анализе метагеномных образцов из трех категорий. Идея метода состоит в извлечении k-меров, которые встречаются хотя бы в заданном числе образцов одного класса и не встречаются ни в одном из образцов других классов. Таким образом, извлекаются уникальные k-меры для каждой категории. Полученные группы уникальных k-меров могут быть использованы для классификации метагеномных образцов с неустановленной категорией. Это достигается путем поиска уникальных k-меров в анализируемом метагеномном образце и его классификации к категории с наибольшим числом уникальных k-меров. Алгоритм реализован на языке Java и внедрен в программное средство MetaFast [1].

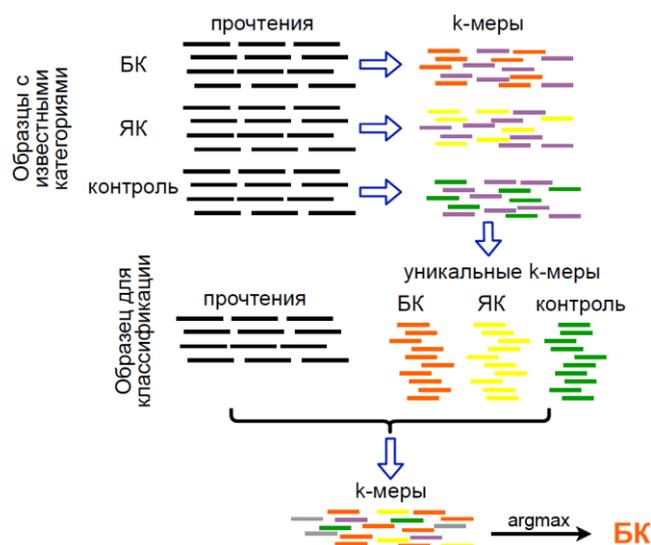


Рис. 1. Схема выделения уникальных k-меров и классификации метагеномных образцов на примере задачи ВЗК

Помимо метода для извлечения уникальных k-меров необходимо предложить решение для возможности биологической интерпретации полученных признаков. Для решения данной задачи был предложен алгоритм по выделению локальных подграфов из графа де Брейна вокруг уникальных k-меров. Данное решение позволило значительно сократить число признаков, а также получить вместо коротких k-меров продолжительные участки ДНК (контиги), которые удобно использовать для таксономической и функциональной аннотации.

Далее было проведено экспериментальное исследование разработанных методов. На первом этапе было проведено сравнение с двумя другими методами метагеномного анализа, основанными на работе с k-мерами, HAWK [2] и KmerGO [3]. Был проведен анализ набора штаммов кишечной палочки *E. Coli*, часть из которых является устойчивой к антибиотику ампициллину. Каждый из алгоритмов извлек специфичные k-меры для устойчивых штаммов. Их число представлено на рис. 2, из которого видно, что среди специфичных k-меров есть группа, которая была обнаружена всеми методами.

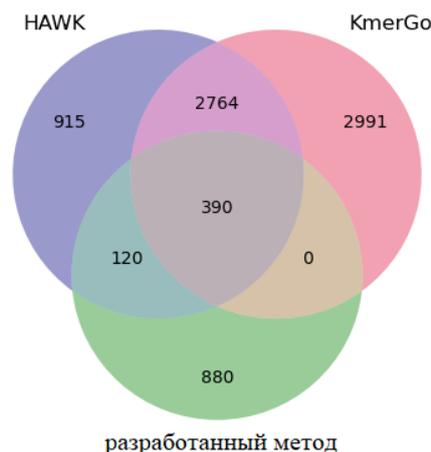


Рис. 2. Диаграмма Венна специфичных k-меров для набора штаммов кишечной палочки, выделенных с помощью HAWK, KmerGO и разработанного метода

Результаты дальнейшего сравнения методов представлены в табл. 1. Выделенные k-меры были объединены в контиги, и была проведена их функциональная аннотация. Для всех трех методов был обнаружен ген β -lactamase TEM, который обладает свойствами устойчивости к антибиотикам. Разработанный метод, однако, показал высокую скорость работы по сравнению с существующими алгоритмами, особенно при повторных запусках, в связи с возможностью использовать результаты предыдущих вычислений. Также подбор параметров позволил выделить с помощью предложенного метода только одну последовательность, которая считается ключевой для развития устойчивости к антибиотикам.

Таблица 1

Статистика по сравнению разработанного алгоритма с существующими методами, основанными на анализе k-меров

программа	HAWK	KmerGO		разработанный метод	
		threshold=0.8	threshold=0.7	min-samples=50	min-samples=95
параметры	—	threshold=0.8	threshold=0.7	min-samples=50	min-samples=95
время работы (препроцессинг + анализ)	>3 часов	1 час 33 мин	1 час 50 мин	2 часа (1 час 45 мин + 15 мин)	14 мин
уникальные k-меры для резистентной группы, шт	4189	1087	6145	1390	28
уникальные контиги для резистентной группы, шт	9	5	61	216	1
классифицированные контиги, шт	7	3	34	60	1
предсказанные гены	β -lactamase TEM; Transposase for transposon Tn3	β -lactamase TEM; Transposon Tn3 resolvase	β -lactamase TEM; Transposase for transposon Tn3	β -lactamase TEM; Transposase for transposon Tn3	β -lactamase TEM

На втором этапе было проведено тестирование разработанного метода на данных секвенирования микробиоты кишечника пациентов с ВЗК для оценки точности алгоритма классификации. Выделение уникальных k-меров производилось на данных из статьи Franzosa [4], которые затем использовались для классификации образцов из статьи Schirmer [5]. Минимальное число образцов для обнаружения специфичных k-меров варьировалось от одного до десяти. Для оценки качества использовалась метрика AUPR – площадь под кривой на графике точность-полнота. Оценка производилась для четырех задач двухклассовой классификации (ВЗК – контроль, БК – контроль, ЯК – контроль, ЯК – БК). Результаты, представленные в табл. 2, свидетельствуют о высокой точности предложенного метода для первых трех задач, однако качество решения наиболее сложной задачи различения язвенного колита и болезни Крона нуждается в улучшении.

Таблица 2

**Результаты тестирования классификаторов
для метагеномных данных из статьи [5] с метрикой AUPR**

	ВЗК – контроль	БК – контроль	ЯК – контроль	БК – ЯК
unique k-mers (≥ 1 samples)	0,92	0,90	0,78	0,72
unique k-mers (≥ 2 samples)	0,91	0,87	0,77	0,56
unique k-mers (≥ 3 samples)	0,90	0,87	0,77	0,58
unique k-mers (≥ 4 samples)	0,90	0,87	0,76	0,58
unique k-mers (≥ 5 samples)	0,91	0,87	0,78	0,61
unique k-mers (≥ 6 samples)	0,91	0,88	0,80	0,61
unique k-mers (≥ 7 samples)	0,91	0,88	0,83	0,61
unique k-mers (≥ 8 samples)	0,92	0,89	0,81	0,61
unique k-mers (≥ 9 samples)	0,92	0,89	0,79	0,57
unique k-mers (≥ 10 samples)	0,91	0,87	0,76	0,57

Также разработанный метод был применен для участия в международном соревновании по метагеномной диагностике ВЗК – The Metagenomics Diagnosis for IBD Challenge (MEDIC, <https://www.intervals.science/resources/sbv-improver/medic>). Целью соревнования было разработать метод выделения признаков из сырых данных метагеномного секвенирования микробиоты кишечника пациентов с ВЗК и на их основе произвести классификацию для образцов с неизвестными участникам категориями. Автор принял участие в соревновании как участник команды от лаборатории «Компьютерные технологии» Университета ИТМО. Для оценки необходимо было решить четыре двухклассовые задачи и отправить в качестве ответа вероятности принадлежности образцов из закрытого набора данных к одному из классов. Ранжирование производилось по сумме результатов для всех четырех задач с метриками качества AUPR и MCC (коэффициент корреляции Мэтьюса). Автором было отправлено несколько решений. Первые попытки были основаны на использовании оригинального

алгоритма MetaFast для выделения компонент и применении машинного обучения, однако, лучший результат среди всех решений был получен при извлечении уникальных k-меров для каждой из групп (БК, ЯК, контроль). Результаты соревнования представлены на рис. 3. Из него видно, что использование k-меров показывает более точные результаты классификации по сравнению с методами, основанными на определении таксономического и функционального составов метагеномного образца. Также интересно отметить, что более простые модели машинного обучения, такие как случайный лес деревьев решение, показывают лучшую точность, чем, например, методы бустинга. Предположительно это объясняется большим числом признаков и малым числом образцов в обучающем наборе данных, что может приводить к переобучению модели. Наконец, необходимо отметить, что разработанный метод на основе извлечения уникальных k-меров (самый левый на рис. 3) значительно превосходит по качеству другие методы. Это позволило автору стать победителем соревнования MEDIC.

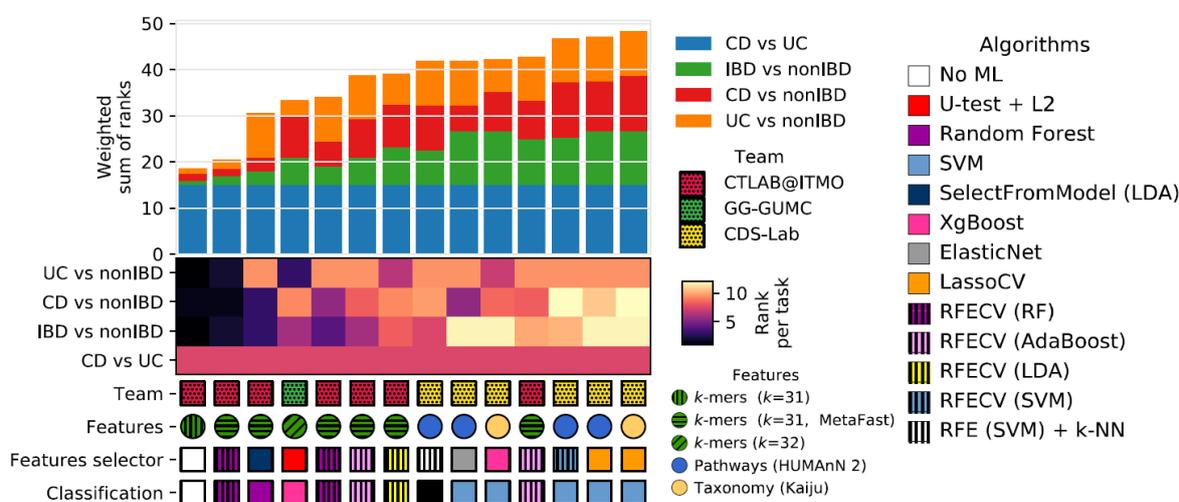


Рис. 3. Итоговое ранжирование решений в соревновании MEDIC, адаптирован из <https://www.intervals.science/resources/sbv-improver/medic>. Команда автора – CTLAB@ITMO

Кроме того, был проведен таксономический и функциональный анализ признаков, уникальных для болезни Крона. Были обнаружены две таксономические единицы *Lachnoclostridium sp. YL32* и *Fusobacterium nucleatum*, которые связаны с развитием колоректального рака. Также были обнаружены гены утилизации этаноламина, который при воспалении позволяет патогенам успешно конкурировать с нормальной микробиотой кишечника. Данные находки подтверждают применимость разработанного метода для извлечения интерпретируемых признаков из данных метагеномного секвенирования.

Итого, в данной работе разработан и реализован новый метод анализа данных секвенирования метагеномов на основе извлечения уникальных k-меров из групп метагеномных образцов. Предложенный метод, в отличие от методов сборки, позволяет использовать наиболее полную информацию о метагеномных образцах, тем самым повышая точность сравнительного анализа. Кроме того, был реализован метод выделения подграфов в графе де Брейна вокруг уникальных k-меров, который позволяет получать интерпретируемые признаки и проводить их таксономическую и функциональную аннотацию. Разработанные методы показывают высокую скорость работы по сравнению с другими k-мерными методами. Применение методов для решения задачи классификации воспалительных заболеваний кишечника показало высокую точность предложенных методов.

В дальнейшем планируется модификация методов выделения подграфов с использованием дополнительной информации об образцах и их таксономическом и функциональном составе. Предложенные методы могут лечь в основу системы поддержки принятия решений при неинвазивном диагностировании воспалительных заболеваний кишечника на основе данных секвенирования микробиоты кишечника. Кроме того, метод может быть использован для сравнительного анализа микробных сообществ из других сред, таких как почва или водоемы.

Литература

1. Ulyantsev V.I. et al. MetaFast: fast reference-free graph-based comparison of shotgun metagenomic data //Bioinformatics. 2016. Т. 32. №. 18. С. 2760-2767.
2. Rahman A. et al. Association mapping from sequencing reads using k-mers //Elife. 2018. Т. 7. С. e32920.
3. Wang Y. et al. KmerGO: A Tool to Identify Group-Specific Sequences With k-mers //Frontiers in microbiology. 2020. Т. 11. С. 2067.
4. Franzosa E.A. et al. Gut microbiome structure and metabolic activity in inflammatory bowel disease //Nature microbiology. 2019. Т. 4. №. 2. С. 293-305.
5. Schirmer M. et al. Dynamics of metatranscription in the inflammatory bowel disease gut microbiome //Nature microbiology. 2018. Т. 3. №. 3. С. 337-346.

Иванова Анастасия Александровна

Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
студент группы №Т41062,
направление подготовки: 19.04.02 – Продукты
питания из растительного сырья,
e-mail: skorpyon96@mail.ru

Кипрушкина Елена Ивановна

Год рождения: 1970
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
д.т.н., доцент,
e-mail: eikiprushkina@itmo.ru

УДК 638.12:638.144.52:638.162.3

**ИММУНОСТИМУЛИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ В ПЧЕЛОВОДСТВЕ,
ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПЧЕЛ И КАЧЕСТВО МЁДА**

А.А. Иванова

Научный руководитель – д.т.н., доцент Е.И. Кипрушкина

Работа выполнена в рамках темы НИР №620142 «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии биоактивных пищевых ингредиентов с заданными свойствами из биоресурсов и вторичных сырьевых источников растительного и животного происхождения для обеспечения здорового питания населения РФ с использованием пищевой комбинаторики».

Аннотация

В работе проведено научное обоснование применения природной иммуностимулирующей добавки в пчеловодстве, обеспечивающей выживаемость пчел и качество меда, изучена проблема массовой гибели пчелосемей, оценить применяемые кормовые добавки для повышения иммунитета пчёл. Проведен эксперимент, показывающий влияния природных иммуностимулирующих добавок на выживаемость, продуктивность и поведенческие характеристики пчел, а также на качество мёда.

Ключевые слова

Пчела медоносная *Apis mellifera*, выживаемость пчел, β -глюканы, хитозан, пчелиные соты, повышение иммунитета, показатели качества мёда.

Пчеловодство – одна из основных отраслей сельского хозяйства. Россия является одним из крупнейших производителей меда в мире, занимая пятое место среди мировых производителей продуктов пчеловодства. Благодаря пчелам обеспечивается опыление около 150 видов энтомофильных хозяйственных культур (рапс, гречиха, эспарцет, подсолнечник), повышая урожайность сельскохозяйственных культур на 50%. В России производят 70 тысяч тонн мёда [1]. По причине нарушения норм обработки сельскохозяйственных полей пестицидами, массового появления вредителей и возбудителей инфекционных болезней пчел, с 2019 года в 30 регионах страны отмечается массовая гибель пчел (погибло 40 тысяч пчелосемей), что привело к сокращению их численности до 3,09 миллионов семей [2]. В ситуации массовой гибели пчел из-за негативного воздействия на них пестицидов необходимо принимать меры по

стимулированию иммунитета пчел. Одним из таких способов является использование кормовых добавок, обогащенных полезными, иммуностимулирующими и питательными веществами [3].

В качестве перспективного сырья для получения иммуномодулятора для пчел применяли распространенный на территории России гриб "Вешенка устричная" - *Pleurotus ostreatus*. Выбор данного гриба обусловлен его высокой пищевой ценностью и не сложностью культивирования, наличия бета-глюканов в составе (оказывают иммуномодулирующие свойства, противоопухолевый и радиопротекторный эффекты), а также выращиванием данных грибов в промышленных масштабах, а следовательно, они являются доступным и относительно дешевым сырьем [4].

Объектом исследования являлась генерация медоносных пчел *Apis Mellifera* периода апреля-июня 2020 года, предоставленные для изучения пасекой ФГБНУ "Федеральный научный центр лубяных культур" (д. Кусва). Были созданы опытные группы по принципу семей-аналогов с учетом их массы, возраста, сформированы 3 группы семей пчел по 3 в каждой, где первая – контрольная, другие – опытные) [5]. Сбор пчел с пасеки осуществляли с помощью энтомологических садков пчеловодческих скребков, щеток. Общее количество пчел весенне-летней генерации, содержащихся в энтомологических садках приведено в табл. 1.

Таблица 1

Количество пчел в период проведения эксперимента

Количество пчел, особей										
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Контрольная группа			Опытная группа 1		Опытная группа 2		Опытная группа 3		
Общее количество пчел в садках	538	527	583	580	562	564	590	608	606	651

В энтомологических садках №1, 2, 3 содержались пчелы контрольной группы, в садках №4, 5, 6, 7 – группы пчел, получавших бета-глюканы в составе композиции сахарного сиропа, в садках №8, 9, 10 – группы пчел, получавших препарат «БиХит» на основе хитозана в составе композиции сахарного сиропа.

Материалы исследования: 1) Бета-глюканы, полученные на основе грибов рода Вешенки, получены на кафедре технологии микробиологического синтеза СПбГТИ(ТУ); 2) Хитозансодержащая подкормка «БиХит».

С целью изучения влияния иммуностимулирующих природных добавок на продолжительность жизни пчел, определения оптимальной дозы были проведены лабораторные исследования в энтомологических садках на пчелах весенне-летней генерации. Для проведения исследования были получены композиции для кормления пчел на основе природных иммуностимулирующих добавок. Составы кормовых композиций для каждой экспериментальной группы приведены в табл. 2.

Приготовленные сиропы с добавками и без добавок разливали в кормушки из расчета 200 см³ на две-три повторности содержащихся в садках пчел (1500-1800 особей) и применяли в течение всего периода генерации. Замену сиропа осуществляли через 2-3 дня, каждый раз готовили свежие образцы сахарного сиропа контрольного и опытных вариантов опыта. Жизнеспособность пчел оценивали по динамике их гибели. За пчелами вели ежедневное наблюдение, 2 раза в сут – в утреннее и вечернее время: учитывали число погибших особей. Поведенческую активность пчел определяли визуальным методом (наблюдение). Продуктивность пчел оценивали по размеру произведенных сот пчелами в период проведения эксперимента [5].

Таблица 2

Состав кормовой композиции для экспериментальных групп пчел

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Контрольная группа			Опытная группа 1		Опытная группа 2		Опытная группа 3		
Составные вещества	Масса вещества на 200 г корма, г									
Сахароза	120			120		120		120		
Активно действующее вещество – β -глюканы	-			0,0006		0,0012		-		
Препарат «БиХит»	-			-		-		0,8		
Дистиллированная вода	80			80		80		80		

По результатам исследования в трех повторностях контрольной группы гибель 50% пчел произошла в среднем на 45-73 сут. Гибель 100% пчел в садках произошла на 77-104 сут. Также в садке №2 с 43 по 46 сут произошла гибель примерно 40% пчел. Причиной гибели может являться маленькая или слабая семья, находящаяся в садке. В двух повторностях опытной группы №1 гибель 50% пчел произошла в среднем на 77 сут. Гибель 100% пчел в садках произошла на 114-119 сут. Также в садке №5 с 13 по 15 сут произошла гибель 20% пчел. Причинами гибели, вероятно, являются слабость пчелосемьи и сложность адаптации при смене условий проживания (из г. Псков в г. Санкт-Петербург). В двух повторностях опытной группы №2 гибель 50% пчел произошла в среднем на 122-126 сут. Гибель 100% пчел в садках произошла на 135-139 сут. В трех повторностях опытной группы №3 гибель 50% пчел произошла в среднем на 122-126 сут. Гибель 100% пчел в садках произошла на 135-139 сут. При этом в садке №9 гибель 70% пчел произошла уже на 18-19 день эксперимента, что вероятно означает возникновение трудностей в адаптации при изменении территориальных условий содержания пчел (из г. Псков – г. Санкт-Петербург) при слабости пчелосемьи. В табл. 3 приведены сводные данные продолжительности жизни пчел во всех 4 экспериментальных группах пчел за период проведения эксперимента.

Таблица 3

Общая продолжительность жизни пчел *Apis mellifera* в энтомологических садках за период проведения эксперимента (2020 г.)

№ п/п	Продолжительность жизни пчел, сут									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Контрольная группа			Опытная группа 1		Опытная группа 2		Опытная группа 3		
Дата гибели последней пчелы в садке	19.09	10.09	07.10	22.10	17.10	11.11	07.11	02.10	19.08	06.09
Период жизни, сут.	86	77	104	119	114	139	135	99	55	73

Эффективность применения добавок может быть оценена следующим образом: контрольная группа пчел показала продолжительность жизни в среднем – 89 дней; Опытная группа №1, получавшая бета-глюканы в количестве 0,0006 г, показала продолжительность жизни в среднем – 116,5 дней; Опытная группа №2, получавшая удвоенную дозу бета-глюканов (в количестве 0,0012 г) показала продолжительность

жизни в среднем – 137 дней; Опытная группа пчел №3, получавшая препарат «БиХит» - в среднем – 75,7 дней).

Кроме этого, были измерены соты в садках с пчелами, полученные данные представлены в табл. 4.

Таблица 4

Итоговый размер сот пчел *Apis mellifera* в энтомологических садках на последний день проведения эксперимента

Параметр	№ п/п энтомологического садка									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Контрольная группа			Опытная группа 1		Опытная группа 2		Опытная группа 3		
Наличие соты с содержимым	+		+	+	+		+	+		+
Размер соты, см	1,1		4,8	9,5	10,3		2,5	1,5		13,6

В садке №10 сота является наибольшей по размеру, занимает практически весь периметр садка из-за чего метод визуального наблюдения за пчелами, их поведением был затруднен. При этом в данной соте было очень большое количество содержимого. В садках №1, 8 соты имели вид единичных участков на стенке садков, однако, содержимое присутствовало. Наличие сот в садках может быть связано с активным кормлением пчел, стимулированием их продуктивности. Соты были сделаны в садках пчелами примерно в один и тот же период времени – в начале эксперимента (13-14 июля 2020 года), что говорит о том, что действие добавок проявляется активно уже спустя 2 недели после начала применения иммуностимулирующих добавок. Отмечена повышенная активность пчел (быстрые перемещения, гиперактивность, стремительный вылет из садка при кормлении и проведении других процедур) в садках №7 (в особенности, в дату 02.10.2020 года) и №5 (отмечена начиная с 25.07.2020 года).

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что в среднем композиция на основе бета-глюкоканов продлевает продолжительность жизни пчел в 1,3 раза, удвоенная дозировка бета-глюкоканов в композиции – в 1,5 раз, препарат «БиХит» - продемонстрировал неоднозначный результат – средний показатель продолжительности жизни в 3 группах пчел упал в сравнении с контрольными группами в 1,17 раз, однако, наибольшую продолжительность жизни из группы пчел, принимавших препарат «БиХит», показала группа, содержащаяся в садке №8 – 99 дней, что в сравнении со средним показателем контрольной группы увеличило продолжительность жизни пчел в 1,1 раз. Наивысшую выживаемость показали энтомологические садки №6, 7. Наименьшую выживаемость – садки №2, 9, 10.

Применение иммуностимулирующих добавок в кормовых композициях приводит к стимулированию активности пчел (производство сот, активное поведение). Наличие сот в садках связано с продуктивным кормлением пчел. Соты были сделаны в садках пчелами в один период времени – в начале эксперимента (13-14 июля 2020 года), что говорит о том, что действие иммуностимулирующих добавок проявляется активно уже через 2 недели после начала эксперимента.

Также были исследованы показатели качества и биобезопасности пчелиного мёда. Были отобраны пробы мёда от пчел, получавших кормовые композиции (бета-глюкоканы, а также хитозан в составе препарата «БиХит»). Данные пробы сравнили с контрольными образцами мёда. Мёд был исследован на органолептические и физико-химические показатели качества. По результатам ветеринарно-санитарной экспертизы проб мёда было выявлено, что все пробы соответствуют необходимым требованиям ГОСТ «Мед

натуральный. Технические условия» (от 25 сентября 2001 г. № 19792-2001) и могут быть допущены к продаже без ограничений. Выявлено, что иммуностимулирующие добавки не оказывают отрицательного влияния на качества мёда.

Внесение β -глюканов в состав кормовых добавок для пчёл не оказывает отрицательного влияния на показатели качества и биобезопасности мёда, что обеспечивает применение полисахаридов высших грибов - β -глюканов для создания экологически безопасных биодобавок в пчеловодстве.

Литература

1. Смоленцева Е.В. Оценка современного состояния российского рынка меда // Московский экономический журнал. 2019. №. 4.
2. Диденко А.О. Гибель пчел в России и мире: состояние проблемы // АгроФорум. 2020. №. 5.
3. Gamal Eldin N.K., Ebeid A.A., Sallam A.M., & Basuny N.K. 2018. Effect of Pollen Supplements and Substitutes on Honey Bee Queen Ovaries and Worker Hypopharyngeal Glands. Journal of Plant Protection and Pathology 9(2). 83–91.
4. Ананьева Е.П., Гурина С.В., Кожемякина Н.В. Состав и биологическая активность углеводных фракций *pleurotus ostreatus* // Проблемы медицинской микологии. 2007. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostav-i-biologicheskaya-aktivnost-uglevodnyh-frakt>. (дата обращения 15.13.2021).
5. Ярошевич Г.С., Мазина Г.С., Кузьмин А.А. Влияние биологически активных веществ на увеличение продолжительности жизни и физиологическое состояние пчел //Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №. 2.

Лазарева Анастасия Александровна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V42372с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: lazareva.a.a@mail.ru

Орлова Анна Олеговна

Год рождения: 1973

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., профессор,

e-mail: a.o.orlova@gmail.com

УДК 53.096

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК**

А.А. Лазарева

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор А.О. Орлова

Аннотация

Исследована кинетика фотолюминесценции раствора и монослоя квантовых точек $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$. Показано, что параметры полосы фотолюминесценции раствора квантовых точек, не зависят от времени задержки после возбуждающего лазерного импульса. При переходе к монослою появляется зависимость среднего времени затухания люминесценции от длины волны регистрации. Показано, что с повышением температуры интенсивность люминесценции КТ уменьшается в результате увеличения эффективности безызлучательной релаксации.

Ключевые слова

Трехкомпонентные квантовые точки, фотолюминесценция, время-разрешенные спектры, температурная зависимость, кинетика затухания фотолюминесценции.

Квантовые точки (КТ) $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ представляют собой люминесцентные нанокристаллы, используемые в различных областях анализа [1], в производстве солнечных элементов [1], светодиодов [1], в приложениях для биоимиджинга [1]. Квантовые точки I-III-VI₂, такие как AgInS_2 и CuInS_2 , изучаются как потенциальные альтернативы замене токсичных квантовых точек, таких как CdSe и PbS . КТ $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ обладают рядом привлекательных характеристик, таких как высокая фотостабильность, широкая полоса поглощения, а также настраиваемая ширина запрещенной зоны, что делает их привлекательными для исследователей и разработчиков. Однако, ширина спектров фотолюминесценции (ФЛ) тройных КТ в 2 раза больше, чем ширина спектров для классической A₂B₆ КТ. Также до сих пор не установлена точная природа столь широких спектров люминесценции трехкомпонентных КТ, что затрудняет их применение.

Таким образом, изучение кинетики люминесценции КТ позволит понять физические процессы, происходящие в квантовых точках $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$, в частности, объяснить причину уширения их спектров ФЛ.

На первом этапе нами были исследованы стационарные и время-разрешенные спектры ФЛ $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ КТ в толуоле и в монослое на диэлектрических подложках. Квантовые точки $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ были получены с помощью метода горячей инъекции,

описанного в статье [2]. Монослой $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ КТ были получены методом Ленмюр-Блуджетт.

На рис. 1а приведен спектр люминесценции и показаны длины волн, на которых регистрировались кривые затухания люминесценции. На рис. 1б представлено сравнение кривых затухания ФЛ для монослоя КТ $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ и раствора.

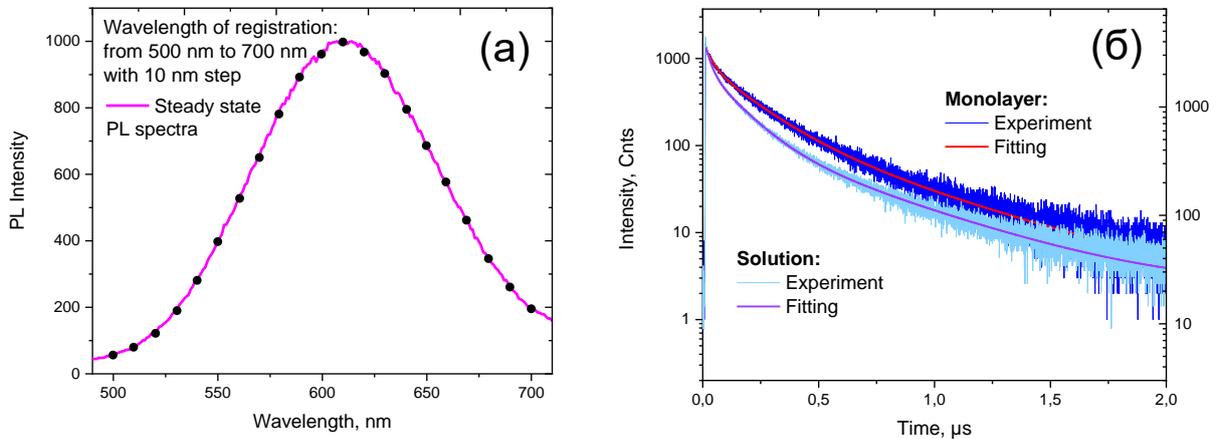


Рис. 1. (а) Спектр ФЛ КТ. Точками указаны длины волн, на которых регистрировались кривые затухания ФЛ. (б) Кривая затухания ФЛ $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ квантовых точек для монослоя (синяя), для раствора (голубая), и ее аппроксимация (красная и фиолетовая, соответственно) формулой: $y(t) = A_1 \exp(-t / \tau_1) + A_2 \exp(-t / \tau_2) + A_3 \exp(-t / \tau_3)$

Обе экспериментальные зависимости, представленные на рис. 1б, аппроксимировались трехэкспоненциальной функцией (1) с характерными временами затухания для монослоя: 34 нс, 177 нс, 517 нс, для раствора: 23 нс, 116 нс, 400 нс.

$$y = \sum_i A_i \cdot e^{-\frac{t}{\tau_i}}, \quad (1)$$

где A_i - амплитуды, τ_i - времена затухания ФЛ i -го компонента.

Ниже рассмотрим набор кривых затухания ФЛ КТ от длины волны регистрации для раствора и монослоя КТ (рис. 2).

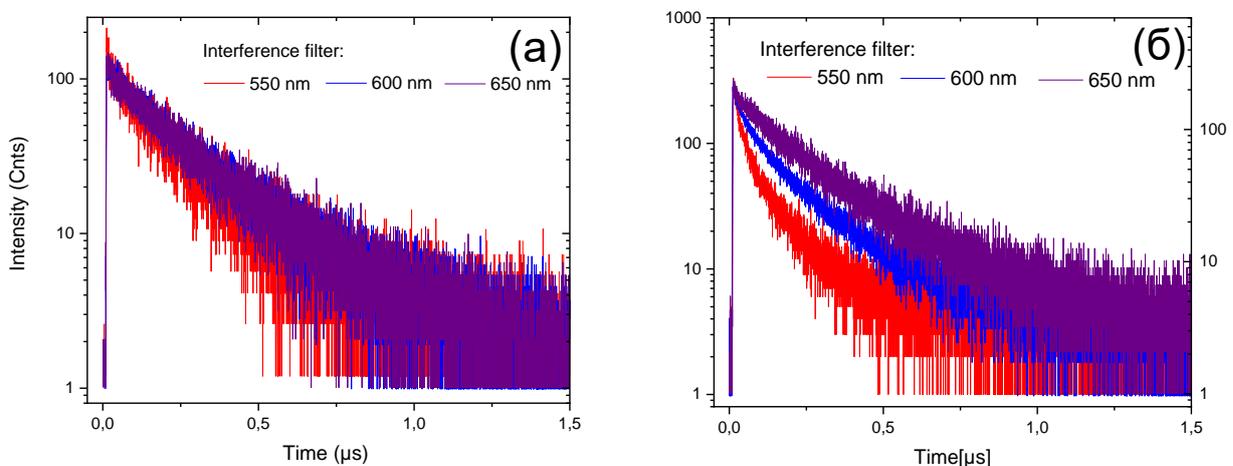


Рис. 2. Кривые затухания ФЛ, измеренные с помощью набора интерференционных фильтров для выделения некоторых спектральных областей в полюсе ФЛ (а) для раствора, (б) для монослоя квантовых точек $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$

На рис. 2 в качестве примера приведены три кривых затухания ФЛ, зарегистрированных в максимуме и на длинах волн 550 нм и 650 нм люминесценции КТ.

Нами не была обнаружена зависимость времени затухания ФЛ КТ от длины волны регистрации для раствора КТ (рис. 2а). Из рис. 2а следует, что не существует трех субансамблей квантовых точек с разными излучательными переходами, однако все кривые затухания ФЛ аппроксимируются трехэкспоненциальным распадом с набором близких характерных времен затухания люминесценции. При переходе от раствора КТ CIS к монослою (рис. 2б) четко становится видно увеличение времени затухания ФЛ КТ с увеличением длины волны регистрации. Это может быть связано с переносом энергии между соседними квантовыми точками, что указывает на эффективное взаимодействие КТ-КТ при переходе к монослою.

Зависимость среднего времени распада люминесценции КТ от длины волны регистрации представлена на рис. 3.

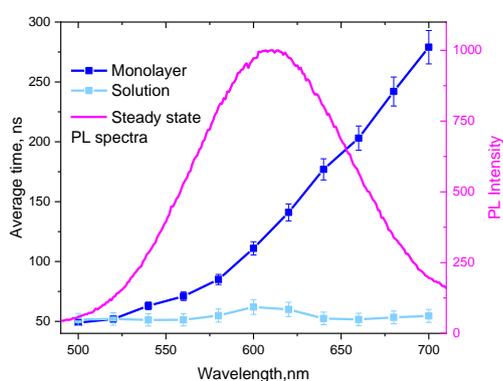


Рис. 3. Зависимость среднего времени распада ФЛ КТ от длины волны регистрации для монослоя КТ (синий график), для раствора КТ (голубой)

Предполагается, что в монослое появляется зависимость среднего времени затухания ФЛ КТ по сравнению с раствором за счет передачи энергии между соседними КТ.

Чтобы подтвердить полученную зависимость для раствора КТ, далее будут проанализированы нормированные на максимум время-разрешенные спектры ФЛ ансамбля квантовых точек (рис. 4), которые были извлечены из кривых затухания фотолюминесценции (рис. 2) с использованием различных времен задержки после возбуждающего импульса.

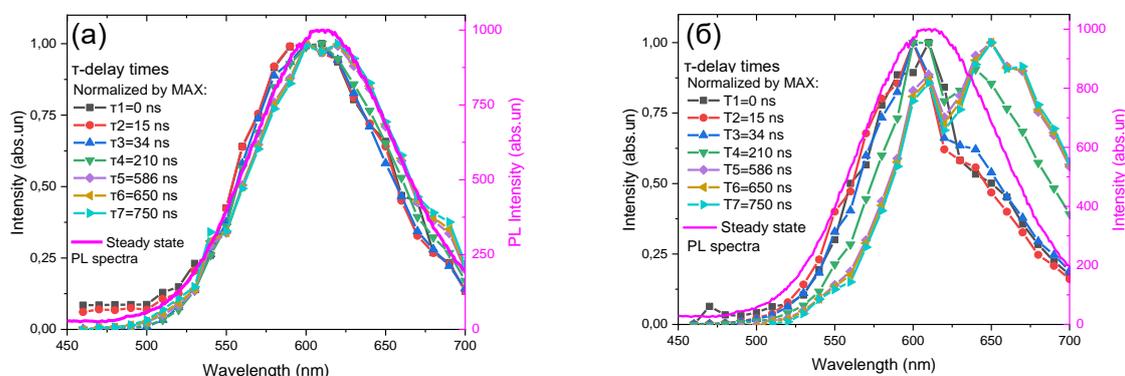


Рис. 4. Время-разрешенные спектры ФЛ квантовых точек $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$, нормированные на максимум, извлеченные из кривых затухания ФЛ (рис. 2), измеренных с помощью набора интерференционных фильтров. (а) для раствора КТ, (б) для монослоя КТ. Также представлен стационарный спектр ФЛ образца

Можно заметить, что нормированные на максимум время-разрешенные спектры практически не отличаются друг от друга (рис. 4а). Согласно исследованию Shabaev et al. [3], затухание ФЛ каждого ансамбля КТ является моноэкспоненциальным в любое время, но из-за флуктуаций системы усредненное по времени затухание ФЛ отдельной КТ является мультиэкспоненциальным. Изменение формы полосы ФЛ при увеличении времени задержки после возбуждающего импульса может быть связано с возникновением переноса энергии между соседними КТ.

Появление провала в спектрах люминесценции монослоя КТ (рис. 4б) при 620 нм, свидетельствует о том, что при переходе от раствора к монослою на поверхности КТ формируется новый эффективный акцептор, уровень энергии которого находится в резонансе с излучательным переходом в этих КТ, энергия которого соответствует излучению на длине волны 620 нм.

Исследование температурной зависимости люминесценции CIS КТ также важно, так как влияние температуры на образец дает зависимости, которые могут позволить более точно понять причину уширения спектров ФЛ. На рис. 5 показаны спектры фотолюминесценции монослоя квантовых точек при температурах от 50 до -100°C.

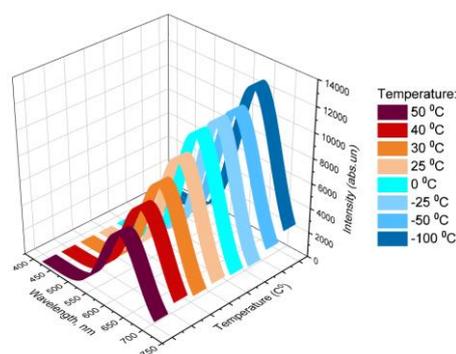


Рис. 5. Спектры ФЛ CIS КТ при различных температурах от 50 до -100 °С

Из полученных зависимостей видно, что с ростом температуры наблюдается падение интенсивности ФЛ, однако нужно отметить, что спад нелинейный, он становится более резким после 0°C. При приближении температуры к 50°C, интенсивность люминесценции снижается, это может быть связано с окислением и разрушением органического стабилизатора. Подробнее зависимость максимума ФЛ от температуры представлена на рис. 6.

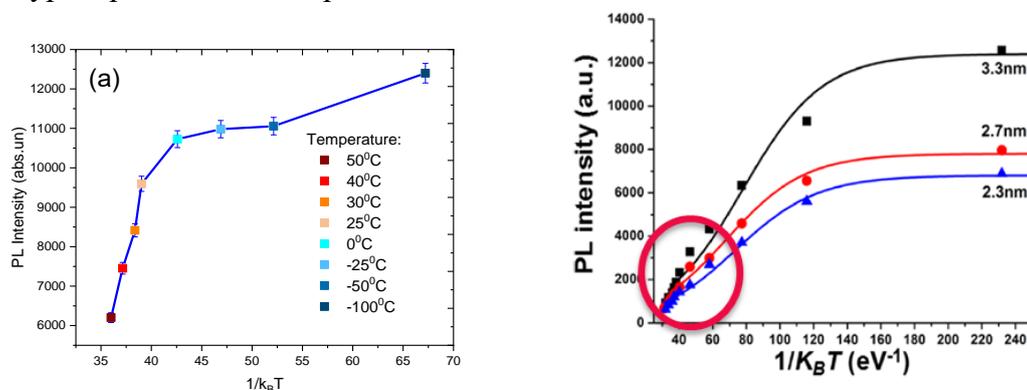


Рис. 6. (а) Зависимость интенсивности пика спектра ФЛ от $1/k_B T$, где k_B – постоянная Больцмана, T – температура в Кельвинах, (б) – Интенсивности ФЛ квантовых точек ZnCuInS / ZnSe / ZnS с различными размерами частиц в зависимости от $1/k_B T$, полученная [4]

Температурная шкала выбиралась для сравнения полученных данных с подобными исследованиями [4]. Исходя из рис. 6, была выявлена корреляция экспериментальных данных с подобными исследованиями, представленными в литературе. Полученная зависимость (рис. 6а) демонстрирует ростом, что аналогично данным, полученным авторами [4].

На рис. 7 представлен немонотонный спад среднего времени затухания ФЛ при повышении температуры.

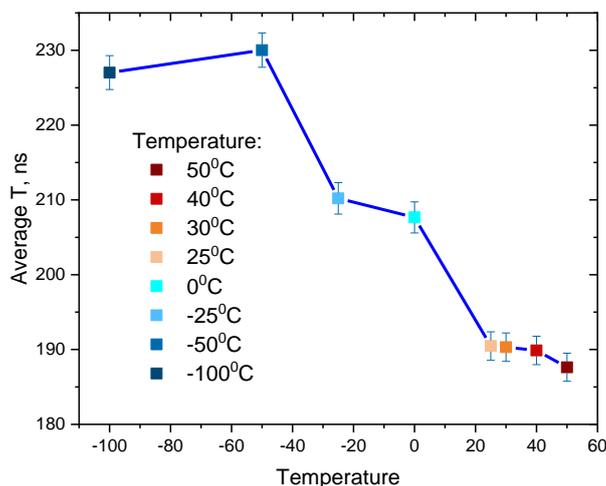


Рис. 7. Зависимость среднего времени затухания ФЛ от температуры регистрации

Повышение температуры 25°C до 50 °C монослоя КТ CIS приводит к ускорению затухания ФЛ (рис. 7), что свидетельствует о значительном перераспределении эффективностей радиационных и безызлучательных процессов в нанокристаллах [5]. Также увеличение скорости затухания люминесценции с ростом температуры связано с поверхностными ловушками, которые обеспечивают локальные состояния для быстрой релаксации фотовозбужденных носителей заряда, что приводит к более короткому времени жизни ФЛ [5].

Таким образом, работа была посвящена исследованию кинетики фотолюминесценции трехкомпонентных квантовых точек $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$. Были исследованы стационарные и время-разрешенные спектры ФЛ CIS_2/ZnS КТ в толуоле и в монослое на диэлектрических подложках. Было выявлено, что время-разрешенные спектры ФЛ КТ в растворе не зависят от времени задержки после возбуждающего лазерного импульса. Все время-разрешенные спектры КТ в растворе аппроксимируются трехэкспоненциальной функцией с близкими характерными временами затухания ФЛ. Следовательно, каждый излучательный переход в КТ может характеризоваться разным квантовым выходом люминесценции из-за режима «включено/выключено» безызлучательного канала. Впервые экспериментально показано отсутствие зависимости времени затухания люминесценции ансамбля этих КТ от длины волны регистрации. В отличие от систем подобных КТ, для которых зависимости наблюдались, может быть связано с отсутствием взаимодействия КТ-КТ в коллоидных растворах.

Фёрстеровский перенос энергии между соседними квантовыми точками в монослое является причиной появления зависимости времени затухания ФЛ квантовых точек от длины волны. Были обнаружены провалы на время-разрешенных спектрах ФЛ, которые являются следствием резонанса с участием акцептора энергии/заряда на поверхности КТ в монослое, однако природа этого акцептора пока не ясна и требует отдельного исследования.

Была исследована зависимость интенсивности ФЛ, а также кинетика люминесценции от температуры для монослоя КТ на диэлектрической подложке. Было установлено, что при повышении температуры происходит уменьшение интенсивности ФЛ КТ.

Среднее время затухания ФЛ немонотонно спадает с повышением температуры. Предполагается, что подобные зависимости при повышении температуры могут быть связаны с тепловым расширением кристаллической решетки квантовых точек.

Таким образом, в работе были получены новые зависимости о закономерностях процессов фотолюминесценции в монослое и растворе КТ, а также температурная зависимость, которые позволят точнее понять причину уширения спектров ФЛ структур данного типа.

Литература

1. Debnath T. et al. Ternary Metal Chalcogenides: Into the Exciton and Biexciton Dynamics //The Journal of Physical Chemistry Letters. 2019. Т.10. №.20. С. 6227-6238.
2. Wang Z. et al. Facile synthesis of Cu–In–S/ZnS core/shell quantum dots in 1-dodecanethiol for efficient light-emitting diodes with an external quantum efficiency of 7.8% //Chemistry of Materials. 2018. Т. 30. №. 24. С. 8939-8947.
3. Shabaev A. et al. Energy Band Structure of CuInS₂ and Optical Spectra of CuInS₂ Nanocrystals //Phys. Rev. B: Condens. Matter Mater. Phys. 2015. Т. 92. 035431.
4. Liu W. et al. Temperature-Dependent Photoluminescence of ZnCuInS/ZnSe/ZnS Quantum Dots //J. Phys. Chem. C. 2013. Т. 117. С. 19288–19294.
5. Raevskaya et. al Temperature-Dependent Photoluminescence of Silver-Indium-Sulfide Nanocrystals in Aqueous Colloidal Solutions //ChemPhysChem. 2019. Т. 20. С. 1–10.

Мыськив Иван Иванович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №42526с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: Myskiv.i@itmo.ru

Заколдаев Данил Анатольевич

Год рождения: 1980

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент, декан ФБИТ,

e-mail: d.zakoldaev@itmo.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЗАЩИЩЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

И.И. Мыськив

Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.А. Заколдаев

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

Аннотация

В данной статье рассматривается выпускная квалификационная работа по теме «Разработка защищенного взаимодействия компонентов Цифрового предприятия. Описана архитектура Цифрового предприятия Индустрии 4.0, векторы воздействия на систему предприятия, модель защищенного взаимодействия компонентов цифрового предприятия на основе адаптированной графовой модели Цифрового предприятия доверительной и репутационной модели безопасности для обеспечения защищённого взаимодействия компонентов.

Ключевые слова

Цифровое предприятие, КФС, индустрия 4.0, система, компонент, угрозы, информационная безопасность, доверие, репутация, модель.

Развитие научно-технического прогресса в области проектирования и производства конечного продукта в части технологического процесса обеспечивает появлению нового подхода в организации технологических процессов, направленных на изготовление и разработку необходимого продукта. Такой подход сейчас известен как Индустрия 4.0 данный подход включает в себя развитие и внедрения передовых технических решений таких как [1]:

- киберфизических систем (далее – КФС);
- промышленный интернет вещей;
- виртуализации и облачные технологии;
- технологии BigData, 3-D модели, Цифровые двойники.

Интеграция таких решений в единую систему технологического производства позволяет использовать алгоритм бесшовного технологического процесса автоматизированного изготовления изделий на Цифровом предприятии Индустрии 4.0 (далее – ЦПИ).

В мультиагентных и киберфизических системах для обеспечения ИБ используют такие методы:

1. Методы «Жесткой безопасности» (Идентификация и аутентификация, управление доступом, криптографическая защита каналов связи, и др.).

2. Методы «Мягкой безопасности» (Модель полицейского участка, Доверительные, Репутационные модели, и др.) [2, 3].

На данный момент современные практические решения и уровень развития научно-методического, нормативно-методического аппарата в этой области валидации сложных систем ЦПИ и обнаружения скрытого деструктивного информационного воздействия (далее – СДИВ) не позволяет обеспечивать необходимый уровень целостности и доступности информации, циркулирующей в автоматизированной системе управления технологическим процессом (далее – АСУТП) и КФС ЦПИ.

Также предприятия такого типа могут являться объектами критической информационной инфраструктуры и обязаны должны выполнять все требования Федерального закона №187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации от 26 июля 2017 года» и других нормативно-методических документов Российской Федерации по защите КИИ, что говорит о актуальности и необходимости в обеспечении информационной и функциональной безопасности ЦПИ.

Целью выпускной квалификационной работы магистра работы является повышение точности выявления нарушений целостности информации при скрытом деструктивном информационном воздействии в Цифровом предприятий.

Для достижения поставленной цели должны быть решены такие задачи как:

1. Описание архитектуры Цифрового предприятия.
2. Разработка модели угроз и модели нарушителя Цифрового предприятия.
3. Определение рисков ИБ Цифрового предприятия.
4. Определение Требований в соответствии с ФЗ-187.
5. Разработка Модели защищенного взаимодействия компонентов Цифрового предприятия.

Объектом работы является автоматизированные системы управления технологическим процессом и киберфизические системы Цифрового предприятия, в отношении которых может осуществляться СДИВ.

Предметом работы являются методы, модели, алгоритмы оценки и обеспечения целостности информации в АСУ ТП и КФС.

Методологической основой работы являются нормативно правовые акты Российской Федерации, научные работы российских, и зарубежных авторов в области информационной безопасности, оценке защищенности КФС и АСУТП.

Основную архитектуру ЦПИ описывают следующие компоненты [4]:

- КФС, выполняющие набор заданных технологических операций взаимодействующие с физическим окружением;
- производственная линия, представляющая собой совокупность производственного автоматического оборудования, реализующих технологические операции;
- транспортная система, обеспечивающая перемещение деталей, заготовок между производственными линиями;
- производственный участок, объединяющий набор производственных линий и транспортную систему, реализующих непрерывный (бесшовный и круглосуточный) технологический цикл изготовления конечного продукта или его части;
- система складского хранения, обеспечивающие учет и контроль движения комплектующих, готовых продуктов и компонентов ЦПИ;

– производственный цех, объединяющий набор производственных участков, транспортную систему и систему складского хранения, и функционирующий под управлением системы управления производством (трёхуровневая архитектура управления).

Управление оборудованием производственного участка (цеха) осуществляет сервер(а), контролирующий серверы управления производственными линиями. Серверы управления производственными линиями осуществляют управление непосредственно технологическим оборудованием. Верхний уровень системы управления составляет сервер(а) ЦПИ, осуществляющий информационный обмен с серверами управления производственными участками (цехами). Типовая архитектурная схема рассматриваемого ЦПИ представлена на рис. 1.

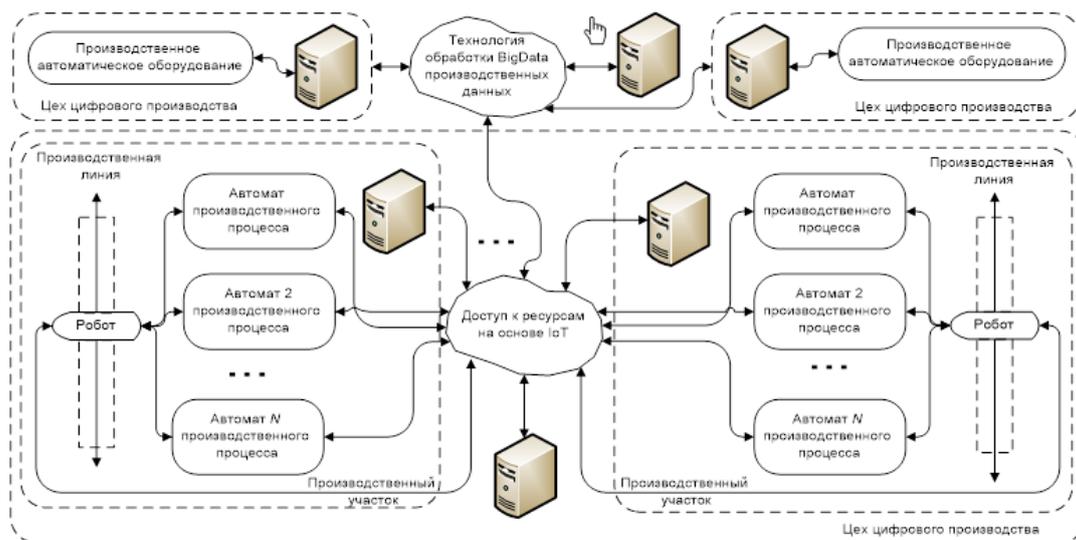


Рис. 1. Архитектура цифрового предприятия

Исходя из структуры ЦПИ и используемых технологий, можно выделить основные векторы воздействия на АСУТП и КФС:

- воздействия на подсистему физических устройств КФС (Сенсоры, ПЛК, датчики, роботы-манипуляторы);
- воздействия на подсистему управления (Сервера SCADA, компоненты управления, цифровые двойники КФС, сервера BigData);
- воздействия на подсистему взаимодействия с пользователем (HMI, Автоматизированные рабочие места);
- воздействия на протоколы, использующиеся для взаимодействия АСУ ТП и КФС.

Архитектуру предприятия ЦПИ можно представить в виде ориентированного графа $G = \langle W, V, R \rangle$, множество вершин графа $W = \langle w_1, \dots, w_z \rangle$, описывающий множество компонентов ЦПИ, множество дуг $V = \langle v_1, \dots, v_x \rangle$, описывающие связи между компонентами. R – множество маршрутов графа G , описывающие определённые пути из вершины w_i в вершину w_j .

Каждый компонент может описываться набором характеристик $\langle ID, T, P_{w_i}, F_{w_i}, INF_{w_i}, NF_{w_i}, TO_{w_i} \rangle$, где ID – идентификатор компонента, T – тип компонента (Робот-манипулятор, сенсор, датчик, маршрутизатор и др.), $F_{w_i} = \langle f_{w_i(0)}, f_{w_i(2)}, f_{w_i(k)} \rangle$ – набор функций который может реализовать данный компонент, $P_{w_i} = \langle p_{w_i(0)}, p_{w_i(2)}, p_{w_i(k)} \rangle$ – набор параметров компонента, INF_{w_i} –

множество информации компонента которые он накапливает в процессе взаимодействия. Данная информация может быть получена как генерируемой самим компонентом, так и от информационного взаимодействия с другими компонентами, поэтому её можно разделить на активную и пассивную. NF_{w_i} - количество процессов, в которых может быть задействован данный компонент. TO_{w_i} – в соответствии с эксплуатационной документацией на компонент, ему присваивается характеристика проектно-плановых работ на проверку его работоспособности (проверка компонента в установленные документацией сроки его эксплуатации), если проектно-плановые работы не проводились в определяемые сроки эксплуатационной документацией, то доверие к информации передаваемым данным компонентом будет снижено.

Каждый компонент может выполнять следующие базовые функции:

- вычислительные – функции, которые позволяют выработать определённый алгоритм действий для выполнения производственной задачи.
- исполнительные – функции, которые позволяют выполнить определенную производственную задачу на ранее разработанном алгоритме вычислительной функции.

В рассматриваемой модели можно представить следующим образом $w_i = w_i^{inf} \cup w_i^{phys}$, где w_i^{inf} вычислительные устройства компонента, w_i^{phys} – физические устройства компонента. Графовая модель представлена на рис. 2.

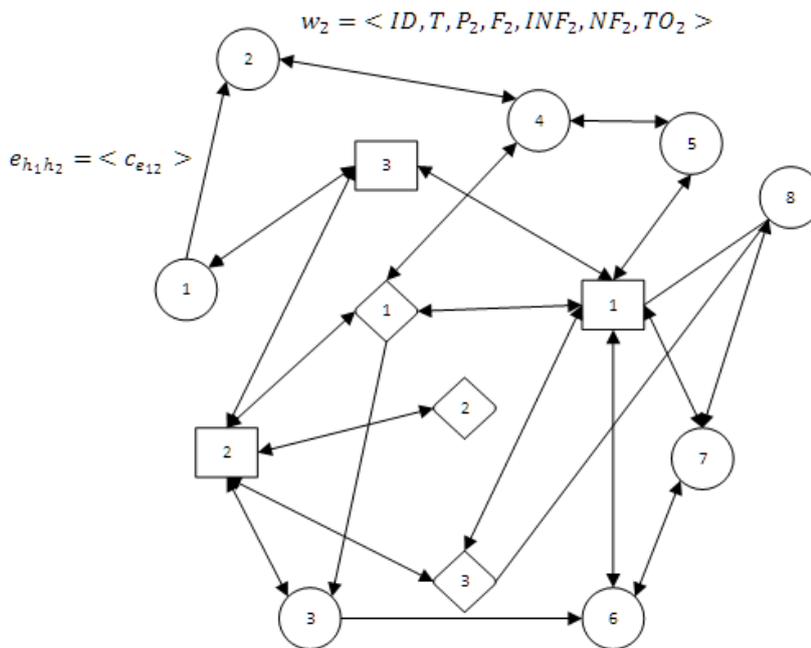


Рис. 2. Графовое представление компонентов ЦПИ

На основе данной модели можно описать поставленную производственную задачу, при которой необходимо чтобы целевая функция F перешла в желаемое конечное состояние \tilde{F} .

Данная задача не может быть выполнена без информационного взаимодействия компонентов, в таком случае можно каждую функцию $f_{h_i(k)}$ из целевой функции компонента h_i можно представить как $f_{h_i(k)} = \langle Q, I \rangle$, где Q – окружающая среда функционирования компонента h_i , I – передача данных или информационных сообщений между компонентами.

В данном случае рассмотрим нарушение семантической целостности передаваемых данных, его можно описать как $\widetilde{f_{h_i(k)}} = \langle Q, \tilde{I} \rangle$, где \tilde{I} – множество

передаваемых данных где нарушена семантическая целостность. Соответственно можно сделать вывод, что если нарушена семантическая целостность передаваемых данных, тогда компоненты не достигают конечного состояния целевой функции \tilde{F} и считается что работоспособность компонентов нарушена.

Для обеспечения защищенного информационного взаимодействия рассмотрим использование доверительной модели на основе оценки репутации, истинности и доверия предложенной в работе [4] для обеспечения защищённого взаимодействия в группе беспилотных транспортных средств. Суть данной модели заключается в определении уровня доверия компонента-субъекта к компоненту-объекту. Также одной из ключевых особенностей этой доверительной модели заключается в том, что данную систему невозможно разрушить, так как отсутствует единый центр управления этой системой в отличие от модели полицейских участков, но для улучшения данные модели можно объединить:

1. Под доверием $Trust$ в данном случае понимается состояние компонента характеризующееся в готовности взаимодействовать путем передачи INF и рассчитывается как показатель, основанный на оценке репутации $Truth$ и истинности R .

$$Trust_t = f_{tru}(Re_{t-1}, Truth_t)$$

2. Под истинностью $Truth$ понимается показатель субъективной оценки информации предоставляемую компонентом-объектом, компоненту-субъекту.

$$Truth_t = f_{tr_t}(INF),$$

где под $Truth_t$ понимается показатель истинности в момент времени t , f_{tr_t} – функция оценки истинности в момент времени t .

3. Под репутацией Re понимается показатель, рассчитанный во времени и процессе оценивания истинности компонентом-субъектом компонентом-объекта.

$$Re_t = f_{re_t}(Truth_t),$$

где под Re_t понимается показатель репутации в момент времени t , f_{re_t} – функция оценки репутации в момент времени t .

Данные показатели могут принимать значения в диапазоне $\in [0; 1]$.

Проверка истинности в данном случае заключается в проверке соответствия полученной информации об окружающей среде.

Пусть h_i передает информацию $INF_{h_i} = \langle INF_{h_{i_n}} | n = \overline{1, bl} \rangle$, где $INF_{h_{i_n}}$ – один из блоков bl информации, компоненту h_j .

Показатель истинности будет рассчитываться как:

$$Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}} = \frac{\sum_{n=1}^{bl} Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_{i_n}}}}{bl},$$

Если компонент h_i обладает информацией $INF_{pas_{h_i}}$ оценка истинности блока $Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_{i_n}}}$ будет рассчитываться как:

$$Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_{i_n}}} = \begin{cases} 1, & true \\ 0, & false \end{cases}$$

Если компонент h_i не обладает информацией $INF_{pas_{h_i}}$, то для получения информации происходит запрос оценки от других компонентов имеющих возможность передать такую информацию компоненту h_i . Тогда оценка истинности будет рассчитываться как усредненное значение полученных оценок:

$$Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}} = \frac{\sum_{k=1}^{ntruth} Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}}}{ntruth},$$

где $ntruth$ — это количество компонентов, которые могут оценить информацию. В случае если таких компонентов не существует, то оценка истинности принимается равной 0.5.

Одной из проблем такого подхода является то, что при линейной функции оценки репутации, зависящей от показателей доверия и репутации, репутация некоторого компонента при большом периоде работы будет изменяться медленно, даже при резком изменении доверия данного компонента. Поэтому предполагается использовать функцию распределения Вейбула [4] с коэффициентами $\lambda = 1, k = 1$, которая позволит экспоненциально снижать значение репутации при СДИВ. В таком случае показатель репутации будет рассчитываться как:

$$Re_{h_i h_j t} = \begin{cases} \frac{\sum_{k=0}^{t-1} Re_{h_i h_j k} + Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}}}{t+1}, & Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}} \geq \alpha \\ \frac{\sum_{k=1}^{t-1} Re_{h_i h_j k} - \left(\frac{\sum_{k=1}^{t-1} Re_{h_i h_j k} - h^{(1-Truth) * t}}{t-1}\right)}{t+1}, & Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}} < \alpha \end{cases},$$

где $Truth_{h_i h_j t}$ — показатель истинности от компонента h_i компоненту h_j в момент времени t , $Re_{h_i h_j k}$ — показатель репутации компонента-объекта в момент времени k , α - граница уровня истинности выбираемая эмпирическим путем для оценивания корректности информации и равная 0.5. (В момент времени $t = 0$ показатель репутации принимается равным показателю истинности, а именно:

$$Re_{h_i h_j t=0} = Truth_{h_i h_j t=0}^{INF_{h_i}}.$$

Показатель доверия в данном случае может рассчитываться как:

$$Trust_{h_i h_j t} = \gamma Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}} + (1 - \gamma) Re_{h_i h_j t-1},$$

где γ — коэффициент реактивности функции, находящейся в интервале $[0; 1]$.

Для оценки модели защищенного взаимодействия был проведен анализ, включающий серию эмпирических наблюдений, собранных при проведении моделирования в следующих условиях:

1. Число компонентов – 100 элементов.
2. Число компонентов-нарушителей – от 10% до 30% от общего числа.
3. Количество экспериментов – 1000.

Ошибкой второго рода будет являться классификация как компонента-доверенного при нахождении ниже a .

Ошибкой первого рода будет являться классификация как компонента-нарушителя при нахождении выше a .

Под описанием нарушителя будем понимать концепцию атаки ON-OFF на компоненты Цифрового предприятия. Данная атака заключается в передаче состояний ON-OFF, состояние ON – подразумевает нарушение целостности передаваемой информации компонентам для нарушения функционирования КФС, для того чтобы нарушителя было сложнее отследить используется состояние OFF – заключается в передаче информации не нарушающей целостность информации, что говорит о исправной работе компонента.

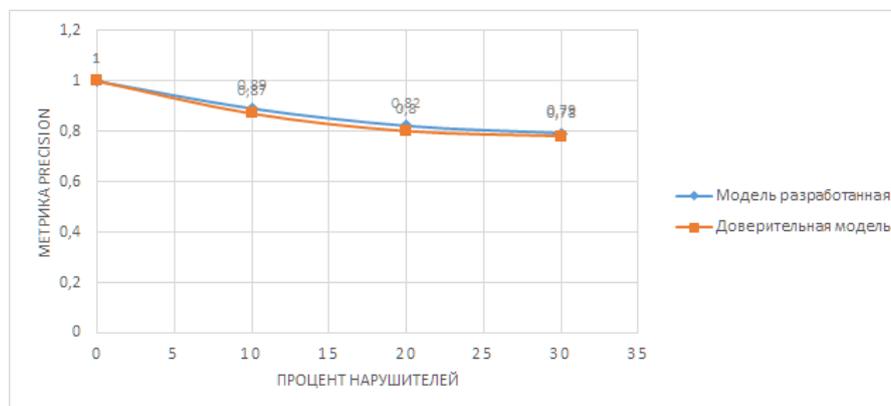


Рис. 3. Сравнение моделей для атак типа ON-OFF

Анализ результатов метрики Precision на рис. 3 показывает увеличение точности выявления нарушителя в модели защищенного взаимодействия по сравнению с классической моделью доверия. Данный подход можно улучшить с помощью модели полицейских участков. Суть данной модели заключается в разделении системы на кластеры в котором есть управляющий компонент, отвечающий за безопасность своего кластера.

Литература

1. Гурьянов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О., Нечаев В.А. Принципы организации цифровых проектных и производственных предприятий Индустрии 4.0 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 421–427. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-421-427.
2. Зикратов И.А., Зикратова Т.В., Лебедев И.С., Гуртов А.В. Построение модели доверия и репутации к объектам мультиагентных робототехнических систем с децентрализованным управлением // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 3 (91). С. 30–38.
3. Зикратов И.А., Зикратова Т.В., Лебедев И.С. Доверительная модель информационной безопасности мультиагентных робототехнических систем с децентрализованным управлением // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. N 2 (90). С. 47 – 52.
4. Викснин И.И. Модели и методы обнаружения нарушений целостности информации в группах беспилотных транспортных средств: диссертация ... канд. тех. наук: 05.13.19 / Викснин Илья Игоревич. СПб. 2018. 207 с.

Солонина Юлия Андреевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W42053,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная,

криогенная техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: jasolonina@itmo.ru

Баранов Александр Юрьевич

Год рождения: 1956

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., профессор,

e-mail: abaranov@itmo.ru

УДК 621.6.053

**ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ПОГРУЖНОГО
НАСОСА СПГ ДЛЯ КРУПНОТОННАЖНОГО ХРАНИЛИЩА**

Ю.А. Солонина

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

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №620151 «Выбор и обоснование технологии изменения теплофизических параметров сжиженного природного газа для сокращения потерь от испарения при его накоплении, хранении и транспортирования».

Аннотация

В работе рассмотрены основные проблемы, связанные с выдачей сжиженного природного газа из крупнотоннажных хранилищ с помощью погружных центробежных насосов. Предложена конструкция погружного струйного насоса в качестве замены центробежному. Проведен оценочный расчет работы струйного насоса. Произведен анализ энергии на работу струйного насоса.

Ключевые слова

Сжиженный природный газ, СПГ, накопление, выдача, накопительное хранилище, центробежный насос, струйный насос.

Сжиженный природный газ (СПГ) – это природный газ (ПГ), который при охлаждении до температуры 111К переходит в жидкое состояние. Большая часть в составе ПГ приходится на метан. В сжиженном виде он занимает объем в 600 раз меньше, чем в газообразном. В таком виде его легче перевозить и хранить, а также доставлять потребителю. Так как СПГ это криогенная жидкость, то его хранение необходимо осуществлять в специальных криогенных резервуарах.

Погружные насосы сжиженного природного газа используются на всех этапах потребления и распределения СПГ. Они устанавливаются на дне криогенного резервуара и служат для выдачи СПГ из хранилища, для наполнения и опорожнения морских танкеров для его перевозки.

Погружной насос для выдачи СПГ предназначен для работы с продуктами, температура кипения которых ниже 120 К. В связи с этим он должен удовлетворять следующим условиям [1]:

- конструкция погружного насоса должна оставаться работоспособной,

несмотря на длительное воздействие на нее криогенных температур;

- насосы не должны создавать дополнительный теплоприток к криогенной жидкости;

- погружные насосы должны быть герметичными и удовлетворять условиям по производительности и напору.

Объект исследования проект завода «Балтийский СПГ». Исходя из приведенных данных по этому проекту, производительность завода составляет 10 млн тонн год, давление природного газа 6,5 МПа, выдача СПГ из хранилища осуществляется периодически. Для накопления и хранения продуктового газа используется 4 емкости, каждая из которых имеет объем равный 42 000 м³. Выдача СПГ осуществляется с периодичностью в 2–3 дня, за это время уровень СПГ в хранилище увеличивается от минимального до максимального равного 25 м (рис. 1).

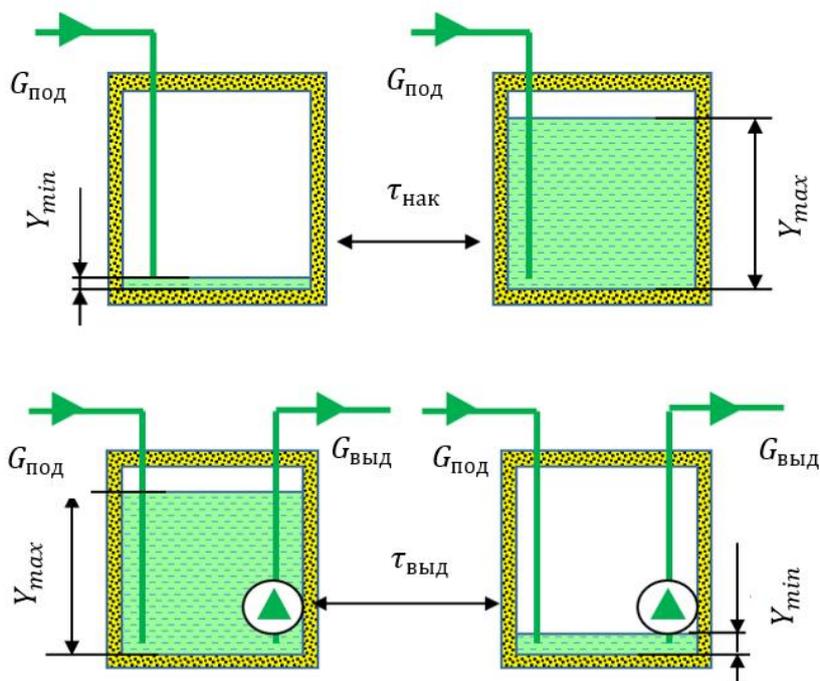


Рис. 1. Этапы накопления и отгрузки СПГ из крупнотоннажных хранилищ
1, 2 – накопление СПГ в криогенном резервуаре; 3,4 – выдача СПГ из хранилища

В настоящее время для выдачи продуктового сжиженного газа из хранилища в основном используют погружные центробежные насосы (рис. 2).

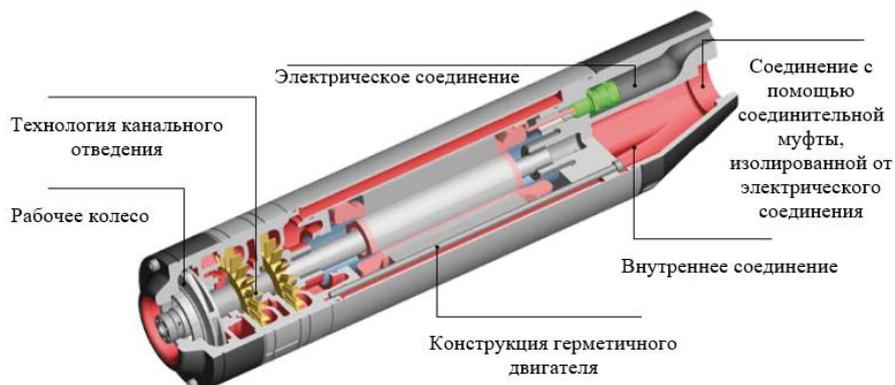


Рис. 2. Криогенный погружной центробежный насос

Центробежный насос представляет собой динамический лопастный агрегат, в котором перемещение рабочего потока происходит за счет его взаимодействия с подвижными вращающимися лопастями ротора и неподвижными лопастями корпуса. Перемещение жидкости происходит от центра к периферии по двигающимся лопастям, перпендикулярно оси вращения. В большинстве случаев насосный агрегат состоит из двух частей: гидравлической и приводного двигателя [1].

Основными преимуществами центробежных являются:

- высокая производительность;
- обеспечивают равномерный поток жидкости;
- могут перекачивать загрязненные среды.

Несмотря на преимущества центробежных насосов они также имеют ряд недостатков:

- склонны к кавитационному разрушению лопаток колеса;
- полость рабочего колеса перед началом работы должна быть заполнена жидкостью;
- склонны к выходу из строя (в связи с этим в резервуаре хранения устанавливают сразу несколько насосов);
- дорогостоящий ремонт;
- отсутствует серийное производство в стране.

В качестве привода погружного центробежного насоса используется электрический привод, что создает ряд дополнительных проблем при его эксплуатации, а именно:

- проблема подачи электроэнергии через слой криогенной жидкости глубиной 25 м;
- смазка трущихся частей центробежного насоса и др.

Электропривод центробежного насоса обладает низкой ремонтпригодностью, поэтому в случае его поломки будет необходимо заменить насосный агрегат полностью. Для того, чтобы обеспечить бесперебойную выдачу сжиженного газа в случае его поломки, в емкости устанавливаются до двух резервных насосов. В связи с этим в Университете ИТМО предпринимаются попытки устранить их самую ненадежную часть – электропривод с его заменой на гидропривод. Это решение избавит нас от ряда проблем, о которых было сказано ранее, но в системе остается два турбоколеса, которые также могут прийти в негодность. По этой причине возникла идея использования погружного струйного насоса в качестве замены центробежному.

Струйные аппараты получили широкое распространение практически во всех отраслях техники. Принципиальным отличием струйных аппаратов является повышение давления эжектируемого потока без затрачивания какой – либо механической энергии. По действующим стандартам их относят к классу динамических насосов трения [2]. Процесс эжекции, происходящий в струйном аппарате, заключается в переносе кинетической энергии от одного потока другому через их непосредственный контакт (смешение).

Внешний вид и принципиальная схема струйного аппарата приведены на рис. 3, 4. Основными элементами струйного насоса являются: рабочее сопло, приемная камера, камера смешения и диффузор. Диффузор не является обязательной частью, поэтому в струйном аппарате он может отсутствовать. В этом случае насос будет называться бездиффузорным.



Рис. 3. внешний вид струйного насоса

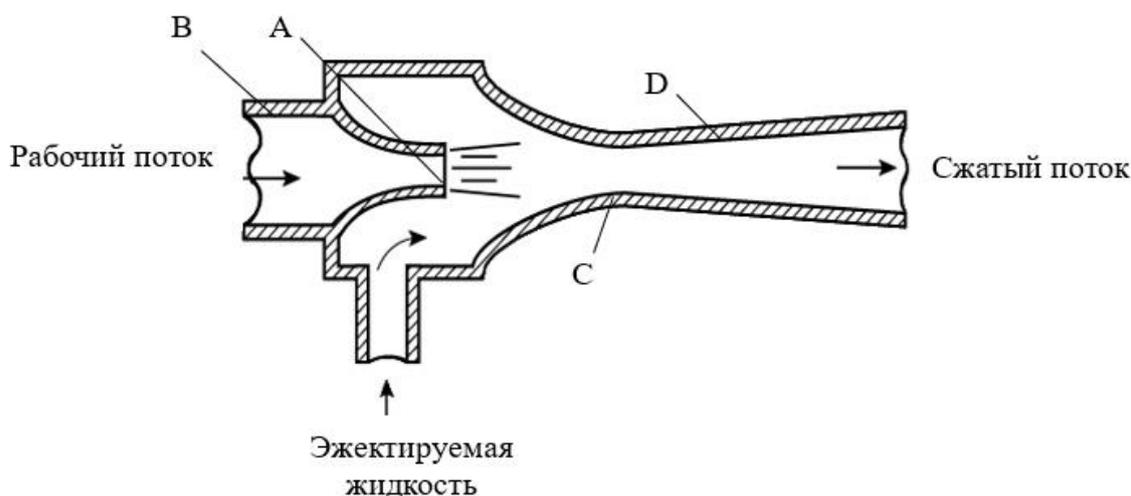


Рис. 4. Схема струйного аппарата

А – рабочее сопло, В – приемная камера, С – камера смешения, D – диффузор

Высокая надежность этих насосов обеспечивается отсутствием подвижных частей. Они имеют простую форму, благодаря чему стоимость их изготовления невелика, поэтому этому необходимости в их ремонте также отсутствует. Основными достоинствами этих насосов являются:

- высокая самовсасывающая способность;
- малые габаритные размеры;
- простота регулирования подачи и напора;
- возможность перекачивания пожароопасных и агрессивных жидкостей.

К недостаткам этих насосов можно отнести:

- отсутствие автономного привода;
- низкий КПД по сравнению с другими типами насосов.

Проблема автономного привода обеспечивается потоком СПГ высокого давления, поэтому данный недостаток не является существенным в схеме использования погружного насоса для выдачи СПГ (рис. 5.).

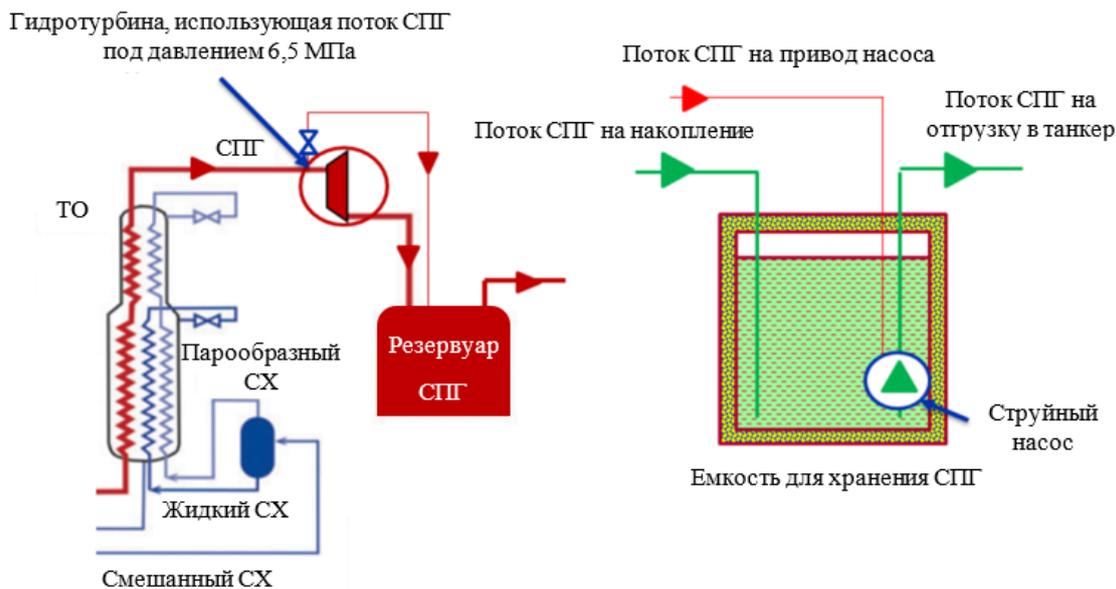


Рис. 5. Технологическая схема производства СПГ

Необходимо оценить возможность использования струйного насоса (рис. 6) для выдачи СПГ из крупнотоннажного хранилища.

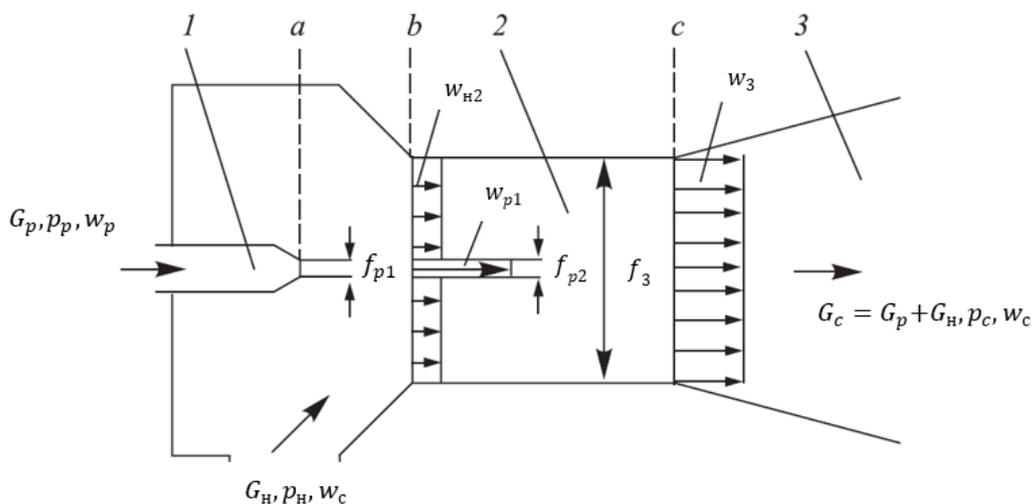


Рис. 6. Схема струйного аппарата
1 – сопло; 2 – цилиндрическая камера смешения; 3 – диффузор

Для расчета струйного насоса принимаем давление рабочего потока СПГ на входе равным давлению СПГ на линии подачи в емкость $p_p = 6,5$ МПа. Объем заполняемого танкера $V = 200000$ м³, время заполнения танкера $\tau = 24$ часа, плотность метана $\rho = 450$ кг/м², температура метана $T = 111$ К, высота слоя СПГ $h = 25$ м. Для упрощения расчета принято, что в одном резервуаре расположен один струйный насос. Расчеты проведены в соответствии методикам, представленным в [3, 4].

Так как при расчете струйного насоса с диффузором, диаметр его выходного сечения получился равным 3 м, следует перейти к расчету струйного насоса без диффузора. В результате вычислений получились следующие значения характеристик насоса (таблица).

Значения найденных величин для струйного насоса без диффузора

Определяемая величина	Полученное значение
Доля потока рабочего потока высокого давления, %	20
Массовый расход рабочего потока G_p , кг/с	52,09
Массовый расход эжектируемого потока G_n , кг/с	208,34
Массовый расход смешанного потока G_c , кг/с	260,43
Давление рабочего потока p_p , МПа	6,5
Давление эжектируемого потока p_n , МПа	0,21
Давление смешанного потока p_c , МПа	0,35
Плотность рабочего потока ρ_p , кг/м ³	448,9
Плотность эжектируемого потока ρ_n , кг/м ³	443,8
Плотность смешанного потока ρ_c , кг/м ³	443,9
Коэффициент эжекции u	4
Отношение площади сечения камеры смешения к выходному сечению рабочего сопла $\left(\frac{f_3}{f_{p1}}\right)_{\text{опт}}$	38,5
Коэффициент n	1,027
КПД струйного насоса η	0,09
Напор струйного насоса H , м	32,96

Общий вид струйного насоса без диффузора (рис. 7).

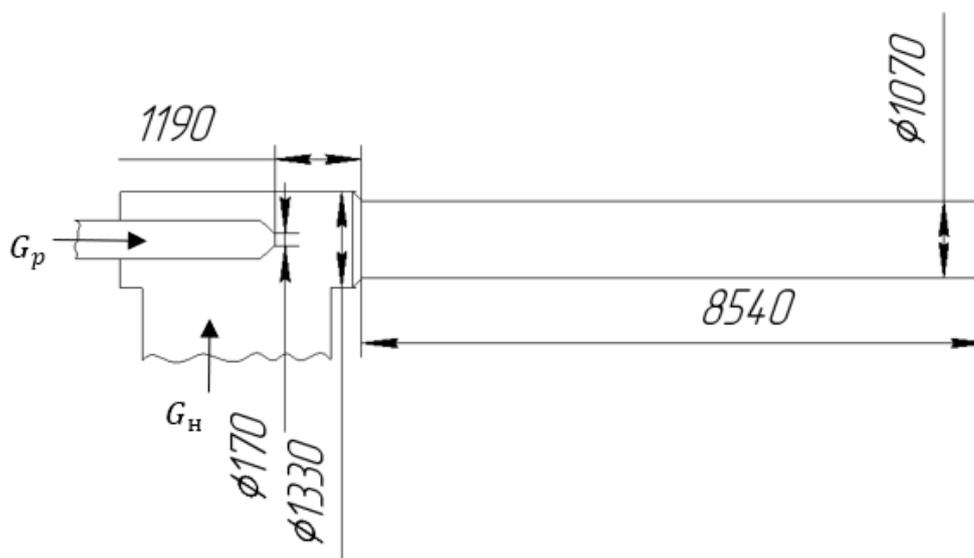


Рис. 7. Струйный насос без диффузора

В качестве источника автономного привода струйный насос использует поток СПГ высокого давления $p_p = 6,5$ МПа. Этот поток является носителем потенциальной энергии, именно эта энергия используется струйным насосом для поднятия СПГ со дна резервуара.

Расчетная высота гидростатического столба СПГ:

$$h = \frac{p_p}{\rho_p g} = \frac{6,5 \cdot 10^6}{448,9 \cdot 9,81} = 1476,03 \text{ м.} \quad (1)$$

Потенциальная энергия потока СПГ жидкости, поднятого на определенную высоту:

$$E_{\text{п}} = G_{\text{СПГ}_c} gh = 317 \cdot 9,81 \cdot 1476,03 = 4,59 \text{ МВт}, \quad (2)$$

где $G_{\text{СПГ}_c} = 317 \text{ кг/с}$ – проектная мощность завода «Балтийский СПГ».

Потенциальная энергия рабочего потока СПГ, на входе в струйный насос:

$$E_p = G_p gh = 52,09 \cdot 9,81 \cdot 1476,03 = 0,75 \text{ МВт}. \quad (3)$$

В каждом из четырех резервуаров расположен один струйный насос. Полная энергия, затрачиваемая в струйных насосах:

$$E_{\text{общ}} = 4E_p = 4 \cdot 0,75 \cdot 10^6 = 3 \text{ МВт}. \quad (4)$$

Полная энергия, затрачиваемая центробежными насосами для выдачи СПГ:

$$E_{\text{центр}} = n_{\text{н}} N_{\text{центр}} = 11 \cdot 300 \cdot 10^3 = 3,3 \text{ МВт}, \quad (5)$$

где $N_{\text{центр}} = 300 \text{ кВт}$ мощность одного центробежного насоса по данным проекта завода «Балтийский СПГ», $n_{\text{н}} = 11 \text{ шт}$ – количество центробежных насосов.

Опираясь на полученные значения, можно сделать вывод, что струйный насос можно использовать для выдачи СПГ из крупнотоннажных хранилищ, так как его напор превышает требуемый $H = 32,96 \text{ м}$. Для выдачи СПГ выбрана конструкция погружного струйного насоса без диффузора, исходя из того, что вероятность практической реализации струйного насоса с диффузором не представляется возможной. Произведен анализ затрат энергии на работу струйного насоса, а также выявлено, что для использования погружных ЦН затрачивается большее количество энергии, что делает струйные насосы более экономичными по сравнению с ними. Идея замены центробежного насоса струйным является перспективной, полученные результаты работы можно использовать на более крупных проектах таких как «Ямал СПГ».

Литература

1. Центробежные насосы водоснабжения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://carmen62.ru/tsentrobezhnye-nasosy-vodosnabzheniya-ustanovka/> (дата обращения: 01.06.2021).
2. Сазонов Ю.А. Расчет и конструирование струйных аппаратов. Учебное пособие. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2016. 64 с.: ил.
3. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 3-е изд., перераб. М: Энергоатомиздат. 1989. 353с: ил.
4. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. Л: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. 256 с., ил.

Стажарова Дарья Михайловна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42717,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: dasha_st96@mail.ru

Павлова Елена Александровна

Год рождения: 1963

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: ea_pavlova@mail.ru

УДК 614.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ
СТАНЦИИ ГЕМОДИАЛИЗА ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С ПОЧЕЧНОЙ
НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ**

Д.М. Стажарова

Научный руководитель – к.э.н., доцент Павлова Е.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР №619404 «Обеспечение коммерциализации и капитализации проектов в области Life Science в ситуации цифровой трансформации инновационных социально-экономических систем».

Аннотация

В работе представлен проект мобильной станции гемодиализа, решающую проблему дальнего следования пациентов с хронической болезнью почек до больниц или диализных центров. В целях пилотирования решения была изучена Волгоградская область с точки зрения обеспеченности населения заместительной почечной терапией в виде программного гемодиализа (количество медицинских учреждений, предоставляющих данную услугу). В результате данного анализа была подтверждена гипотеза о дисбалансе по территориальной обеспеченности населения нефрологической помощью из-за отсутствия филиальных отделений нефрологии и гемодиализа. Разработана концепция мобильной станции гемодиализа с точки зрения наполнения по оборудованию. Составлены логистические пути с партнерами VeeRoute. Проект находится в стадии привлечения финансирования.

Ключевые слова

Гемодиализ, хроническая болезнь почек, нефрология, инновации в медицине, медицина.

На сегодняшний день мировое сообщество столкнулось с проблемой глобального масштаба – пандемией хронических неинфекционных заболеваний (НИЗ). Ежегодно 60% смертей в мире приходится именно на эту группу болезней; в России цифра выше – 69,9%. Хроническая болезнь почек (ХБП) одна из разновидностей НИЗ, которая широко распространена и встречается у 10% населения земного шара. Особое опасение вызывает рост заболеваемости (за последние 20 лет смертность от нее практически удвоилась, перейдя с 27-й на 18-ю строчку в списке распространенных причин смертей). Данная тенденция роста уступает только показателям смертности от ВИЧ / СПИД [1]. На сегодняшний день как для российского здравоохранения, так и для мирового медицинского сообщества, проблема ХБП является одной из наиболее острых.

Количество больных на заместительной почечной терапии (гемодиализ, перитонеальный диализ, аллотрансплантация) в России растет с каждым годом. Лечение гемодиализом преобладает и занимает в среднем 70% от всех видов лечения заместительной почечной терапии (рис. 1).

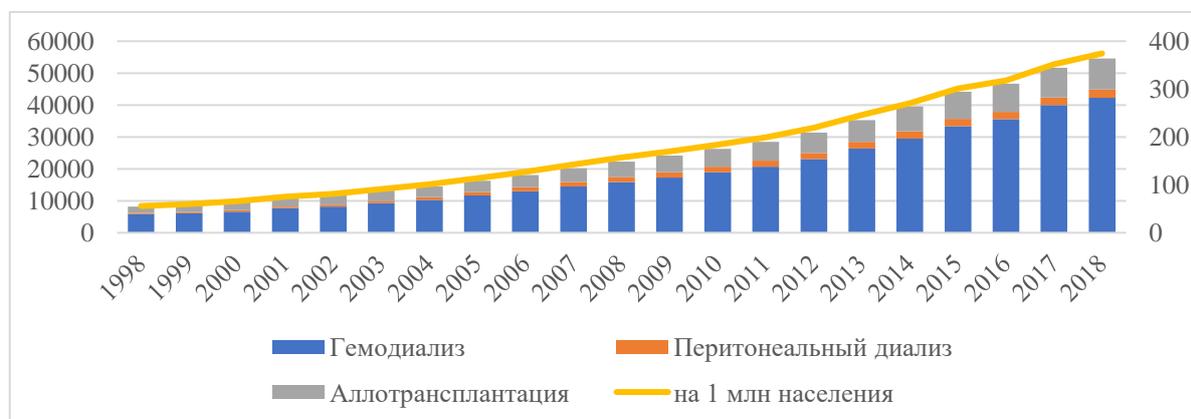


Рис. 1. Динамика количества больных на ЗПТ в РФ за 1998–2018 гг. [2-4]

Среди основных проблем нефрологической службы на территории РФ выделяют:

1. Удаленность места жительства значительной части населения от диализных центров.
2. Недостаточное развитие внутрирегионального транспорта.
3. Слабое развитие межрегиональных транспортных коммуникаций.

Программа диализного лечения предусматривает проведение процедур гемодиализа не менее трех раз в неделю. Общее эффективное диализное время должно быть не менее 720 мин (или 12 часов) в неделю. Проведение одного сеанса гемодиализа не должно быть меньше 4-х часов. Однако, при необходимости (отсутствие достижения эффекта, тяжелое состояние пациента) продолжительность и количество сеансов лечения могут быть увеличены. Согласно международным стандартам лечения, каждому пациенту необходимо не менее 156 процедур гемодиализа в год. Гемодиализ при хронической болезни почек 5 стадии носит непрерывный (пожизненный) характер. То есть, пациентам, нуждающимся в постоянном гемодиализе, и проживающим в отдаленных районах (100-300 км. от специализированных медицинских организаций), приходится тратить время на дорогу (от 1 до 3 часов в одну сторону) для получения жизненно необходимой процедуры.

Проблема, вытекающая из предыдущей – финансирование проезда до процедуры гемодиализа. С 2013 года заместительная почечная терапия включена в систему обязательного медицинского страхования (ОМС). При этом расценки оплаты ЗПТ определяются тарифной комиссией Территориального фонда ОМС каждым регионом самостоятельно. Размеры тарифа в разных регионах могут существенно различаться. Необходимо отметить, что проезд до места оказания услуг диализа не включен в тариф ОМС на оплату данной медицинской помощи. В связи с тем, что многие пациенты проживают в отдаленных районах, а дорога до диализных центров занимает значительное время, проблема проезда и его оплаты является значимой для пациентов, получающих заместительную почечную терапию. Актуальность проблемы повреждают сами пациенты, врачи-нефрологи, и огромное количество новостей в сети Интернет, связанных с историями пациентов, которым необходимо не только добираться до учреждений здравоохранения, но и самостоятельно оплачивать проезд.

В целях магистерского исследования выбрана проблема организации оказания медицинской помощи пациентам с хронической болезнью почек терминальной стадии,

нуждающихся в транспортировке к месту оказания процедуры гемодиализа. Для решения проблемы оказания нефрологической помощи населению предложено создание мобильной станции гемодиализа Nephro PRO. Создание мобильной станции гемодиализа видится как возможность для пациентов получать услуги по месту жительства, экономия денежных средств на транспорт, для системы здравоохранения – увеличение количества койко-мест в медицинских организациях, и, соответственно оптимизация системы оказания нефрологической помощи.

В процессе разработки прототипа мобильной станции гемодиализа исследовано два рынка - медицинского оборудования (аппаратов гемодиализа) и компаний, специализирующихся на переоборудовании транспортных средств.

На первом этапе работы проведен поиск компаний-продавцов аппаратов гемодиализа, самой важной части мобильной станции. Первоначально реализация виделась в закупке аппаратов, бывших в употреблении (стоимостью ниже на 50–60% по сравнению с новыми). Однако после консультаций с врачами-специалистами нефрологами и менеджерами по продажам медицинского оборудования, в целях приоритета безопасности пациентов, принято решение о закупке новых аппаратов. Кроме того, при закупках бывших в употреблении аппаратов существовала вероятность приобретения оборудования, ранее использованного в лечении пациентов с ВИЧ/СПИД или новой коронавирусной инфекцией COVID-19. В конце февраля-начале марта 2021 был найден первый партнер проекта – компания «МедЛайн». Является дистрибьютором компании «Fresenius», – мирового лидера в производстве диализного оборудования для лечения хронической почечной недостаточности и расходных материалов к нему, что определило выбор компании как основного поставщика для мобильной станции.

Вторым этапом работы стал поиск компаний, специализирующихся на переоборудовании транспортных средств. В апреле 2021 года запросы о сотрудничестве направлены в компании, занимающиеся подобными услугами. По результатам рассмотрения определен партнер - Федеральное государственное унитарное предприятие «Экспериментально-производственные мастерские» Федерального медико-биологического агентства, имеющий подобный кейс – мобильный комплекс по заготовке крови.

В ходе совместной работы в программе SpaceClaim рассматривались проекты вариантов планировки мобильной станции гемодиализа. Оптимальным и реализуемым оказался вариант с размещением 4 койко-мест (рис. 2).

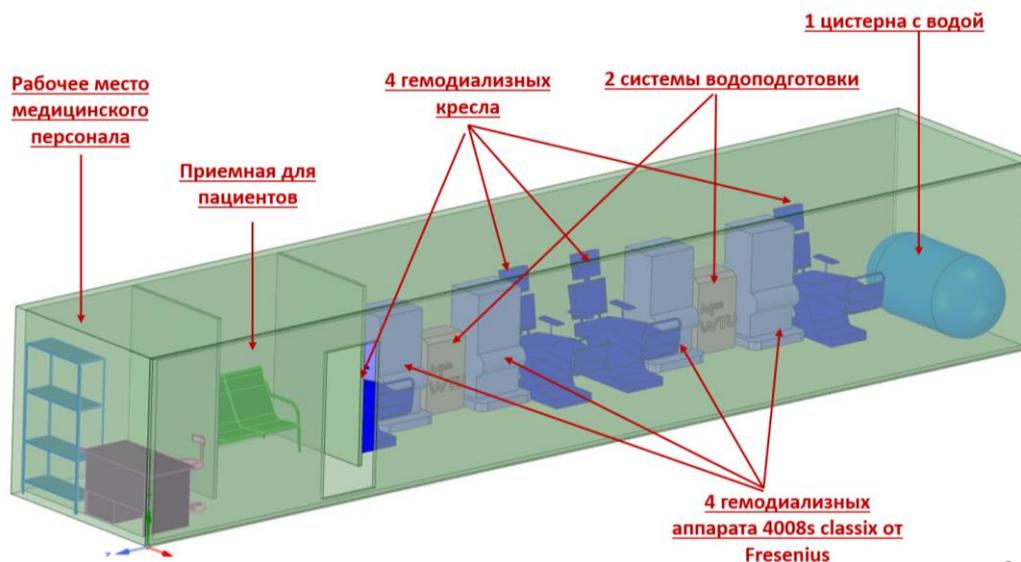


Рис. 2. Планировка мобильной станции гемодиализа, рассчитанная на 4 койко-места

Общий состав работ конструированию мобильной станции гемодиализа:

- монтаж дизельной электростанции (страна-производитель Япония);
- разработка и монтаж топливной системы для дизельной электростанции;
- монтаж автономной системы электроснабжения, оснащение мобильной станции гемодиализа принципиально новыми элементами питания на основе нанотехнологий, гелевыми аккумуляторами (более долговечны и устойчивы к глубоким разрядам по сравнению с обычными);
- разработка и монтаж тепло-шумо изоляции мобильной станции гемодиализа;
- разработка и монтаж системы кондиционирования;
- разработка и монтаж системы отопления;
- разработка и монтаж системы водообеспечения и канализации;
- монтаж коммуникационного оборудования (рабочая станция, локальная сеть, установка сети Wi Fi и др.);
- разработка и монтаж системы внутреннего освещения;
- разработка и монтаж системы пожарной безопасности (обеспечивает автономную работу без источников внешних энергоресурсов (без дозаправки топливом) не менее чем 3 суток;
- разработка и монтаж отсеков для приема пациентов (мебель, перегородки, фурнитура и др.).

Перечень медицинского оборудования и мебели, монтируемых в мобильную станцию гемодиализа:

- кресло для гемодиализа V-КДэ с электроприводом, страна-производитель Россия – 4 шт.;
- аппарат гемодиализа 4008S Basic Version (Classic) Fresenius – 4 шт.;
- система водоподготовки Aqua WTU 250 – 2 шт.;
- многоместная секция Avion mc 6 – 1 шт.;
- чемодан для скорой помощи реанимационный Wero Medical, страна-производитель Германия – 1 шт.;
- цистерна с водой 1500 л – 1 шт.;
- стол для врача с подкатной тумбой СКВ-1.1 – 1 шт.;
- стул врача «КЛЕР» со спинкой – 2 шт.;
- стеллаж медицинский Практик СТМ MS – 1 шт.

На основе данных регистра пациентов с ХБП, полученных от Комитета здравоохранения Волгоградской области, мы изучили область с точки зрения обеспеченности населения заместительной почечной терапией в виде программного гемодиализа (количество медицинских учреждений, предоставляющих данную услугу). В результате данного анализа была подтверждена гипотеза о дисбалансе по территориальной обеспеченности населения нефрологической помощью из-за отсутствия филиальных отделений нефрологии и гемодиализа. По состоянию на 31.12.2020 года в Волгоградской области пациенты равномерно распределены по всей территории области, а вот медицинские центры, в которых оказывают данную процедуру сосредоточены только в трёх крупных городах области - Волгограде, Волжском и Камышине. В итоге пациентам со всей области приходится самостоятельно добираться до этих городов из-за чего возникает загрузка самих центров. С партнерами VeeRoute были сформированы маршруты следования мобильной станции гемодиализа общей протяженностью 676 км, представленных на рис. 3. Составлен график работы мобильных станций гемодиализа, которые можно увидеть в табл. 1.

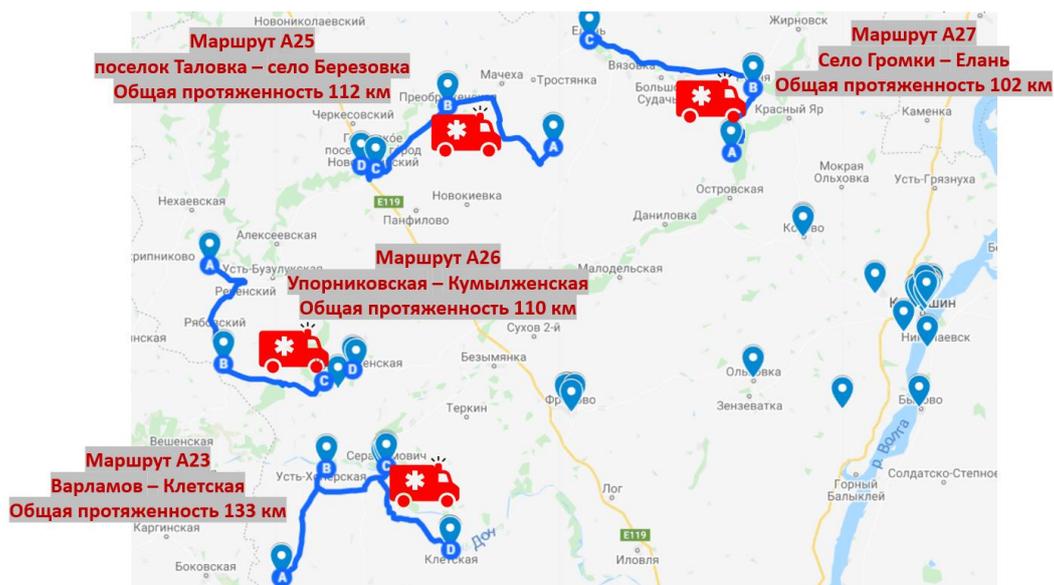


Рис. 3. Часть маршрутов следования мобильной станции гемодиализа Nephro PRO

Таблица 1

Расчет маршрутов следования мобильной станции гемодиализа Nephro PRO

	Маршруты №1,2 Автомобиль №1	Маршруты №3,4 Автомобиль №2	Маршруты №5,6 Автомобиль №3
понедельник	$102+40=142$	$110+73,6=183,6$	$140+70=210$
вторник	$112+89,8=201,8$	$135+80,5=215,5$	$96+121=217$
среда	$102+61,2=163,2$	$110+110=220$	$140+139=279$
четверг	$112+89,8=201,8$	$135+71,5=206,5$	$96+121=217$
пятница	$102+61,2=163,2$	$110+110=220$	$140+139=279$
суббота	$112+89,8=201,8$	$135+71,5=206,5$	$96+121=217$
Итого километраж в неделю	1073,8	1252,1	1419
Итого километраж в месяц	4295,2	5008,4	5676

Для оценки рентабельности проекта был рассчитан финансовый план. Основной статьей расходов являются расходы на создание автомобиля мобильной станции гемодиализа. Полная калькуляция на создание одного автомобиля представлена в табл. 2.

Таблица 2

Расчет капитальных затрат на создание мобильной станции гемодиализа

	Количество	Цена	Сумма
1) Медицинское оборудование			
Аппарат 4008S Basic Version (Classic)	4	1 500 000 Р	6 000 000 Р
2) Остальное необходимое оборудование для проведения процедуры гемодиализа			
Кресло для гемодиализа V-КДэ с электроприводом	4	143 000 Р	572 000 Р
Система водоподготовки Aqua WTU 250	2	1 531 000 Р	3 062 000 Р

продолжение таблицы

	Количество	Цена	Сумма
3) Мебель			
Многоместная секция AVION MC 6	1	27 500 Р	27 500 Р
Стул врача «КЛЕР» со спинкой	2	11 500 Р	23 000 Р
Стол для врача с подкатной тумбой	1	13 000 Р	13 000 Р
Стеллаж медицинский Практик СТМ MS	1	5 000 Р	5 000 Р
4) Автомобиль			
Покупка автомобиля	1	3 000 000 Р	3 000 000 Р
5) Переоборудование автомобиля			
Услуга по переоборудованию автомобиля	1	1 000 000 Р	1 000 000 Р
		Итого:	13 702 500 Р

После подсчета расходов произведен расчет планируемой выручки. Стоимость услуги рассчитана из базовой ставки гемодиализа в 6105 руб. согласно Приложению 12 к тарифному соглашению в сфере ОМС Волгоградской области на 2021 год. Динамика доходов проекта на территории Волгоградской области накопительным итогом представлена на рис. 4.

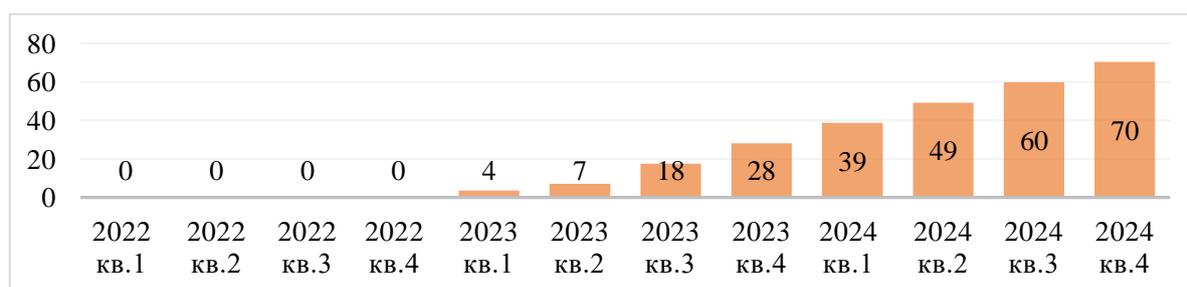


Рис. 4. Динамика доходов проекта Nephro PRO (млн руб.)

Подведем итог и обобщим результаты проекта. Командой разработчиков проекта Nephro PRO предложено создание мобильных станций гемодиализа. Налажены контакты с компаниями-дистрибьюторами медицинского оборудования для приобретения гемодиализных аппаратов и компаниями, оказывающих услуги по переоборудованию транспортных средств в специализированные мобильные комплексы. За год работы над проектом проведены необходимые маркетинговые исследования для выявления потребности в создании новой медицинской услуги, построен прототип мобильной станции с аппаратами гемодиализа и рассчитан финансовый план проекта для презентации будущим инвесторам. Важным элементом проекта является прогноз роста показателя обеспеченности заместительной почечной терапией в виде программного гемодиализа (ГД) населению Волгоградской области. При эксплуатации трех автомобилей с пропускной способностью 48 пациентов, создаются дополнительные 16 койко-мест. По состоянию на 31.12.2020 в Волгоградской области функционирует 88 нефрологических коек круглосуточного стационара. То есть, количество койко-мест увеличится на 18%. Количество аппаратов «искусственная почка» увеличится на 24% с 71 до 83 штук. Общая обеспеченность заместительной почечной терапией в виде программного гемодиализа благодаря внедрению проекта вырастет на 14% и составит показатель 140 чел/млн. населения вместо 123,2 чел/млн. населения в настоящее время.

Литература

1. Liyanage T., Ninomiya T., Jha V., et al. Worldwide access to treatment for end-stage kidney disease: a systematic review. *The Lancet*. 2015.
2. Заместительная терапия больных с хронической почечной недостаточностью в Российской Федерации в 1998–2011 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nephro.ru/content/files/11-127.pdf> (дата обращения: 02.01.2021).
3. Заместительная терапия терминальной хронической почечной недостаточности в Российской Федерации в 2010-2015 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nephro.ru/index.php?r=site/pageView&id=219%20,%20journal.nephro.ru/index.php?r=journal/pageView&id=219> (дата обращения: 02.01.2021).
4. Заместительная терапия терминальной хронической почечной недостаточности в Российской Федерации 2014-2018 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://webmed.irkutsk.ru/doc/pdf/tkfru.pdf> (дата обращения: 02.01.2021).

Тартынских Петр Сергеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

студент группы №К42402,

направление подготовки: 09.04.03. – Прикладная информатика

(образовательная программа Мобильные и сетевые технологии),

e-mail: tartynskikh.ps@yandex.ru

Горлушкина Наталия Николаевна

Год рождения: 1955

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

к.т.н., с.н.с., доцент,

e-mail: nagor.spb@mail.ru

УДК 004.4

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК В ОФОРМЛЕНИИ
ОТДЕЛЬНЫХ АСПЕКТОВ DOCX ДОКУМЕНТОВ**

П.С. Тартынских

Научный руководитель – к.т.н., с.н.с., доцент Н.Н. Горлушкина

Работа выполнена в рамках темы НИР №620187 «Сервис автоматизированного нормоконтроля документов и обучения оформлению документации».

Аннотация

В работе рассматривается процесс разработки модуля для взаимодействия с docx документами в рамках работы сервиса автоматизированного нормоконтроля. Проведен анализ предметной области, доказывающий перспективность разработки. Рассмотрены различные подходы к автоматизированному анализу оформления документов. Описана структура сервиса и место модуля в нем. Представлен алгоритм проверки форматирования абзацев и проект модуля, основанного на его работе. Проведено функциональное и интеграционное тестирование модуля.

Ключевые слова

Автоматизация процессов, анализ docx документов, форматирование документов, нормоконтроль оформления документов, разработка программного обеспечения.

Во многих сферах деятельности текстовые документы обязаны соответствовать определенным правилам оформления. В отечественном делопроизводстве требования оформления таких документов как ВКР, отчеты по НИР, и др. регламентируются ГОСТом 7.32–2017. Отдельные требования для диссертаций описаны в ГОСТ Р 7.0.11–2011. Все работы научного характера должны соответствовать этим требованиям. Кроме того, каждая организация, в том числе и высшие учебные заведения, имеет требования, которые являются нормативными документами, устанавливающими общие требования к построению, изложению и оформлению документов. Примером таких требований могут служить требования Университета ИТМО к оформлению ВКР. Определенные требования к оформлению рукописей имеют редакции научных изданий. Например, правила оформления научных статей для журналов Scopus и Web of Science.

Предварительно подготовленный документ должен пройти обязательную проверку уполномоченным лицом. В учебных заведениях этим обычно занимается преподаватель.

Несмотря на развитие и распространение средств по работе с электронными документами. Проверка правильности их оформления осуществляется вручную и, зачастую неоднократно, что приводит к значительным затратам времени и задержкам перед публикациями. Формальный характер большинства правил позволяет в теории автоматизировать процесс проверки соответствия оформления элементов документа этим правилам, что облегчит труд нормоконтролеров, что подтверждается существующими исследованиями [1-3]. Таким образом, было решено разработать сервис, предоставляющий инструментарий для организации нормоконтроля электронных версий документов через надстройку для Microsoft Word. Ключевое место в работе системы занимает модуль для взаимодействия с документами.

Формат docx – свободно распространяемый формат электронных документов, базирующийся на стандарте Office Open XML. Он является одним из самых популярных форматов для документов такого типа. Такие файлы могут быть созданы и отредактированы с помощью текстового процессора Microsoft Word, или другим аналогичным программным обеспечением. Одним из его главных достоинств формата docx является то, что он хранится вся информация об оформлении, стилях и разметке содержимого. Именно эти данные необходимы для организации проверки форматирования документа.

При создании документа, одного визуального представления можно добиться несколькими способами. Так, например, перечисления можно создать как при помощи функций Word (“маркеры”, “нумерация”, “многоуровневый список”), так и отформатировав несколько последовательно стоящих абзацев, чтобы они визуально соответствовали требованиям (рис. 1). Использование разных подходов к созданию элементов влечет за собой необходимость разработки разных подходов к их анализу. Эта проблема была решена введением модуля для классификации параграфов методами машинного обучения, описанного в соответствующей статье [4].

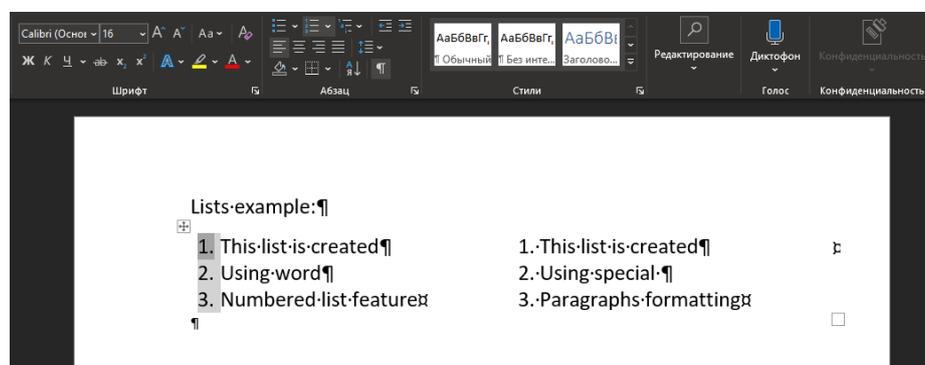


Рис. 1. Различные способы создания перечислений в Word

В процессе работы было выделено несколько методов, позволяющих решать задачу проверки оформления элементов документа на соответствие определенным требованиям:

- метод использования библиотек, предоставляющих API для работы с документом;
- метод конвертации docx документа в графические форматы и их дальнейший анализ;
- метод анализа текстового содержимого документа.

Среди них наиболее универсальным является первый метод.

Для сравнения библиотек, предоставляющих API для работы с docx документами. была составлена следующая таблица (табл. 1).

Сравнительная таблица библиотек для работы с docx

	Microsoft.Office.Interop.Word	GemBox.Document	Spire.Doc	Aspose.Words	Open XML SDK
Платформа	.NET Framework	.NET Core	.NET Core	.NET Core	.NET Core
Необходима установка MS Office	+	-	-	-	-
Возможность открытия нескольких копий документа	-	+	+	+	-
Ценовая политика	Бесплатно (нужна лицензия Office)	680\$	599\$	999\$	Бесплатно
Количество скачиваний NuGet	950 000	500 000	300 000	2 000 000	17 892 304
Легкость освоения	±	+	±	+	±
Требует взаимодействия с внутренней структуры XML	±	-	-	-	+

После анализа всех параметров, было принято решения использовать возможности библиотеки GemBox.Document [5].

В рамках работы по реализации модуля для взаимодействия с docx документами необходимо было автоматизировать решение следующих задач:

- определение значений свойств элементов документа (расположение, стили, форматирование) для их использования при классификации,
- сравнение полученных значений с эталонными для соответствующих классов элементов документов.

Анализ ошибок оформления и инструментов для работы с docx файлами, показал, что проверку оформления документа можно разделить на проверку отдельных его аспектов. Так, например, были выделены: форматирование абзацев, оформление титульного листа, колонтитулов, содержания, списка литературы, таблиц, рисунков и т. д. Эти процессы являются независимыми друг от друга, и, следовательно, могут выполняться отдельно. Таким образом, была предложена следующая схема работы сервиса:

- 1) открытие документа, загрузка надстройки, выбор параметров проверки,
- 2) получение свойств параграфов документа и попытка определить классы проверяемых элементов с учетом анализа стандартного оформления и прошлых решений пользователя,
- 3) уточнение классов элементов у пользователя и работа классификатора в отдельных случаях,
- 4) проверка форматирования отдельных абзацев и возможность исправления (или пропуска) других абзацев с аналогичным оформлением.

Согласно этой схеме, модуль для взаимодействия с документами работает в следующих случаях:

Согласно схемам на выше, во время работы сервиса модуль может вызываться в следующих случаях:

1) для получения csv файла со свойствами параграфов документа (с возможностью передачи стандартных значений свойств (пресет-значений) для классификации параграфов) (этап 2),

2) для проверки форматирования отдельного параграфа определенного класса согласно выбранным требованиям и сохранения результата в json файл со списком ошибок и советами по их корректировке (этап 4),

3) для получения json файла, со значениями эталонных свойств заданных классов элементов согласно выбранным требованиям (этап 4).

По требованиям к сервису функции проверки должны поддерживать выбор различных требований оформления. Для этого была предложена модель эталонного документа, которая должна использоваться при работе модуля. На рис. 2 изображена диаграмма классов, которая определяет общую структуру модели документа.

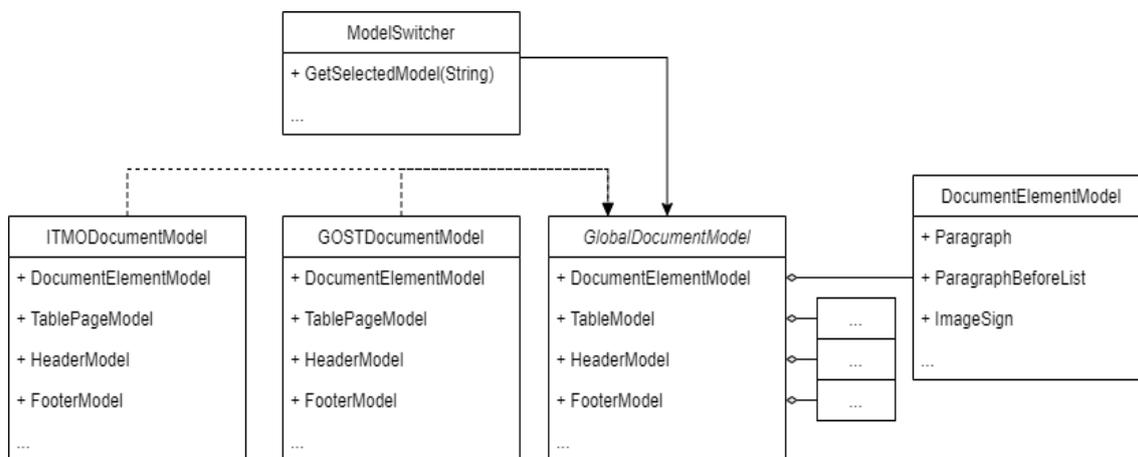


Рис. 2. Диаграмма классов (модель документа)

Абстрактный класс `GlobalDocumentModel` определяет несколько полей, олицетворяющих отдельные аспекты документа. В свою очередь существуют не абстрактные классы, которые являются конкретными реализациями модели документа для соответствующих требований. На схеме они обозначены `GOSTDocumentModel` и `ITMODocumentModel`. Объект `ModelSwitcher` находится на самом верхнем уровне и позволяет получить соответствующую реализацию наследника класса `GlobalDocumentModel` по текстовому обозначению правил в программе (например "GOST" для выбора модели для ГОСТ 7.32–2017).

Модель форматирования абзацев определяет оформление для классов элементов документа таких как абзац, абзац после списка, подпись к рисунку и др. Все эти классы элементов являются дочерними классами от базовых классов для соответствующих стандартов (на схеме обозначены `DocumentElement(GOST)` и `DocumentElement(ITMO)`), которые в свою очередь являются дочерними классами от `DocumentElement` (рис. 3). В нем определены общие для всех классов элементов свойства (шрифт, начертание, выравнивание и др.). Такая иерархия позволяет создавать независимые объектные модели для различных стандартов с отдельными функциями проверки специфичных для них свойств.

В свою очередь наследники класса `GlobalDocumentModel` ссылаются на соответствующие для требований реализации этих классов, тем самым инкапсулируя все условия правильности оформления в одном объекте (рис. 4).

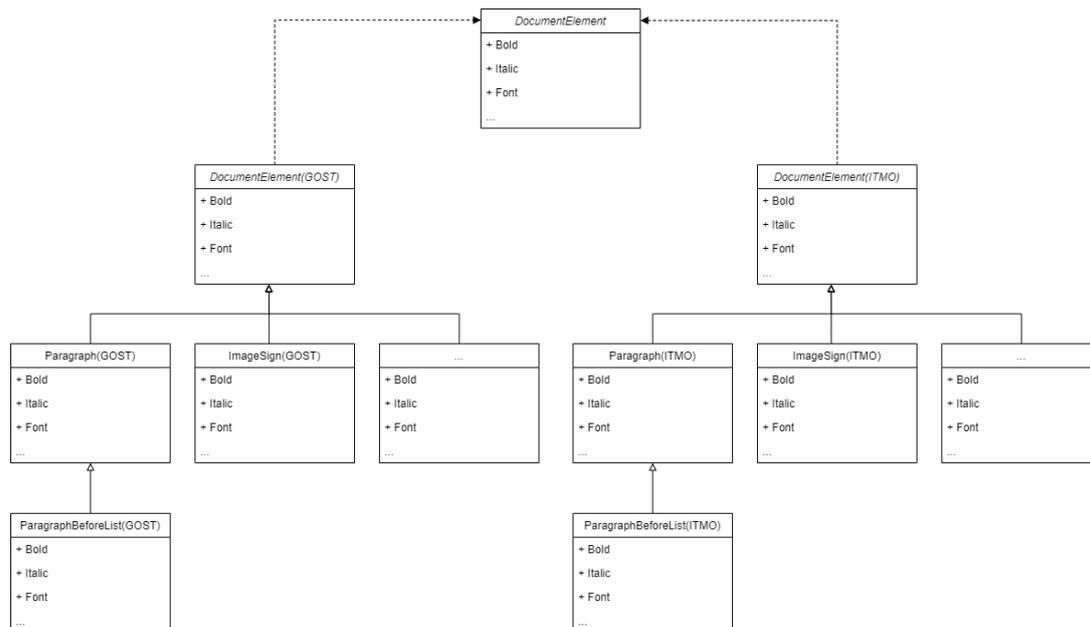


Рис. 3. Диаграмма классов (элементы документа)

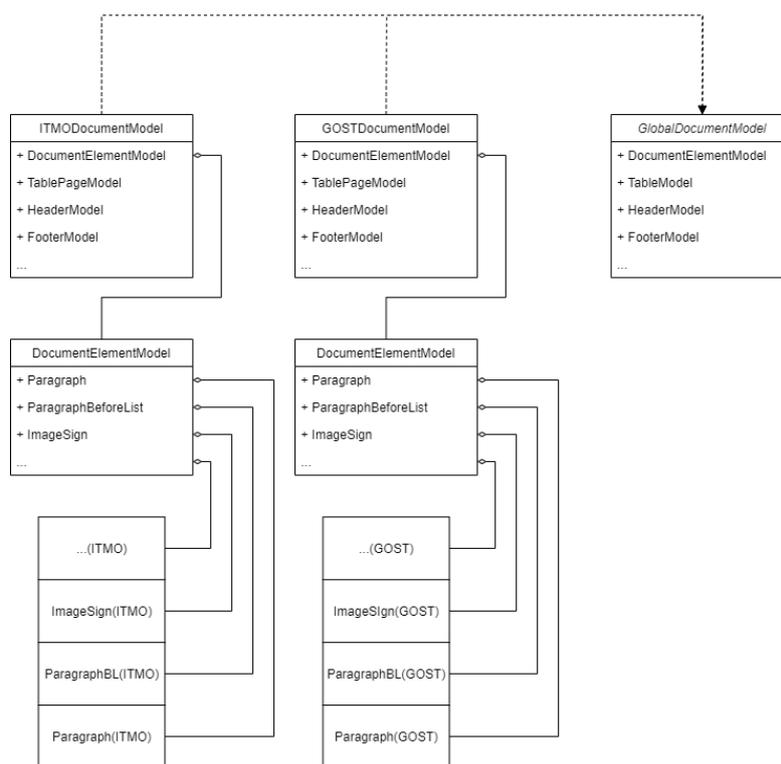


Рис. 4. Диаграмма классов (модели для требований)

Основная часть документа представляет собой последовательность параграфов. Если будет известен класс конкретного параграфа и нужные требования оформления (при условии их поддержки), то не составит труда найти его в документе по его порядковому номеру и сравнить его свойства с эталонными. Этот факт позволил разработать алгоритм проверки отдельного абзаца. Алгоритм имеет следующие основные стадии:

- 1) загрузка документа и получение эталонной модели документа по требованиям,
- 2) проход по документу с составлением списка элементов, которые могут подлежать проверке,
- 3) получение объекта, в котором хранятся эталонные правила оформления для выбранного класса,
- 4) получение нужного параграфа из списка элементов и сравнение его свойств с эталонными, получение списка ошибок.

В соответствии со всем вышеописанным было разработано консольное .NET Core приложение, для работы на серверной части сервера автоматизированного нормоконтроля. В качестве параметров при проверке форматирования абзаца документа передается путь до документа, требования оформления (ГОСТ 7.32–2017 или ГОСТ 7.0.11), порядковый номер параграфа, метка класса параграфа и путь для сохранения результата. Для каждой ошибки определяется сообщение, уровень критичности и совет по ее корректировке. На рис. 5 представлен пример результата выполнения функции.

```
{
  "ParagraphID": 1,
  "ParagraphClass": "c1",
  "Prefix": "1 Идеиные соображени",
  "Mistakes": [
    {
      "Message": "Неверное выравнивание",
      "Advice": "Выравнивание текста должно быть по ширине",
      "Importance": "Regular"
    },
    {
      "Message": "Неверный первый символ",
      "Advice": "Первый символ абзаца должен быть заглавная буква",
      "Importance": "Regular"
    }
  ]
},
```

Рис. 5. Результат проверки форматирования абзаца

Работа модуля была протестирована для проверки корректности поиска ошибок в 55 свойствах 17 различных классов абзацев для двух ГОСТов. Далее модуль был успешно интегрирован в работу сервиса. В дальнейшем планируется интеграция сервиса в работу ИСУ и добавление системы выбора пользовательских требований при проверке документов.

Литература

1. Соколов А.А., Дворянкин А.М., Ужва А.Ю. Разработка метода автоматизации процесса нормоконтроля технической документации // Известия ВолГТУ. 2013. № 22. С. 114–118.
2. Самойлова И.А. Сложность реализации автоматизированной проверки дипломных работ на соответствие техническим нормам // Молодой ученый. - 2016. - №15 (119). С. 149–152.
3. Самойлова И.А. Некоторые особенности поэтапного алгоритма программы для проверки дипломных работ на нормоконтроль // Молодой ученый. 2016. № 16. С. 51–53.
4. Nasyrov N.F., Komarov M.S., Tartynskikh P.S., Gorlushkina N.N. Automated formatting verification technique of paperwork based on the gradient boosting on decision trees. Procedia Computer Science. 2020. Vol. 178. pp. 365-374.
5. GemBox.Document: GemBox [Электронный ресурс] URL: <https://www.gemboxsoftware.com/document>. (дата обращения 10.04.2021).

Уварова Алла Викторовна

Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
Инженерно-исследовательский факультет,
студент группы №В42016с,
направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,
e-mail: alla.uvarova@itmo.ru

Бахолдин Алексей Валентинович

Год рождения: 1976
Университет ИТМО,
Инженерно-исследовательский факультет,
к.т.н., доцент,
e-mail: bakholdin@itmo.ru

УДК 681.7.067.28

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ
МИКРООБЪЕКТИВОВ С ВЫСОТОЙ 60 ММ
В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМНЫХ РЕАЛИЗАЦИЯХ**

А.В. Уварова

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Бахолдин

Работа выполнена в рамках темы НИР №620170 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач опотехники и биоинженерии».

Аннотация

В работе рассматривается разработка комплекта микрообъективов с тубусной линзой, которые системно реализуют линейные увеличения 4x ($NA=0,1$), 10x ($NA=0,25$), 20x ($NA=0,4$) и 40x ($NA=0,55$). Микрообъективы имеют актуальные оптические и механические характеристики. Представлено исследование качества изображения объективов в различных схемных реализациях.

Ключевые слова

Объективы микроскопов, комплекты микрообъективов, качество изображения, парфокальные расстояния, рабочие расстояния объективов микроскопов.

Объективы микроскопов представляют собой сложные оптические системы с высокими требованиями к качеству изображения. Кроме требований к оптическим характеристикам, при проектировании микрообъективов важно отслеживать их актуальные механические параметры. Так, сегодня развитие микрообъективов находится в состоянии перехода к новому парфокальному расстоянию – 60 мм (от высот 33 мм и 45 мм – расстояний от предмета до опорной плоскости объектива). Это позволяет использовать большее количество оптических элементов в схемах разных увеличений [1, 2].

Существуют методы расчёта микрообъективов, позволяющие синтезировать системы как с нуля, так и с помощью модернизации известных систем. При этом путь модернизации применяется в индустрии чаще. Поэтому актуальными являются исследования качества изображения микрообъективов, полученных без усложнения их базовых схем [3].

По результатам обзора характеристик современных микрообъективов [4] можно выделить их следующие общие черты:

- длина тубуса – бесконечность;

- линейное поле в пространстве изображения тубусной линзы – 20...25 мм (что является увеличенным параметром по сравнению с прежними принятыми полями 12...18 мм);

- высота – 60 мм;
- присоединительная резьба – метрическая.

В работе рассчитан комплект микрообъективов с характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Оптические характеристики микрообъективов и данные, необходимые для габаритного расчёта

Линейное увеличение объектива с тубусной линзой $\beta_{об+тл}$	Числовая апертура объектива NA	Фокусное расстояние объектива $f'_{об}$	Диаметр апертурной диафрагмы $D_{Ад}$	Относительное отверстие объектива $D_{Ад}/f'_{об}$
4^x	0,1	50 мм	12,08 мм	1/4
10^x	0,25	20 мм	10,32 мм	1/2
20^x	0,4	10 мм	8,72 мм	1/1,15
40^x	0,55	5 мм	6,62 мм	1/0,76

Также общими характеристиками для рассчитанных систем будут:

- Линейное поле в пространстве изображения тубусной линзы $2y'_{об+тл} - 24$ мм;
- Угловое поле в пространстве изображений объектива $2\omega' - 7^\circ$;
- Фокусное расстояние тубусной линзы $f'_{тл} - 200$ мм;
- Спектральный диапазон: е, F', C';
- Качество изображения: число Штреля по полю $St \geq 0,7$.

Важно разрабатывать объективы, согласованные оптически и механически, поскольку только так их можно использовать вместе и реализовывать смену увеличений в микроскопе.

Для требуемых систем линейных увеличений разработаны варианты объективов, на примере которых исследованы возможности их базовых схем.

Первый объектив комплекта – объектив-поисковик, создающий вместе с тубусной линзой увеличение $4x$. Классической базовой схемой построения таких объективов является вариант двух склеек, который и был рассчитан по методу проб. После достижения успеха в таком расчёте, было проведено исследование вариантов упрощения стандартной базовой схемы. Решение было найдено в виде комбинации «склейка с линзой», которая поддаётся расчёту по основным параметрам Г.Г. Слюсарева. Основные параметры в таком случае имеют значения $P=W=C=0$ [5].

Оба объектива имеют дифракционное качество: классический вариант вида «пара склеек» имеет число Штреля по полю $St \geq 0,9$, вариант «склейка с линзой» имеет число Штреля по полю $St \geq 0,8$. Представленное исследование говорит о том, что упрощение систем коррелирует со снижением качества их изображения. Однако, для объективов-поисковиков это допускать можно, поскольку они обладают большим запасом качества изображения базовых схем.

Эскизы оптических схем разработанных объективов-поисковиков представлены на рис. 1.

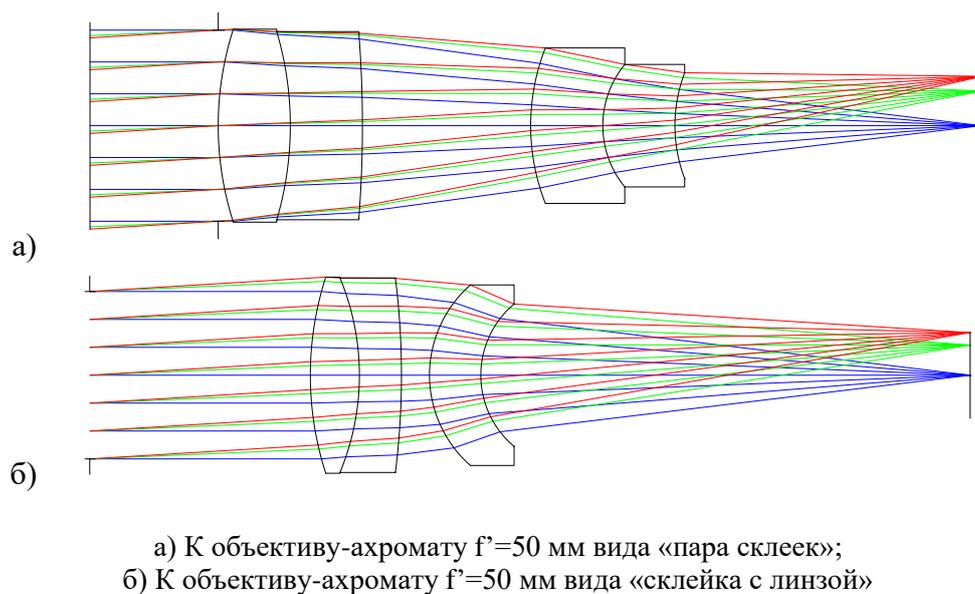


Рис. 1. Эскизы оптических схем разработанных объективов-поисковиков

Однако, неперегруженные оптическими элементами объективы для систем больших увеличений чаще всего не обладают таким запасом качества, чтобы упрощать свои оптические схемы. Поэтому были исследованы способы влияния на качество изображения изменением конструктивных параметров схем микрообъективов. В результате работы установлена зависимость качества изображения от рабочего расстояния объективов без изменения их базовых схем.

Исследование проводилось для объективов систем увеличений 10 и 20 крат, эскизы оптических схем которых представлены на рис. 2 и 3. Объективы рассчитаны методом проб и с помощью методики масштабирования.

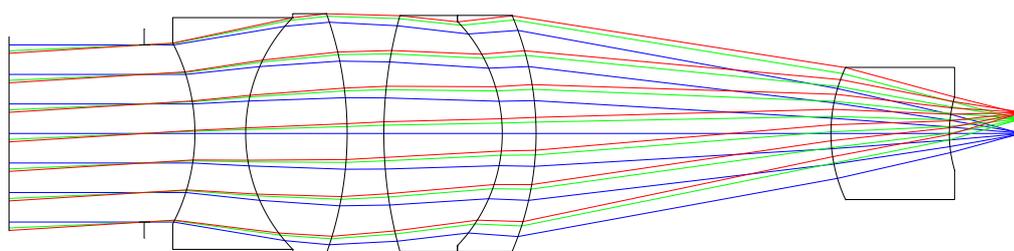


Рис. 2. Эскиз оптической схемы разработанных объективов-ахроматов $f^*=20$ мм

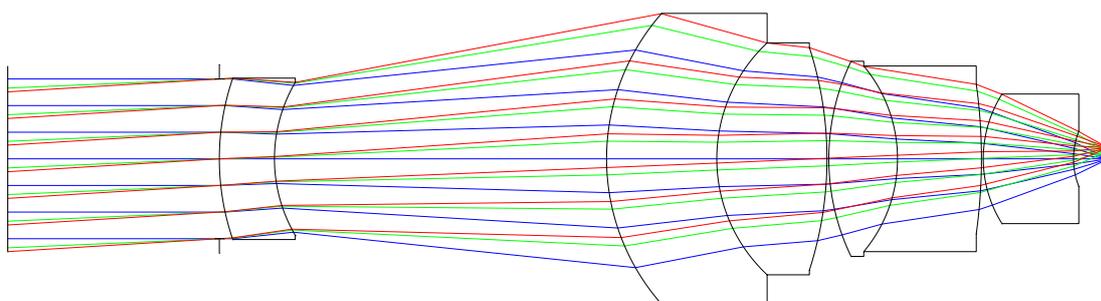


Рис. 3. Эскиз оптической схемы разработанного объективов-ахроматов $f^*=10$ мм

Рабочим расстоянием называется пространство от предмета до первой поверхности объектива, и его величина влияет на эргономику работы с объективом: чем меньше рабочее расстояние, тем осторожнее оператор должен переключать и фокусировать объективы во избежание повреждения препарата. Под рабочим расстоянием объектива для системы увеличения 20х подразумевалось пространство между объективом и покровным стеклом – обязательным элементом, который учитывается при проектировании систем таких увеличений.

Корреляция между рабочим расстоянием объективов и числом Штреля по полю их изображений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость качества изображения микрообъектива от его рабочего расстояния

Тип объектива	Рабочее расстояние	Число Штреля по полю
Объектив-ахромат $f^*=20$ мм	4,42 мм	$\geq 0,7$
	3 мм	$\geq 0,8$
Объектив-ахромат $f^*=10$ мм	2 мм	$\geq 0,7$
	0,43 мм	$\geq 0,8$

Представленное исследование показало, что улучшать качество изображения без усложнения базовых схем объективов можно только снижением рабочего расстояния. Все представленные варианты применимы в реальных системах. Предпочтение большего рабочего расстояния или лучшего качества изображения зависит только от задач и условия применения объективов.

В отношении последнего объектива – микрообъектива для системы увеличения 40х – исследовалась возможность создания системы такого класса исключительно из оптических стёкол (так же, как и представленные выше объективы спроектированы только из них).

Опыт расчёта показал, что основными аберрациями, влияющими на качество изображения в высокоапертурных системах, являются хроматические аберрации, исправить которые исключительно оптическими стёклами невозможно. Также сложность расчёта данного объектива определяется его относительным отверстием 1/0,76 (табл.1), что позволяет классифицировать такой микрообъектив как сверхсветосильный. После замены стёкол отдельных одиночных линз масштабной-компенсационной части объектива на флюорит, стало возможным спроектировать систему с актуальными оптическими характеристиками.

Способ проектирования – метод проб. Эскиз оптической схемы разработанного объектива представлен на рис. 4.

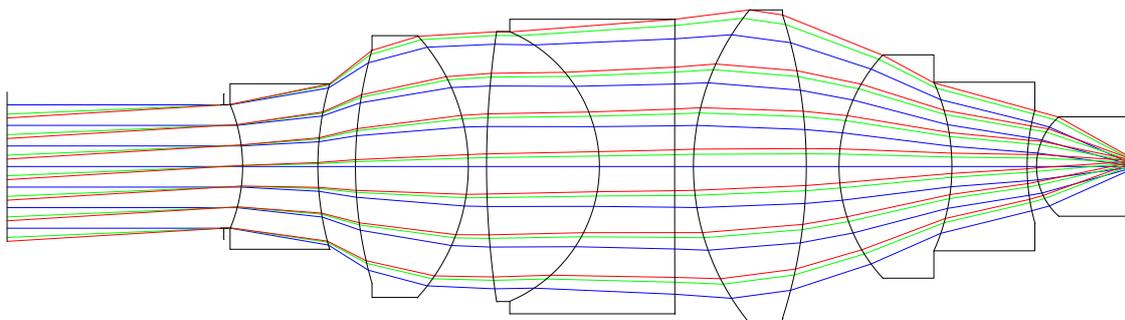


Рис. 4. Эскиз оптической схемы разработанного объектива-ахромата $f^*=5$ мм

Таким образом, из исследования качества изображения объективов, рассчитанных в рамках работы, в разных схемных реализациях можно вывести следующие особенности и закономерности: объективы-поисковики позволяют упрощать свои схемы за счёт запаса качества изображения; объективы средних увеличений, если не добавлять им новых компонентов, могут быть улучшены с точки зрения качества изображения только снижением рабочего расстояния; объективы больших увеличений и высоких апертур обладают хроматизмом положения, исправление которого возможно только с помощью расширения круга применяемых материалов.

В работе представлены объективы, механическая высота которых (на основании суммирования осевых расстояний) – 60 мм.

Работа должна быть продолжена исследованием способов увеличения рабочего расстояния объективов и синтезом новых оптических систем с актуальными оптическими и механическими характеристиками.

Литература

1. Виноградова Г.Н. Основы микроскопии: учебное пособие / Виноградова Г.Н., Захаров В.В. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО. 2018. Часть 1: Основы микроскопии – 2018. 133 с.
2. Zhang Yueqian and Gross Herbert. "Systematic design of microscope objectives. Part II: Lens modules and design principles" *Advanced Optical Technologies*, vol. 8, no. 5, 2019, pp. 349-384.
3. Цуканова Г.И., Романова Г.Э., Бахолдин А.В. Теория и методы проектирования оптических систем. Часть I. СПб: НИУ ИТМО. 2011. 104 с.
4. *Imaging Microscope Objectives, Dry* / Thorlabs, Inc. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1044. (дата обращения 10.04.2021).
5. Андреев Л.Н., Панов В.А. Оптика микроскопов. Расчёт и проектирование. Л.: Машиностроение. 1976. 432с.

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

Андрухова Ксения Олеговна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т42061,

направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания

из растительного сырья,

e-mail: andrukhoa.ksenia@yandex.ru

Бройко Юлия Владимировна

Год рождения: 1882

Университет ИТМО,

мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,

факультет биотехнологий,

к.т.н., ст. преподаватель,

e-mail: yuliya_broyko@itmo.ru

УДК 664.8/.9

**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ
ПОЛУФАБРИКАТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ
ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОЙ СМЕСИ**

К.О. Андрухова

Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель Ю.В. Бройко

Работа выполнена в рамках темы НИР №620142 «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии биоактивных пищевых ингредиентов с заданными свойствами из биоресурсов и вторичных сырьевых источников растительного и животного происхождения для обеспечения здорового питания населения РФ с использованием пищевой комбинаторики».

Аннотация

В работе рассмотрена проблема рациональной переработки зернового и бобового сырья. Объектами исследования выбраны цельнозерновая гречневая и нутовая мука, разработанные полуфабрикаты на основе поликомпонентной цельнозерновой смеси.

На основании анализа биологической ценности белков, подтвержденной оценкой сбалансированности по аминокислотному составу, функциональной значимости и высоких органолептических показателей, основным сырьем для производства полуфабрикатов выбрана цельнозерновая гречневая и нутовая мука. Показано, что разработанные рецептуры полуфабрикатов на основе цельнозерновой смеси «Сытные» и «Гречанка», обогащены пищевыми волокнами, минеральными элементами, антиоксидантами, витаминами и полиненасыщенными жирными кислотами. Выявлено, что расчетное содержание таких микронутриентов как тиамин, рибофлавин, ниацин, натрий, железо, фосфор, Омега 3 и Омега 6 превышает 15 %, что определяет функциональную значимость полуфабрикатов. Установлено, что массовая доля (%) влаги, белков, жиров, пищевых волокон в полуфабрикатах «Сытные» и «Гречанка» составляет 68,6, 66,1; 13,5, 10,8; 8,7, 7,6; 12,2, 13,6, соответственно. Энергетическая ценность и гликемический индекс котлет «Сытные» составляет 345 ккал и 20.8 г и «Гречанка» 325 ккал и 30.5 г. По результатам органолептической оценки исследуемых

образцов разработанных полуфабрикатов максимальное значение 4,9 получили котлеты «Сытные». Установлено, что микробиологические показатели безопасности полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка» соответствует требованиям ТР ТС 021/2011.

Ключевые слова

Зерновое и бобовое сырье, поликомпонентная цельнозерновая смесь, гречневая и нутовая цельнозерновая мука, функциональные полуфабрикаты.

По данным ФАО ВОЗ одной из важных государственных задач в решении экономических и социальных проблем развития РФ является вопрос о сбалансированном питании населения промышленно развитых стран, который определен в «Положении дел в области продовольственной безопасности и питания в мире» от 2019 г. По мнению нутрициологов, потребность населения России и развитых стран в микро- и макронутриентах не может быть полностью удовлетворена за счет традиционного питания. При всем многообразии пищевых продуктов на основе зерновых культур, которые постоянно присутствуют во всех пищевых рационах, ассортимент полуфабрикатов функционального назначения из цельнозерновой смеси, вырабатываемых отечественными предприятиями пищевой промышленности, претерпевает дефицит. В настоящее время вопрос о применении цельнозерновой муки в разработке рецептур и технологии функциональных полуфабрикатов остается малоизученным и требует новых решений. Перспективным направлением является разработка полуфабрикатов из зернового и бобового сырья функциональной направленности с высоким содержанием белка, пищевых волокон и макроэлементов, рекомендованных для здорового и активного долголетия населения [1-5].

Объектами исследования выбраны цельнозерновая гречневая и нутовая мука, разработанные полуфабрикаты на основе поликомпонентной цельнозерновой смеси. На первом этапе проведено исследование и обоснование выбора зернового и бобового сырья для разработки рецептур полуфабрикатов функционального назначения. Основным сырьем для производства полуфабрикатов выбраны цельнозерновая гречневая и нутовая мука. Выбор сырья основан на оценке функциональной значимости, химического состава, биологической ценности, а также органолептических показателей. На втором этапе были разработаны рецептуры цельнозерновых котлет «Гречанка» и «Сытные», обогащенные пищевыми волокнами, минеральными элементами, витаминами и полиненасыщенными жирными кислотами. (табл. 1).

Таблица 1

Рецептуры цельнозерновых полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка»

Наименование компонента	Количество сырья г/100 г	
	«Сытные»	«Гречанка»
Цельнозерновая гречневая мука	-	40,0
Цельнозерновая нутовая мука	45,0	-
Цельнозерновая кукурузная мука	15,0	15,0
Вода питьевая	12,0	7,0
Овощи сушёные	10,0	10,0
Отруби пшеничные	-	15,0
Семена льна	-	8,0
Кунжут	5,5	-
Чеснок сушеный	4,0	-
Ячмень голозерный	3,0	-
Масло кунжутное	3,5	3,0
Соль	1,7	1,7

продолжение таблицы

Наименование компонента	Количество сырья г/100 г	
Перец черный	0,1	0,1
Тмин	-	0,1
Фенхель	-	0,1
Куркума	0,1	-
Кориандр (кинза), сушеный	0,1	-

Экспериментальные исследования проводили в международном научном центре "Биотехнологии третьего тысячелетия" Университета ИТМО.

При разработке рецептов полуфабрикатов из цельнозерновой смеси оптимизацию состава проводили с помощью «поиска решения» в табличном редакторе Microsoft Excel. Краевыми условиями были выбраны минимальная себестоимость готового продукта и максимально содержание незаменимых макро- и микронутриентов. В качестве основных отслеживаемых компонентов выбрано содержание белка, жира, углеводов и пищевых волокон.

Рассчитана пищевая ценность полуфабрикатов из цельнозерновой смеси «Гречанка» и «Сытные». По результатам расчета, представленным в табл. 2, установлено, что котлеты «Сытные» в сравнении с котлетами «Гречанка» отличаются большим содержанием белка и пищевых волокон.

Таблица 2

Пищевая ценность полуфабрикатов из цельнозерновой смеси «Гречанка» и «Сытные»

Пищевые продукты	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Пищевые волокна, г	Энергетическая ценность	
					ккал	кДж
«Сытные»	14,0	9,5	42,0	11,4	345	1445
«Гречанка»	11,0	8,2	48,0	14,2	325	1360

Входящее в состав полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка» пищевое волокно снижает их гликемический индекс, что способствует замедлению темпа переваривания и усвоения продукта и повышению чувствительности к инсулину. Расчетные значения гликемического индекса котлет «Сытные» составляют 20,8 г, котлет «Гречанка» - 30,5 г. Анализ биологической ценности показал, что расчетное содержание таких микронутриентов как тиамин, рибофлавин, ниацин, натрий, железо, фосфор, Омега 3 и Омега 6 превышает 15 %, что определяет функциональную значимость полуфабрикатов. Для оценки биологической ценности разработанных цельнозерновых полуфабрикатов рассчитан аминокислотный скор белка (табл. 3).

В котлетах «Сытные» нелимитирующими аминокислотами являются изолейцин и лизин, в котлетах «Гречанка» - изолейцин, лизин, фенилаланин и тирозин.

Разработана технологическая схема производства полуфабрикатов из поликомпонентной цельнозерновой смеси. С целью сохранения пищевой и биологической ценности котлет «Гречанка» и «Сытные» рекомендуется термическая обработка в виде запекания при температуре $200 \pm 10^\circ\text{C}$ или варки на пару при температуре $110 \pm 10^\circ\text{C}$ продукта до $t_{\text{vk}} = 72^\circ\text{C}$. (рис. 1).

Аминокислотный состав котлет «Сытные» и «Гречанка» (А, мг/100 г)

Наименование аминокислоты	«Сытные»		«Гречанка»		Эталонный белок по ФАО ВОЗ на 2007 г.
	А	Скор, %	А	Скор, %	
Изолейцин	1,0	250	1,3	325	0,4
Лейцин	2,1	70	2,4	80	3
Лизин	1,0	100	1,2	120	1
Гистидин	0,7	47	0,8	54	1,5
Метионин+	0,4	27	0,9	60	1,5
Цистин					
Треонин	1,0	39	1,2	46	2,6
Триптофан	0,3	15	0,4	20	2
Валин	1,3	34	1,6	41	3,9
Фенилаланин+	2,1	84	2,5	100	2,5
Тирозин					

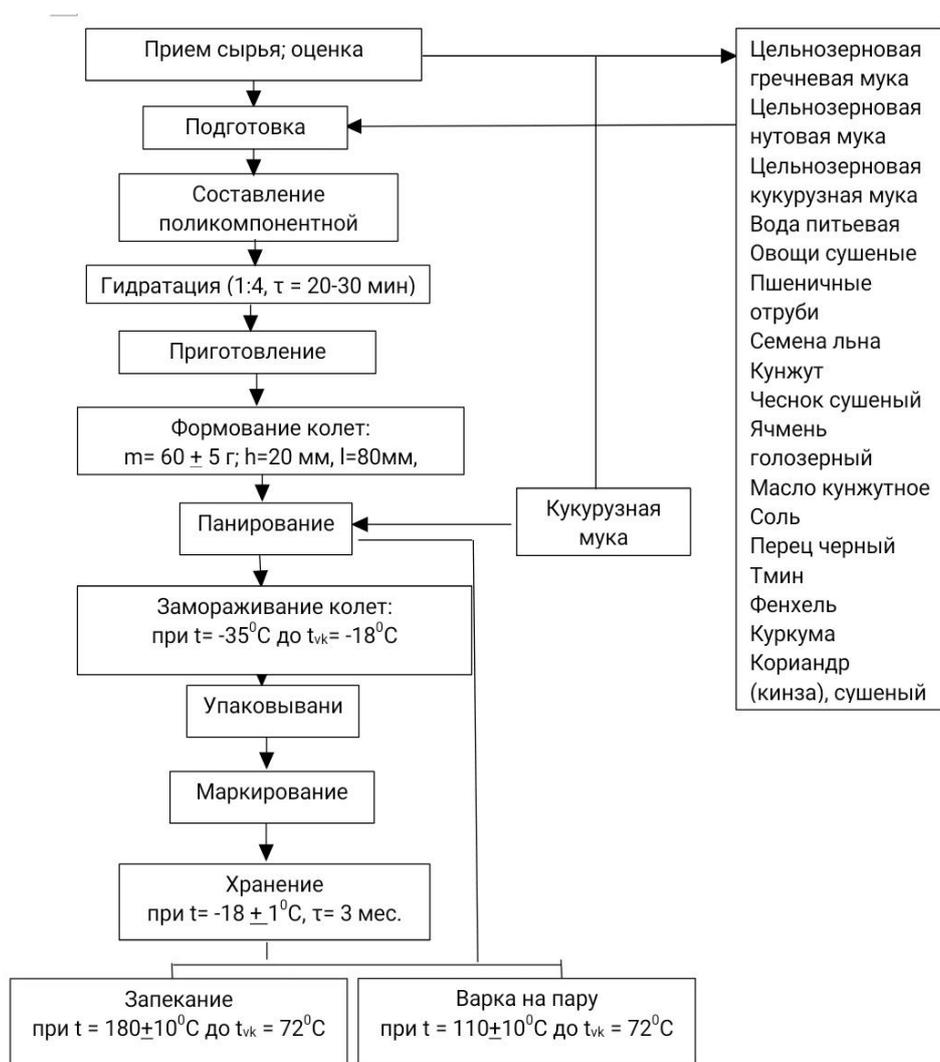


Рис. 1. Технологическая схема производства полуфабрикатов из поликомпонентной цельнозерновой смеси

Проведены исследования органолептических и физико-химических показателей качества, а также микробиологических показателей безопасности разработанных полуфабрикатов из поликомпонентной цельнозерновой смеси.

Установлено, что разработанные полуфабрикаты из цельнозерновой смеси по микробиологическим показателям соответствуют нормам, приведенным в техническом регламенте ТР ТС 021/2011.

По содержанию токсичных элементов (свинца, мышьяка, кадмия, ртути), микотоксинов, пестицидов, радионуклидов, зараженности вредителями и вредных примесей продукт, в зависимости от растительного сырья, не должны превышать норм, установленных в ТР ТС 021/2011. (табл. 4, 5).

Таблица 4

Физико-химические показатели качества полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка»

Показатели	«Сытные»	«Гречанка»
Массовая доля влаги, % не более	66.1±0.1	68.1±0.1
Массовая доля белка, % не менее	13.5±1.2	10.8±0.9
Массовая доля жира, %	8.7±0.2	7.6±0.3
Массовая доля пищевых волокон, %	13.5±0.5	12.2±0.6

Таблица 5

Микробиологические показатели безопасности полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка»

Наименование показателя	Значение показателя п/ф «Сытные»	Значение показателя п/ф «Гречанка»
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	1*10 ⁴	1*10 ⁴
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы)	отсутствуют	отсутствуют
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. Salmonella	не обнаружено в 25,0 г продукта	не обнаружено в 25,0 г продукта
L. monocytogenes	не обнаружено в 25,0 г продукта	не обнаружено в 25,0 г продукта
B.cereus, не более	100	100
Плесени, КОЕ/г, не более	100	100

Для оценки органолептических показателей разработанных полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка» составлен профиль сенсорных характеристик (рис. 2). Исследуемыми показателями выбраны вкус, цвет, консистенция, поверхность, а также яркость и выраженность ощущения цельнозерновых компонентов.

В результате органолептической оценки исследуемых образцов максимальную оценку 4,9 получили котлеты «Сытные».

На основании анализа химического состава, функциональных свойств и биологической ценности обоснован выбор зернового и бобового сырья для производства полуфабрикатов функционального назначения. В качестве основного сырья выбрана цельнозерновая гречневая и нутовая мука.

Разработаны две рецептуры и технология полуфабрикатов на основе поликомпонентной цельнозерновой смеси «Сытные» и «Гречанка», обогащенных минеральными элементами, витаминами, пищевыми волокнами.

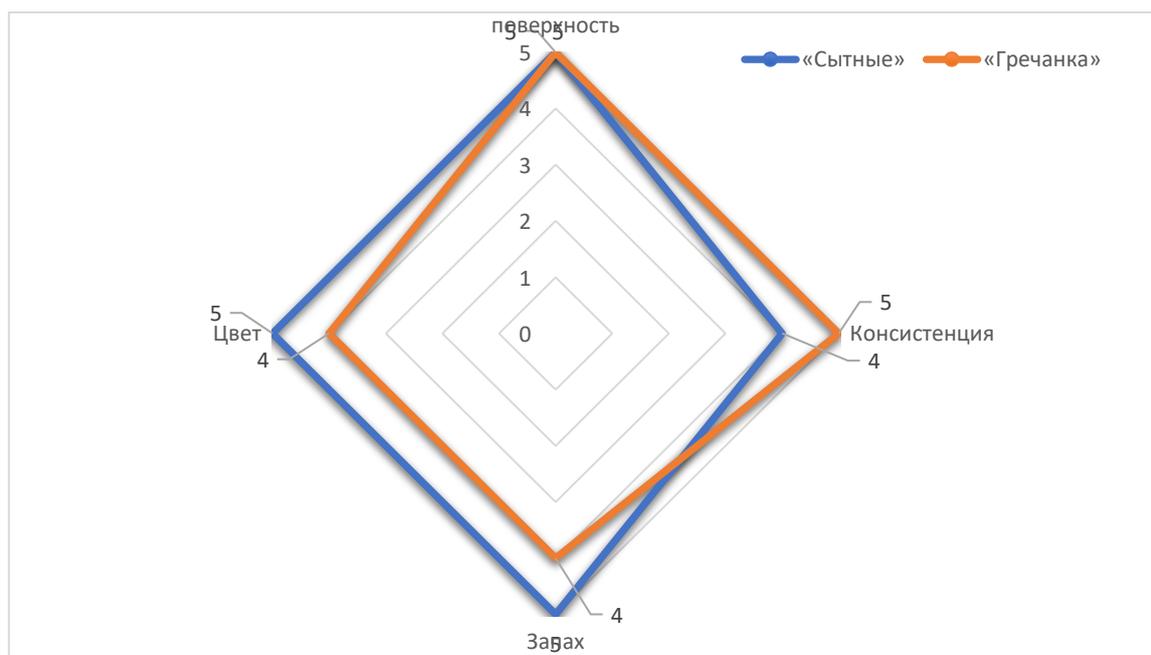


Рис. 2. Профиль сенсорных характеристик полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка»

Рассчитана пищевая и энергетическая ценность разработанных полуфабрикатов. Определены физико-химические и органолептические показатели качества, а также микробиологические показатели безопасности полуфабрикатов «Сытные» и «Гречанка». Установлено, что разработанные полуфабрикаты соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011.

Литература

1. ГОСТ 13586.4-83 Зерно. Методы определения зараженности и поврежденности вредителями.
2. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции. (с изменениями на 8 августа 2019 года).
3. Карпова Г.В. Общие принципы функционального питания и методов исследования свойств сырья продуктов питания. Часть 2 / Карпова Г.В. М.: Бибком. 2017. 264 с.
4. Кенийз Н.В. Анализ рынка полуфабрикатов в России // Научный журнал КубГАУ. 2015. №105 (01). С. 1 – 15.
5. Филатова А.Н. Комбинированные продукты питания с использованием растительных компонентов // Научно-технологический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего. 2017. №1. С. 139 – 141.

Анисимова Алина Игоревна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U42713,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: alina.anisimova.97@mail.ru

Лебедева Анна Сергеевна

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., орд. доцент,

e-mail: aslebedeva@itmo.ru

УДК 656.1, 504.054

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИЙ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ
БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТА МЕГАПОЛИСА**

А.И. Анисимова

Научный руководитель – к.э.н., орд. доцент А.С. Лебедева

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

Аннотация

Исследование в работе направлено на улучшение состояния экологической безопасности города Санкт-Петербурга с помощью инновационных решений в сфере транспорта. Оценен уровень экологической безопасности г. Санкт-Петербург и результативность мероприятий, направленных на минимизацию негативного влияния транспорта. На основании проведенных анализов предложен комплекс инновационных решений для повышения экологической безопасности транспорта г. Санкт-Петербург, а также оценены ожидаемые эффекты и риски от реализации предлагаемых решений.

Ключевые слова

Экологическая безопасность, наземный транспорт мегаполиса, инновации, альтернативный транспорт, экологические решения, инновационные технологии.

В Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года одним из приоритетов является снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду. Совокупный объем выбросов загрязняющих атмосферу веществ в 2018 году составил 32,3 млн т, из которых 17,1 млн т выброшено стационарными источниками и 15,3 млн т или 80% – передвижными источниками [1].

Данная тема рассматривалась неоднократно на примерах различных городов в форме статей, диссертаций и журналов. Гармонов К.В., Полосин И.И., Плотников А.В., Сазонов Э.В., Пепина Л.А., Созонтова А.Н. анализировали серию экологических проблем в процессе урбанизации территорий [2]. Анализ негативного влияния на окружающую среду стран ЕС и Америки и предложения по его минимизации отражены в работе таких зарубежных авторов, как Yu.N. Bezborodov, M.A. Kovaleva, A.N. Sokolnikov, V.G. Shram, N.N. Lysyannikova и A.O. Karkashenko, S.Grishin, O.V.Schiptsov [3]. Исследования многих существующих материалов направлены на общее представление об отрицательном влиянии транспорта на окружающую среду без акцента

на конкретную транспортную систему изучаемого города. Следовательно, актуальность вопроса экологической безопасности на транспорте определяет цель исследования: разработать рекомендации и оценить эффект от внедрения комплекса инновационных решений, повышающих экологическую безопасность транспорта г. Санкт-Петербург. Объектом исследования является транспортная система мегаполиса. Предмет исследования представляет собой экологическую безопасность транспорта мегаполиса.

Для достижения поставленной цели на основании результатов изучения воздействия транспорта на окружающую среду, выявлено, что негативное влияние в конечном счете сводится к человеку, что выражается в воздействии на сердечно-сосудистую, центральную нервную системы, глаза, органы дыхания и пищеварения. Анализ зарубежного и отечественного опыта снижения негативного влияния транспорта на экологию позволил систематизировать решения с точки зрения вида, инновации, распространенности, решаемой экологической проблемы, а также оценить применимость в отечественных условиях (табл. 1).

Таблица 1

**Систематизация и оценка применимости инновационных решений
в сфере экологической безопасности на транспорте в отечественных условиях**

Инновационные решения	Распространенность ⁵	Решаемая экологическая проблема	Оценка применимости
Экономические			
Углеродный налог	Финляндия, Дания, Ирландия, Италия, Нидерланды, Норвегия, Польша, Швеция	Высокие выбросы газов	3,2
Финансовые льготы	Великобритания, Швеция, Италия, Ирландия, Венгрия, Греция, Франция, Финляндия, Бельгия, Болгария, Австрия, Чехия, Германия	Выбросы газов, вибрации и шумы	5
Административные			
Экологическая классификация автомобилей и зонирование	Великобритания, Испания, Италия, Франция	Скопление большого количества шумов и газов	4,7
Запрет ДВС	Нидерланды, Норвегия, Германия, Индия, Франция,	Выбросы газов, шумов	2,1
Технико-технологические			
	Великобритания		
Велосипедные хайвеи	Дания, Нидерланды, Лондон, Германия	Загазованность территории, пробки, шумы и вибрации	3,5
Использование интеллектуальных транспортных систем	США, Великобритания, Южная Корея, Германия, Дания	Пробки, огромное количество автомобильного транспорта на коротких участках	4,5
Водородная энергетика	Япония, Южная Корея, Германия, США	Загрязнение атмосферы переработанными газами	3,9

⁵ Первой указана страна, впервые внедрившая данную инновацию. Далее обозначены страны-последователи.

На основе динамики индекса экологической эффективности (ИЭЭ) были выделены страны-лидеры по обеспечению экологической безопасности транспорта. Реализуемые ими экологические инновации на транспорте (всего было выделено 24 решения) сопоставлены с динамикой ИЭЭ, что позволило определить наиболее результативные из них для дальнейшего исследования: система квот с поставщиками, государственные льготы за использование альтернативного источника энергии на транспорте, господдержка при покупке и использовании велосипедов и электромобилей, экологически чистого общественного транспорта, повышение доли возобновляемых источников энергии, увеличение количества зарядных станций для электромобилей, создание развитой инфраструктуры для транспортных средств на газе, отмена платы за проезд на общественном транспорте, создание обязательства на автобусы, грузовые автомобили и такси перевести на экологические виды топлива, «зеленые шины».

Проведенный корреляционный анализ показал наличие тесной связи между удельным весом организаций, внедряющих экологические инновации, и ИЭЭ. При этом установлено, что объёмом инвестиций в транспортной сфере не коррелирует с уровнем экологического загрязнения. Таким образом, важна эффективность и направленность расходования средств, а не их выделенный объем.

Анализ экологической безопасности города Санкт-Петербург, как одного из наиболее загрязненных городов-мегаполисов в России, на основе структурированного опосредованного метода наблюдения с помощью станций мониторинга воздуха показал, что наиболее загрязненным районом по атмосферному воздуху является Василеостровский со средним суммарным показателем предельно допустимой среднесуточной концентрации (ПДКс.с.) 2,82 ПДКс.с. Составлена почвенная тепловая карта, согласно которой наблюдается превышение норм по содержанию тяжелых металлов (например, свинца), влияние которых на здоровье населения доказано исследованиями уровня заболеваемости. Также шумовая карта показывает высокий уровень шума вблизи жилых строений около КАД, где фиксируется около 60-65 дБА.

Для улучшения состояния экологической безопасности в сфере транспорта на федеральном и местном уровне принимаются законопроекты, создаются экологические инициативы, разрабатываются стратегии. Однако, как показал анализ, большинство запланированных мероприятий не выполняются или выполняются не в полном объеме, например, 37 из 84 показателей по базовому сценарию Транспортной стратегии РФ до 2030 года не выполнены, фактические объемы несвоевременного финансирования на 8% ниже планового значения. Это связано с такими причинами, как прекращение финансирования, бюрократия, сравнительно низкая значимость экологических проблем, отсутствие системности и комплексности предлагаемых решений.

В целях комплексного исследования необходимо учитывать готовность населения к реализации тех или иных мероприятий, внедрению инноваций, поэтому был проведен опрос среди жителей города. Период проведения исследования – апрель 2021 года. Исследование проводилось в разрезе трех групп наземного транспорта: государственный (автобус, троллейбус, трамвай), личный (автомобиль, велосипед, электрокар, самокат) и коммерческий (такси, каршеринг, маршрутное такси). Форма опроса - анкетная, содержащая 27 вопросов различного типа, включая вопросы, требующие ранжирования критериев выбора. Генеральной совокупностью являлись лица, достигшие возраста 18 лет, проживающие на территории города Санкт-Петербург, всего было опрошено 126 человек, что удовлетворяет требованиям репрезентативной выборки при доверительном интервале 95%, погрешности в 10%.

В целом, по результатам опроса среди жителей города Санкт-Петербург можно сделать вывод, что без финансовой и инфраструктурной поддержки со стороны государства население не будет инициативным в данном вопросе, по причине неготовности тратить свои средства на улучшение экологической безопасности на

транспорте. А также, чем выше уровень образования, тем больше осведомленность или понимание важности и значимости экологических проблем, их влияния на здоровье и развитие общества.

По мнению респондентов, в первую очередь, необходимо предпринимать меры для повышения уровня экологической безопасности на личном и государственном транспорте. Ответы респондентов относительно наиболее эффективных и целесообразных мероприятий и инноваций в сфере экологической безопасности для личного транспорта г. Санкт-Петербург представлены на рис. 1.



Рис. 1. Наиболее эффективные мероприятия экологической безопасности личного транспорта и стимулы для их реализации по мнению респондентов

Для группы личного транспорта были определены наиболее востребованные стимулы: развитие инфраструктуры для автомобилей (22%); финансовое стимулирование за использование общественного вида транспорта (19%); льготы на приобретение более экологичных видов транспорта (17%); доступность и выбор альтернативного топлива. Аналогичные результаты были получены для государственного и коммерческого видов транспорта.

Для того, чтобы предпринимать рациональные действия, необходимо помимо мнения жителей учитывать возможности и ограничения в деятельности государственных предприятий общественного транспорта. Для выполнения поставленной задачи было принято решение о проведении экспертного опроса, а также глубинного интервью с представителями СПб ГУП «Пассажиравтотранс», как наиболее крупной организации, осуществляющей пассажирские перевозки на территории г. Санкт-Петербург. Эксперты предпочли развитие газомоторной и водородной энергетики. Глубинное интервью с экспертом показало, что в текущих условиях предпочтение по виду топлива будет отдаваться газомоторному в силу наличия льгот на него. Эксперт выделил, что для того, чтобы развивать электротранспорт (электробусы) требуются значительные вложения и реконструкция парков, льготы и финансирование со стороны государства, которых, на сегодняшний день недостаточно.

Таким образом, в результате проведенных исследований: глубинное интервью, анализ применимости в отечественных условиях, анализ распространенности, предпочтения жителей Санкт-Петербурга была проведена комплексная оценка целесообразности внедрения тех или иных инновационных решений в транспортную

систему г. Санкт-Петербург. Для предложенного комплекса инновационных решений, была составлена дорожная и счетная карта реализации мероприятий до 2027 года (табл. 2). Однако одновременное осуществление всей совокупности мероприятий невозможно ввиду ограниченности ресурсов.

Таблица 2

Счетная карта реализации комплекса инновационных решений для повышения экологической безопасности транспорта г. Санкт-Петербург

Инициатива / мероприятие	Цели	Исполнители	Ключевые показатели эффективности	Значения / года					
				2022	2023	2024	2025	2026	2027
Водородная энергетика	- снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду; - стимулирование перехода местных жителей на общественный вид транспорта	Минтранс, Минприроды, Миннауки, Газпром, бизнес-компании	Снижение уровня загрязнения окружающей среды	-	-	-	-	-	6%
Катализаторы	- массовое использование катализаторов автомобилями и организациями; - снижение выбросов	Минтранс, Минприроды и бизнес-компании	Снижение уровня загрязнения окружающей среды	-	5%	10%	15%	25%	30-50%
Завод по переработке АКБ у электротранспорта	- решение проблемы загрязнения	Минтранс, Минприроды и бизнес		-	-	-	-	-	30%
«Зеленые» шины	- экономия на топливе и снижение выбросов	Минтранс, Минтранс		-	-	3%	6%	8%	12%
Установка шумозащитных экранов	- снижение уровня шума на автомагистральных, в центре; - улучшение здоровья людей	Минтранс и Минприроды	Уровень загрязнения окружающей среды	-	-	10%	20%	30%	40%
Развитие ИТС	- экономия энергии; - снижение уровня грузопотоков города, в спальных районах	Минцифры и Минтранс	Доля здоровых людей	-	-	2%	10%	20%	40%
Умная зарядка для электромобилей	- стимулирование жителей на переход альтернативного вида топлива	Минцифры, Минтранс, Минприроды и бизнес-компании	Уровень загрязнения окружающей среды Удобство пользования ТС	-	-	-	10%	20%	30%
Дороги, заряжающая электросеть			Увеличение доли ТС на электричестве	-	-	-	5%	15%	30%
				-	-	-	-	-	10%
				-	-	-	-	-	10%

Согласно разработанной счетной карте уже к 2027 году ожидается получить существенное снижение уровня атмосферного и шумового загрязнения в результате

реализации предложенных мероприятий. Без активного участия населения, коммерческих и государственных структур в любом из предоставленных решений существует риск невыполнения показателей плана. Если мероприятия будут носить только принудительный и запретный характер перехода на более экологичный вид транспорта, может возникнуть малоинициативное и негативное отношение.

Для выполнения поставленной цели определены затраты и оказываемые эффекты по каждому из предложенных инновационных решений:

1. Водородная энергетика (затраты 603 млн руб.) – эффекты экономия денежных средств населения в 40 раз; снижение уровня выбросов на 6% конце 5 года проекта.

2. Катализаторы (затраты 19000 млн руб.) – снижение уровня выбросов на 27% в пересчете на 1 ТС; снижение общих выбросов на 31% при 50% оснащении парка города на конец 5 года.

3. Завод по переработке АКБ у электротранспорта (затраты 10 млн руб.) экономия будущих затрат на АКБ 42 млн руб. на 8 году реализации проекта; предотвращение выбросов в окружающую среду 30%.

4. Шумозащитные экраны (затраты 252 млн руб.) снижение уровня шума в 2 раза к 8 году реализации проекта; экономия на сердечно-сосудистых заболеваниях 2,7 трлн руб.

5. Улучшение ИТС (затраты 60000 млн руб.) предотвращение скопления выбросов; экономия энергии.

6. «Зеленые» шины (затраты 48 млн руб.) экономия затрат на топливе; снижение выброса на 4% от одного транспортного средства.

Для завершения исследования необходимо было выявить и количественно оценить наиболее высокие и вероятные риски: установка фиктивных катализаторов, несвоевременное выделение денежных средств со стороны государства, резкое удорожание устройств и комплектующих на рынке, несвоевременная замена или чистка катализатора, курс валют, инфляция, опасность кражи катализаторов. Всего оценка возможных потерь составила 29576 млн руб. В любом случае, наличие высоких рисков не снижает потребности в решении экологических проблем за счет реализации предложенного комплекса инновационных решений, ожидаемые экологический, социальный и экономический эффект от которых имеет большее значение, чем вероятность финансовых потерь. По каждому возможному риску были предложены мероприятия по их нейтрализации или минимизации ущерба.

Для повышения экологической безопасности в городе Санкт-Петербург необходимо подходить комплексно и строго в соответствии с реализацией поставленных задач. Такое развитие будет способствовать улучшению состояния окружающей среды, а, следовательно, и здоровью жителей и привлекательности города для туристов, бизнеса.

Литература

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года. Подписано председателем Правительства Российской Федерации 22 августа 2008 года. С изменениями и дополнениями от: 11 июня 2014 г., 12 мая 2018 г.
2. Гармонов К.В., Полосин И.И., Плотников А.В. Моделирование загрязнения окружающей природной среды вредными газообразными выбросами // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 1. 12-14 с.
3. Bezborodov Y.N., Kovaleva S.A., Sokolnikov A.N., Shram V.G. Influence of transport on the ecology of big megapolis. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1-5 с. 55008.

Антонов Евгений Вадимович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники

студент группы № L42271с,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: 284183@niuitmo.ru

Дорогин Леонид Михайлович

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

научно-исследовательский центр перспективных

функциональных материалов и лазерных коммуникационных систем,

факультет нанoeлектроники,

Ph.D.,

e-mail: leonid.dorogin@outlook.com

УДК 536.212.3

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО
МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНА
ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

Е.В. Антонов

Научный руководитель – Ph.D. Л.М. Дорогин

Работа выполнена в рамках темы НИР №380183 «Адгезия мягких материалов на основе полимеров: от жидкого состояния к твердому».

Аннотация

Была испытана возможность снижения теплопроводности композитного материала на основе полидиметилсилоксана путем добавления полых стеклянных микросфер в качестве наполнителей. По полученным данным можно сделать вывод, что композитный материал с содержанием микросфер в концентрации 2,5% обладает меньшим коэффициентом теплопроводности (на 40%), но также утрачивает работу адгезии и прозрачность в оптическом диапазоне.

Ключевые слова

Теплопроводность, микросферы, адгезия, полидиметилсилоксан, композитный материал.

Полидиметилсилоксан (ПДМС) является наиболее широко используемым полимером на основе кремния из-за его универсальности и ряда привлекательных свойств. Характеризуется широким спектром механических характеристик, которые сильно зависят от его структуры; это вязкое вещество без запаха, вкуса и цвета. Производство PDMS включает сшивание в жидкой фазе для получения гидрофобного и механически гибкого материала в окончательной твердой форме. Это позволяет добавлять различные легко настраиваемые наполнители (добавки), влияющие на свойства получаемого материала.

Одним из свойств, которое может быть изменено наполнителями в обоих направлениях, является теплопроводность. Может потребоваться как увеличение теплопроводности (в случае использования ПДМС в качестве термоинтерфейса в электронике), так и снижение теплопроводности (теплоизоляция в строительстве, космической промышленности). Существует много работ по увеличению теплопроводности материалов на основе полидиметилсилоксана путем добавления

различных наполнителей (как правило, металлических) [1]. Однако встречается не так много работ по снижению теплопроводности [2]. Вероятно, это связано с исходной относительно низкой теплопроводностью по сравнению с металлами ($\lambda \approx 0,2$ Вт/м·К). Тем не менее, может быть необходимым понижение и этого значения. Возможные методы включают образование пор в конструкции, введение в конструкцию большего количества теплоизоляционных или теплоотражающих материалов.

Также ПДМС часто используется в электронных устройствах. Использование этого материала в качестве матрицы в сложных конструкциях предъявляет повышенные требования к адгезионным свойствам, поскольку это один из факторов, определяющих прочность и долговечность устройств [3]. Отдельно стоит отметить значительный эффект адгезии в микрофлюидных системах, гибкой электронике и трибологических устройствах, где ПДМС является наиболее часто используемой гибкой гидрофобной прозрачной подложкой. В целом материалы на основе ПДМС обладают высокой адгезией и прозрачностью в оптическом и инфракрасном диапазоне, поэтому косвенно было проведено исследование данных свойств полученных материалов с целью изучить влияние добавленных компонентов на них.

В данной работе тестировалась возможность снижения теплопроводности композитного материала на основе ПДМС путем добавления полых стеклянных микросфер. Ожидается значительное снижение теплопроводности композитных материалов и существенное изменение оптических и поверхностных свойств.

Твердый ПДМС был произведен с использованием набора эластомеров Sylgard 184, который состоит из двух жидких компонентов: основы и отвердителя. Соотношение основы и отвердителя для смешивания, согласно документации, составляет 10:1. Данный набор был выбран в качестве основы (матрицы), используемой во многих научных статьях [1, 4], что сделало его широко используемым модельным эластомером. Концентрация наполнителя в данной работе варьировалась в диапазоне от 0 до 10%.

Процесс изготовления включал несколько этапов:

- взвешивание – основа и отвердитель, а также добавляемое вещество (при необходимости) отбирались необходимыми взвешенными порциями в емкость для смешивания,
- смешивание – полученный раствор перемешивали в миксере 5 минут при 3500 об/мин, в результате чего компоненты равномерно перемешивались по всему объему,
- дегазация – раствор переливался в форму и помещался в металлический контейнер, в котором с помощью насоса создается вакуум для удаления воздуха из объема раствора (процесс длился около 40 минут),
- отверждение – раствор оставлялся для завершения химических реакций сшивания, для ускорения которой материал подвергался воздействию теплового излучения (140 °С) в течение двух часов. После этой процедуры образец полностью затвердевает, что позволяет приступить к планируемому исследованию образца.

Для понижения теплопроводности в данном материале используются наполнители в виде кремнеземного аэрогеля и полых стеклянных микросфер [1, 2]. В нашем случае были выбраны полые стеклянные микросферы ввиду их большей экономичности, жесткости и удельной прочности на сжатие. Использовались микросферы производства Graphite PRO плотностью 0,19 г/см³.

Теплопроводность достигается за счет полости внутри сферы, из-за чего общая теплопроводность оксида кремния (высокая, $\lambda \approx 6$ Вт/м·К) и внутреннего газа с низкой теплопроводностью становится значительно низкой. Благодаря прочности замкнутых жестких сфер газ внутри не заполняется материалом матрицы. Таким образом, при изготовлении композитного материала с микрокапсулами мы получаем образцы с подобием пор в объеме, как на рис. 1.

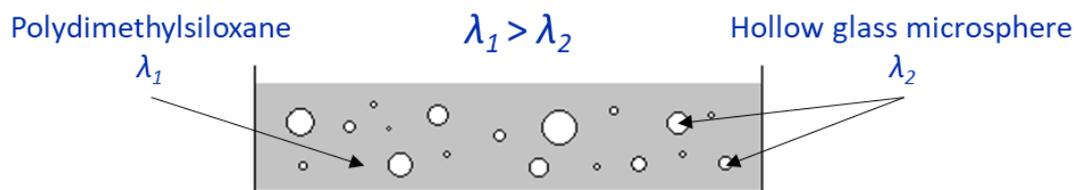


Рис. 1. Схема структуры композиционного материала на основе полидиметилсилоксана с наполнителем из полых стеклянных микросфер. λ_1 и λ_2 обозначают среднюю теплопроводность полидиметилсилоксана и полых стеклянных микросфер (плотно упакованный порошок)

Исходный полидиметилсилоксан по теплопроводности близок к ДСП, и планировалось приблизиться к более теплоизолирующим материалам (гипсокартон).

Для измерения теплопроводности был использован прибор для измерения теплопроводности ИТП-МГ4, измеряющего коэффициент теплопроводности методом стационарного теплового потока. Этот стационарный относительный метод измеряет количество теплового потока, проходящего через образец, в то время как существует перепад температуры через образец, который также измеряется.

Для измерения теплопроводности использовался следующий протокол. Перед экспериментом измеряется толщина образца по периметру и берется среднее арифметическое значение h . Образец закрывается и помещается в установку, закрывающая крышка закручивается до щелчка, что создает давление на образец, равное 2,5 кПа (погрешность <2,5%). Перед запуском в измерительном приборе задаются толщина h , температура нагревателя T_H и температура холодильника T_R соответственно. Эксперимент длится около 20 минут, не считая предварительного нагрева или охлаждения элементов. В конце эксперимента прибор отображает теплопроводность λ , автоматически рассчитываемую с использованием уравнения (1).

$$\lambda = \frac{h \cdot q}{T_H - T_R} = \left[\frac{W}{m \cdot K} \right], \quad (1)$$

где q – плотность стационарного теплового потока, проходящего через измеряемый образец, T_H – температура горячей кромки измеряемого образца, T_R – температура холодной кромки измеряемого образца.

Для достижения необходимого размера образца для измерения теплопроводности в существующей установке (10×10×3 см) была создана форма из политетрафторэтилена. Форма для образца состоит из трех частей Тефлона, при этом боковые части сплошные, а центральная часть имеет вырез в центре для заполнения образовавшейся полости композитом и формирования формы образца. Размеры получаемого образца 12×12×3 см, больше необходимого – для минимизации влияния граничного эффекта образца. Для герметичности конструкция была соединена по периметру болтами, а для твердости формы и решения проблемы её деформации при извлечении образца (политетрафторэтилен довольно мягкий материал) форма была укреплена железными пластинами по широким граням.

Также исследовалось поглощение образца излучения различных длин волн. Для этого использовалась лабораторная установка AvaSpec-ThinFilm, которая состоит из дейтериево-галогенного источника света AvaLight-D(H)-S от 250-1100 нм.), спектрометра с ультрафиолетовым рассеиванием света AvaSpec-ULS2048 (200-1100 нм), оптических волокон и держателя образцов. Толщина образцов не превышала 3 см.

Помимо этого, изучались поверхностные свойства композитного материала. Для исследования была собрана экспериментальная установка для измерения работы адгезии (адгезионный тестер) [5].

Схема эксперимента и, следовательно, установки, показана на рис. 2. Образец находится на весах, и взаимодействие (адгезия) образца с зондом отражается на показаниях весов как сила в дополнение к весу образца. За исходную точку силы взаимодействия принимается вес образца при отсутствии внешнего воздействия зонда (эффективное показание веса «0»). Стекланный сферический зонд, подвешенный над образцом и не соприкасающийся с ним, постепенно (шаг за шагом) опускается, пока он не войдет в контакт с образцом. После этого зонд поднимается, поддерживая некоторое время контакт с образцом. В этот момент на весах может быть зафиксировано отрицательное значение веса, которое становится максимальным (по абсолютной величине) в момент отрыва образца от сферы. Это пиковое отрицательное значение веса представляет собой разрывную силу контакта, которая затем используется для определения работы адгезии контактирующих материалов [5].

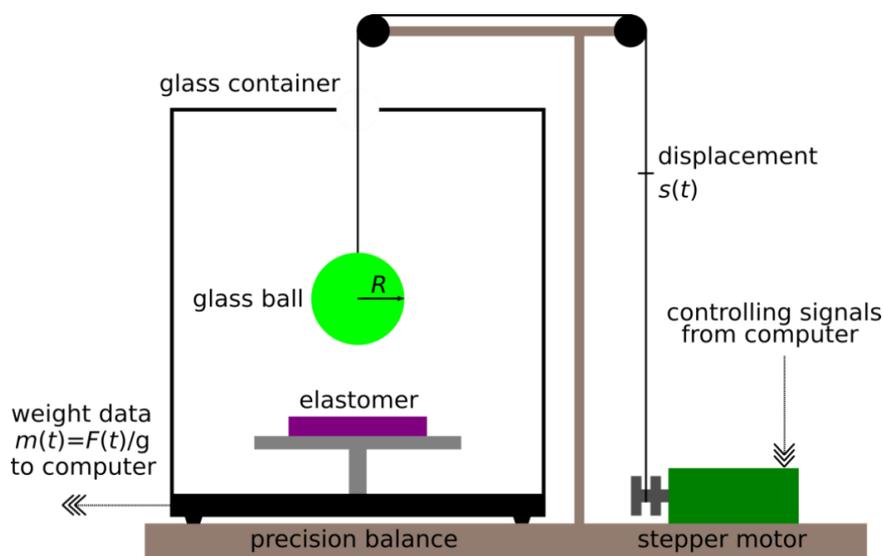


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для измерения адгезии мягких материалов

Для верифицирования собранной установки был проведен эксперимент с образцом, свойства которого уже были известны ранее [3]. Для чистого исходного материала работа адгезии оказалась равной $0,26 \text{ Дж/м}^2$, что попадает в диапазон литературных данных $0,20\text{-}0,27 \text{ Дж/м}^2$ [3]. Для обработки данных использовались программы gnuplot и Microsoft Excel.

На точность измерения работы адгезии влияют такие факторы, как скорость зонда (по сравнению весами), чистота поверхности и воспроизводимость «истории» взаимодействия (время, глубина погружения в контакт и т. д.).

Эксперименты проводились при следующих параметрах: расстояние движения полного цикла опускания зонда составило 12800 микрошагов ($0,01995 \text{ м}$). Скорость опускания зонда составляла $30,53 \text{ микрошагов/сек}$ ($4,68 \cdot 10^{-5} \text{ м/сек}$). Задержка в контакте (до начала отрыва) составляла 2 секунды, задержка перед началом новой итерации цикла была установлена 1 секунда. Зонд опускался до нагрузки 6-7 грамм (показания на весах), после чего поднимался. Перед каждым экспериментом стеклянный шар протирался специальной высокоточной салфеткой, пропитанной ацетоном. Радиус шара $1,25 \text{ см}$.

Для данного исследования было изготовлено 7 образцов, 2 из которых были «чистыми» (без добавления микрокапсул), а остальные содержали микрокапсулы в разном процентном соотношении. Масса полученных образцов зависела от концентрации микросфер, уменьшаясь с увеличением их концентрации от 33 г (при 0%) до 20 г (при 10%).

В результате исследования теплопроводности можно заключить, что увеличение содержания микросфер приводит к монотонному снижению теплопроводности материала, что видно на рис. 3. Так же согласно рис. 3, значительное падение теплопроводности на 39,8% (по сравнению с исходным образцом) присутствует при 2,5% содержания микросфер, и падение на 56,3% (по сравнению с исходным образцом) при 10% содержания микросфер. Таким образом, с добавлением микрокапсул полученный композит по теплопроводности становится сопоставимым с дубом (при содержании микросфер 2,5%) и гипсокартоном (при содержании микросфер 10%).

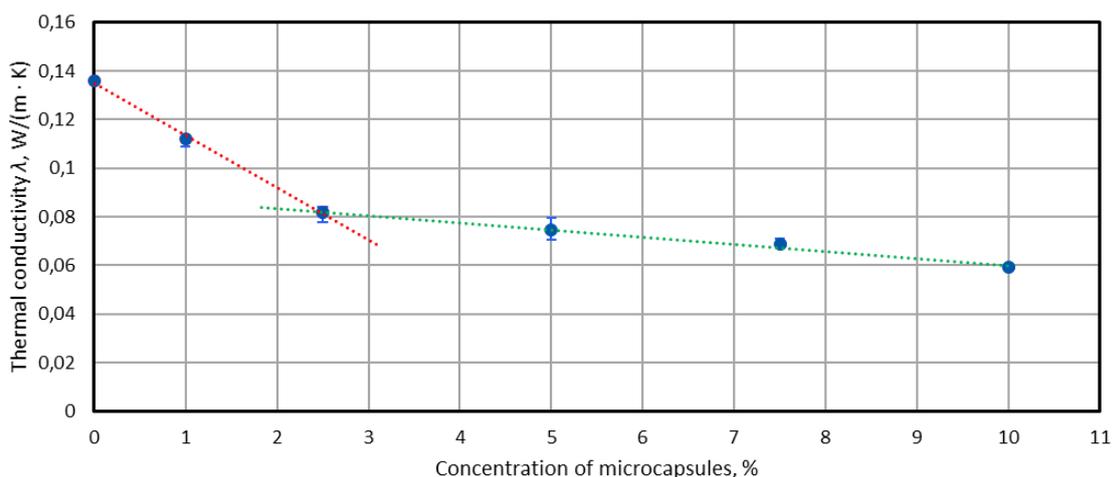


Рис. 3. График зависимости коэффициента теплопроводности от концентрации стеклянных микрокапсул для изготовленных композиционных материалов на основе ПДМС

Полученные спектры оптического поглощения образцов, показанные на рис. 4, свидетельствуют, что при 2,5% содержании микросфер образец в общем случае становится непрозрачным в оптическом диапазоне. Вероятно, это связано с исходной непрозрачностью микросфер в данном диапазоне и их низкой плотностью. Ввиду этого при добавлении микросфер в упомянутых концентрациях они представляют значительную долю объема композитного материала, и оказывают существенное влияние на оптические свойства композита.

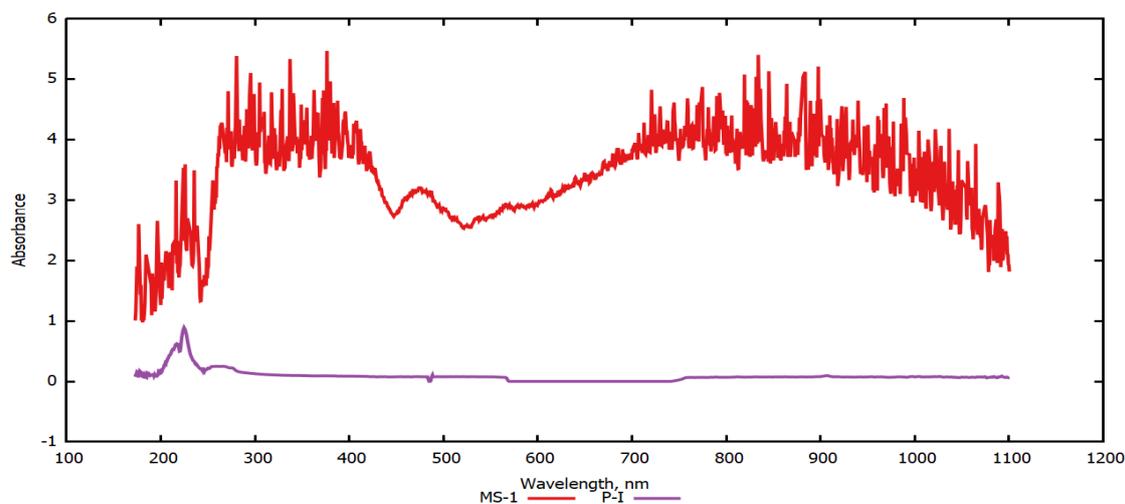


Рис. 4. График поглощения чистого материала на основе ПДМС и композитного материала на основе ПДМС с добавлением полых стеклянных микросфер

Для вычисления работы адгезии из данных адгезионного тестера использовалась модель Джонсона-Кендалла-Робертса (JKR) контакта криволинейных тел.

В случае контакта JKR взаимодействие описывается следующим уравнением (2):

$$F = \frac{3\pi}{2} wR, \quad (2)$$

где F – сила контакта, w – работа сцепления между контактирующими поверхностями, R – радиус зонда.

Для определения работы адгезии образцов с данных весов бралось максимальное отрицательно значение веса каждого контакта, которое было связано с критической силой взаимодействия F модели JKR. После этого, зная силу взаимодействия и радиус зонда, по уже упомянутой формуле (2) вычисляли работу адгезии w .

Для композиционного материала на основе ПДМС с добавлением полых стеклянных микросфер (не менее 1%) работа адгезии резко снижается до 0 (опускается ниже предела обнаружения). Из этого можно сделать вывод, что добавление микросфер существенно влияет на поверхностные свойства материала. Это может быть связано с низким адгезионным взаимодействием оксида кремния к стеклу, и высоким адгезионным взаимодействием полидиметилсилоксана к стеклу, из-за чего последний в процессе сшивания соединяется с микросферами, что приводит к отсутствию свободных связей в композите для адгезионного взаимодействия.

В результате данной работы была протестирована возможность снижения теплопроводности ПДМС путем добавления полых стеклянных микросфер.

Было изготовлено 9 композитных образцов на основе полидиметилсилоксана с различным содержанием полых стеклянных микросфер (от 0 до 10%).

Исследованы теплопроводные, оптические и адгезионные свойства полученных образцов. При добавлении наполнителя теплопроводность и вес образца монотонно снижались. При 10% содержания наполнителя теплопроводность составила 0,059 Вт/м·К, что на 56,3% меньше, чем у материала без наполнителя (0,170 Вт/м·К), а вес образца был 20 г, что на 40% меньше исходного материала (33 г). Также стоит отметить значительное падение теплопроводности у образца, содержащего 2,5% полых стеклянных микросфер, на 39,8% по сравнению с исходным материалом (0,082 Вт/м·К против 0,170 Вт/м·К). Согласно оптическим и адгезионным исследованиям, работа адгезии и оптическая прозрачность полностью утрачиваются (опускаются ниже предела обнаружения) образцами с содержанием наполнителей 1% и выше.

Таким образом, возможно получить более теплоизоляционный материал из полидиметилсилоксана с помощью добавления в него наполнителя в виде полых стеклянных микросфер. Возможно снизить теплопроводность более чем в два раза, однако (при концентрациях от 1%) при этом значительно изменяются функциональные свойства материала, такие как оптические и поверхностные.

В дальнейшем можно изучить влиянием данного наполнителя на механические свойства композитного материала и порог концентрации наполнителя, после которого утрачиваются прозрачность и работа адгезии материала.

Литература

1. Ngo I.-L., Jeon S., Byon C. «Thermal conductivity of transparent and flexible polymers containing fillers: A literature review» // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 98. P. 219–226.
2. «Thermal Conductivity of PDMS Filled with Hollow Glass Microspheres» / Vlassov S. [et al.] // BioRxiv [Preprint]. 2020.

3. Dorogin L., Persson B.N.J. «Contact mechanics for polydimethylsiloxane: from liquid to solid» // *Soft Matter*. The Royal Society of Chemistry, 2018. Vol. 14, № 7. P. 1142–1148.
4. Sosnin I.M., Vlassov S., Dorogin L.M. «Application of polydimethylsiloxane in photocatalyst composite materials: A review» // *Reactive and Functional Polymers*. 2021. Vol. 158. P. 104781.
5. «The effect of surface roughness and viscoelasticity on rubber adhesion» / Tiwari A. [et al.] // *Soft Matter*. 2017. Vol. 13, № 19. P. 3602–3621.

Арцер Илья Романович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

физико-технический мегафакультет,

факультет фотоники,

студент группы V42041с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: artser_ilia@mail.ru

Козлов Сергей Аркадьевич

Год рождения: 1956

Университет ИТМО,

физико-технический мегафакультет,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., профессор,

e-mail: kozlov@mail.ifmo.ru

УДК 535-14

**СДВИГ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО
В СРЕДАХ С КУБИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ТЕРАГЕРЦОВЫМИ
ИМПУЛЬСАМИ, С УТРОЕННЫХ НА УЧЕТВЕРЕННЫЕ**

И.Р. Арцер

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

Работа выполнена в рамках магистерской ВКР «Исчезновение для однопериодных терагерцовых волн в средах с кубической нелинейностью эффекта генерации излучения утроенных частот и появление для них эффекта генерации излучения учетверенных частот».

Аннотация

При распространении высокоинтенсивного оптического излучения в прозрачной диэлектрической среде ее кубическая по полю нелинейность обуславливает явления самовоздействия волны и генерации излучения на утроенных частотах. В настоящей работе мы экспериментально и теоретически показываем, что классическое явление генерации излучения на утроенных частотах значительно видоизменяется в том случае, когда волна представляет всего одно полное колебание оптического поля. В эксперименте с однопериодной терагерцовой волной обнаружено, что явление генерации излучения утроенных частот по отношению к частоте максимума спектральной плотности в нелинейной среде исчезает, и оно заменяется генерацией излучения на учетверенных частотах. Анализ показывает, что этот эффект основан на асимметрии исходного спектра таких предельно коротких по числу колебаний импульсов.

Ключевые слова

Импульсное терагерцовое излучение, нелинейная оптика.

Впервые источник электромагнитного ТГц излучения был создан ещё в первой половине прошлого века советской ученой А.А. Глаголевой-Аркадьевой. За последние годы уже этого века были развиты методы эффективной генерации высокоинтенсивного импульсного ТГц излучения такие, например, как метод оптического выпрямления или генерация в плазме. В поле высокоинтенсивного ТГц излучения начинают играть

значительную роль нелинейные эффекты. При этом важно, что большинство источников импульсного ТГц излучения представляет собой волны, содержащие лишь несколько колебаний оптического поля. Поэтому в физике и технике ТГц излучения на данный момент нелинейная оптика волн из малого числа колебаний является одним из самых интересных и активно развивающихся научных направлений.

На сегодняшний день теоретически предсказано и экспериментально обнаружено, что коэффициент нелинейного показателя преломления ряда материалов в ТГц диапазоне частот может на несколько порядков (например, в некоторых жидкостях в миллионы раз) превышать его значение для этих же материалов в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра. Интересной особенностью нелинейной оптики ТГц волн из малого числа колебаний является качественное изменение характера протекания некоторых привычных нелинейных эффектов. В работах [1, 2] было показано, что классические явления генерации второй и третьей гармоники могут значительно видоизменяться в импульсном ТГц излучении.

В данной работе экспериментально показано, что при взаимодействии предельно короткого по числу колебаний ТГц импульса, содержащего всего одно полное колебание оптического поля, со средой с кубичной по полю нелинейностью происходит генерация излучения на учетверенных частотах относительно частоты максимума спектральной плотности излучения, в то время как ожидаемое излучение на утроенной частоте отсутствует. Данный эффект обоснован аналитически и определяется асимметричностью спектра такого импульса.

Для экспериментального наблюдения явления генерации излучения новых частот при взаимодействии высокоинтенсивного ТГц импульса с нелинейной средой использовали схему генерации ТГц импульса с наклонным волновым фронтом с фазовым синхронизмом в кристалле $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$. Входное излучение, подаваемое на кристалл толщиной 5 мм, генерировалось фемтосекундной лазерной системой на основе регенеративного усилителя (длительность 35 фс, энергия импульса 1 мДж, частота повторения 1 кГц).

Генерация ТГц излучения в методе оптического выпрямления происходила во всей области взаимодействия наклонного волнового фронта с кристаллом. Тем самым, ТГц излучение генерировалось во всем объеме распространения излучения накачки и проходило через среду как с квадратичной нелинейностью, за счет которой и происходил процесс генерации ТГц излучения, так и кубической нелинейностью, за счет которой ожидалась генерация излучения на утроенных частотах по отношению к уже возникшему ТГц излучению. В результате формировался расходящийся пучок ТГц излучения с гауссовым профилем, направленный перпендикулярно срезу кристалла. Далее осуществлялась коллимация ТГц-излучения с использованием параболического зеркала с фокусным расстоянием 25 мм. Амплитуда ТГц поля измерялась с помощью стандартной электрооптической схемы детектирования в кристалле ZnTe толщиной 1 мм.

В итоге в экспериментальной схеме генерировался ТГц импульс с энергией до 400 нДж при длительности 1 пс. Диаметр пучка излучения на выходе кристалла составлял 2 мм, а интенсивность излучения достигала 10^8 Вт/см². Как видно из рис. 1 (черная кривая), при взаимодействии генерируемого ТГц поля с кристаллом, который имеет также кубическую нелинейность, в спектре импульсного ТГц излучения на выходе из среды не наблюдается генерация излучения на утроенных частотах. Более того, в спектре ТГц излучения на месте утроенной частоты, по сравнению с частотой максимума его спектральной плотности, наблюдается ярко выраженный провал. При этом генерируется значительное по энергии излучение на учетверенной частоте, чего не наблюдается для подобных экспериментов в видимом и ближнем ИК диапазонах частот. Для объяснения данного феномена было проведено теоретическое исследование.

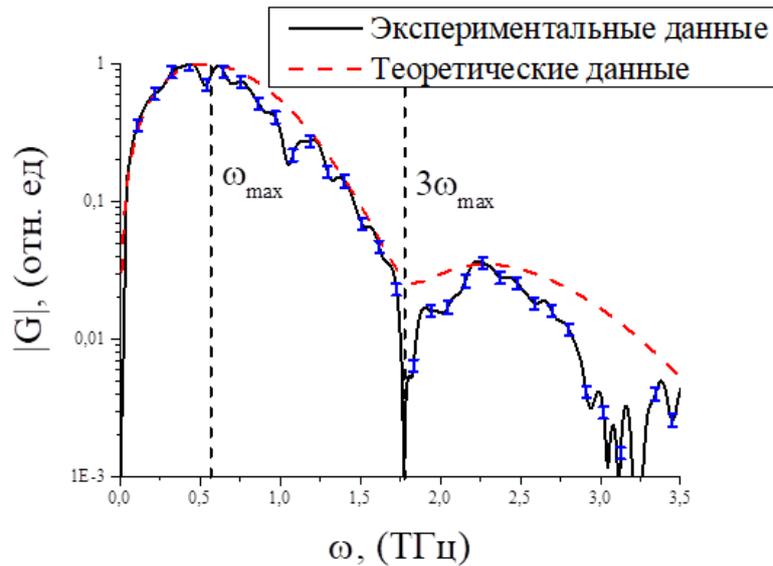


Рис. 1. Спектр генерируемого ТГц поля. Черная сплошная линия – экспериментальные данные, красная пунктирная – аналитические результаты, синими штрихами показана погрешность для экспериментальных данных

Динамику поля E ТГц излучения в прозрачной диэлектрической среде с безынерционной кубической нелинейностью анализировали на основе уравнения вида:

$$\frac{\partial E}{\partial z} + \frac{N_0}{c} \frac{\partial E}{\partial t} - a \frac{\partial^3 E}{\partial t^3} + gE^2 \frac{\partial E}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где z – координата оси, вдоль которой распространяется излучение, t – время, N_0 и a – эмпирические константы, характеризующие зависимость линейного показателя преломления среды от частоты ω вида $n(\omega) = N_0 + ca\omega^2$, $g = \frac{2n_2}{c}$ – параметр,

характеризующий кубичную по полю нелинейность отклика среды, n_2 – ее коэффициент нелинейного показателя преломления (в СГС), c – скорость света в вакууме. В модели динамики поля излучения в нелинейной среде (1) мы пренебрегли квадратичной нелинейностью кристалла и тем, что ТГц поле в кристалле за счет квадратичной нелинейности усиливается. Однако такая модель, как показано ниже, в поле волн из малого числа колебаний дает очень хорошо совпадающую с экспериментом картину изменения характера генерации излучения на утроенных частотах.

Поле на границе нелинейной среды (при $z = 0$) рассматривали в виде однопериодной волны (смотри рис. 2(а)) вида:

$$E(t, 0) = E_0 \frac{t}{\tau} \exp\left(-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right), \quad (2)$$

где E_0 – амплитуда электрического поля импульса, τ – его длительность. Из рис. 1(а) видно, что наблюдаемый в эксперименте в дальней зоне дифракции ТГц импульс является полупериодным. Однако, записывая граничное условие в виде однопериодной волны (2), мы учли, что в дальней зоне из-за дифракции оптические пучки на оси приобретают полуволну. Практически не наблюдаемый для волн с большим

числом колебаний поля этот эффект ярко выражен для однопериодной волны, которая в дальней зоне дифракции становится полупериодной.

Для дальнейшего анализа уравнение (1) полезно было переписать в нормированных переменных $E = \frac{E}{E_0}$, $\tilde{t} = \frac{t}{\tau}$, $\tilde{z} = \frac{z}{L_{pulse}}$, где $L_{pulse} = \frac{c\tau}{N_0}$ – продольный размер ПГц импульса в среде, в виде:

$$\frac{\partial \tilde{E}}{\partial \tilde{z}} + \frac{\partial \tilde{E}}{\partial \tilde{t}} - \mu_1 \frac{\partial^3 \tilde{E}}{\partial \tilde{t}^3} + \mu_2 \tilde{E}^2 \frac{\partial \tilde{E}}{\partial \tilde{t}} = 0, \quad (3)$$

где $\mu_1 = \frac{1}{2} \frac{\Delta n_{disp}}{N_0}$, величина $\Delta n_{disp} = ac\omega_{max}^2$ характеризует изменение показателя

преломления из-за дисперсии, здесь $\omega_{max} = \frac{\sqrt{2}}{\tau}$ – частота максимума спектральной

плотности излучения на границе нелинейной среды, $\mu_2 = 4 \frac{\Delta n_{nl}}{N_0}$, $\Delta n_{nl} = 1/2 n_2 E_0^2 = n_2' I$

характеризует изменение показателя преломления среды в сильном поле излучения, n_2' – коэффициент нелинейного показателя преломления среды (в СИ). Нормированное граничное условие (2) приняло вид

$$\tilde{E}(\tilde{t}, 0) = \tilde{t} \exp(-\tilde{t}^2) \quad (4)$$

Полагая величины μ_1 и μ_2 малыми, решение уравнения (3) искали в виде разложения по этим параметрам в виде ряда

$$\tilde{E}(\tilde{t}, \tilde{z}) = \tilde{E}^{(0)}(\tilde{t}, \tilde{z}) + \mu_1 \tilde{E}^{(1,disp)}(\tilde{t}, \tilde{z}) + \mu_2 \tilde{E}^{(1,nl)}(\tilde{t}, \tilde{z}), \quad (5)$$

Несложно показать, что с граничными условиями (2) слагаемые в таком решении принимают вид

$$\begin{aligned} \tilde{E}^{(0)}(\tilde{t}, \tilde{z}) &= e^{-(\tilde{t}-\tilde{z})^2} (\tilde{t} - \tilde{z}), \\ \tilde{E}^{(1,disp)}(\tilde{t}, \tilde{z}) &= e^{-(\tilde{t}-\tilde{z})^2} \left(\tilde{z} \left(-8 \left((\tilde{t} - \tilde{z})^2 - 3 \right) (\tilde{t} - \tilde{z})^2 - 7 \right) + \tilde{t} \right), \\ \tilde{E}^{(1,nl)}(\tilde{t}, \tilde{z}) &= \tilde{z} \cdot 3e^{-3(\tilde{t}-\tilde{z})^2} \left(2(\tilde{t} - \tilde{z})^2 - 1 \right) (\tilde{t} - \tilde{z})^2 \end{aligned} \quad (6)$$

В (6) $\tilde{E}^{(0)}$ – решение уравнения (3) в «нулевом» приближении, т.е. без учета дисперсии и нелинейности среды, $\tilde{E}^{(1,disp)}$ – определяемое в следующем приближении изменение в форме импульса при его распространении в оптической среде, которое обусловлено дисперсией излучения, $\tilde{E}^{(1,nl)}$ – изменение в форме импульса, связанное с нелинейностью среды.

Соответственно, спектр поля (5-6) $G(\tilde{\omega}, \tilde{z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{E}(\tilde{t}, \tilde{z}) \cdot e^{i\tilde{\omega}\tilde{t}} d\tilde{t}$, где $\tilde{\omega} = \omega\tau$, можно представить в виде:

$$G(\tilde{\omega}, \tilde{z}) = G^{(0)}(\tilde{\omega}, \tilde{z}) + \mu_1 G^{(1,disp)}(\tilde{\omega}, \tilde{z}) + \mu_2 G^{(1,nl)}(\tilde{\omega}, \tilde{z}), \quad (7)$$

$$G^{(0)}(\tilde{\omega}, \tilde{z}) = \frac{i\tilde{\omega} e^{-\frac{\tilde{\omega}^2}{4} + i\tilde{z}\tilde{\omega}}}{2\sqrt{2}}, \quad (8)$$

$$G^{(1,disp)}(\tilde{\omega}, \tilde{z}) = \frac{-(\tilde{z}\tilde{\omega}^3 - i)\tilde{\omega} e^{-\frac{\tilde{\omega}^2}{4} + i\tilde{z}\tilde{\omega}}}{2\sqrt{2}}, \quad (9)$$

$$G^{(1,nl)}(\tilde{\omega}, \tilde{z}) = \frac{\tilde{z}\tilde{\omega}^2(\tilde{\omega}^2 - 18)e^{-\frac{\tilde{\omega}^2}{12} + i\tilde{z}\tilde{\omega}}}{216\sqrt{6}}, \quad (10)$$

Зависимость поля импульса от времени на границе оптической среды (2, 4), модуль спектра этой зависимости (8), а также модули изменений в этом спектре из-за дисперсии линейного показателя преломления (9) и нелинейности среды (10) иллюстрированы на рис. 2 (а-с). Для наглядности на рис. 2(с) в спектре волны на выходе из нелинейной оптической среды (7) вклад дисперсионных (9) и нелинейных (10) явлений был завышен и составлял по величине их максимумов 20% от максимума исходной спектральной плотности излучения (8).

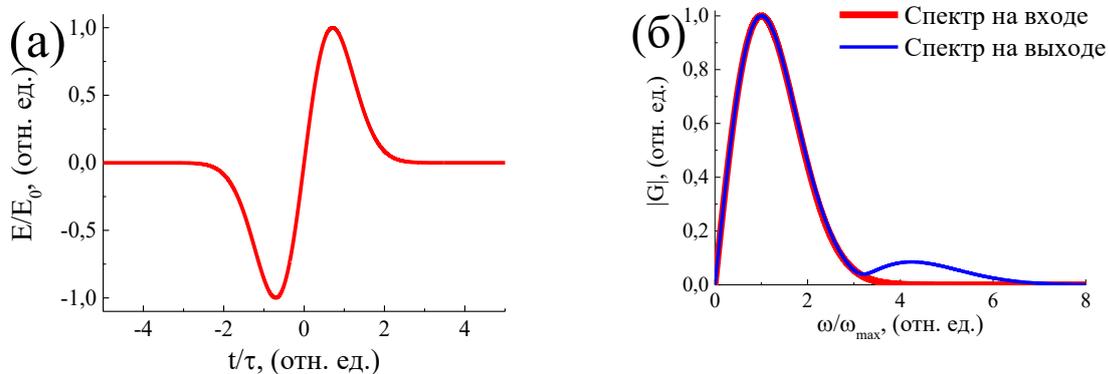


Рис. 2. (а) Форма поля однопериодного импульса. (б) Модуль спектра импульса на входе в среду (красная линия) и спектра импульса на выходе из среды (синяя линия)

Как видно из рис. 2(б), в полном соответствии с экспериментом, на выходе из нелинейной среды в спектре излучения на утроенной частоте по отношению к максимуму спектральной плотности исходного импульса наблюдается ярко выраженный провал. Излучение в среде с кубической нелинейностью генерируется на более высоких частотах с максимумом в спектре, смещенном до 4,2 от частоты максимума спектральной плотности однопериодной на входе в нелинейную среду волны.

В данном случае дисперсией среды пренебрегаем, поскольку в точном решении линеаризованного уравнения динамики поля (3) дисперсия вклад в изменение модуля спектра излучения при его распространении в среде не вносит вовсе.

Столь красивый своей парадоксальностью эффект исчезновения генерации третьей гармоники в среде с кубической нелинейностью с переносом генерации излучения в область учетверенных частот по отношению к максимуму спектральной плотности

оптического импульса, на наш взгляд, связан с сильно выраженной асимметрией спектра однопериодной волны.

На рис. 3 представлено положение средней частоты $\omega_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \omega |G(\omega)| d\omega$ спектра однопериодной волны и утроенной по отношению к ней. Из рисунка видно, что средняя частота спектра однопериодной волны несколько смещена относительно максимума спектральной плотности в «синюю» область, и положение максимума в спектре излучения, генерируемого в среде с кубичной нелинейностью на высоких частотах, становится равным 3,3 от средней частоты.

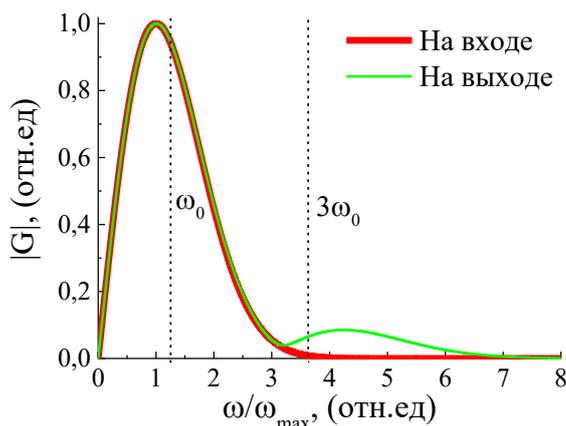


Рис. 3. Модуль спектра однопериодного импульса на входе в нелинейную среду (красная линия) и на выходе из нее (зеленая линия), с указанием положения средней частоты исходного излучения

На рис. 4 приведены решения (7-10) при аналогичных рассмотренным выше условиях, но для трёхпериодной волны. Из этого рисунка видно, что уже при столь небольшом увеличении числа полных колебаний поля в исходном импульсе его спектр становится заметно симметричнее и эффект генерации излучения на утроенных частотах практически «возвращается».

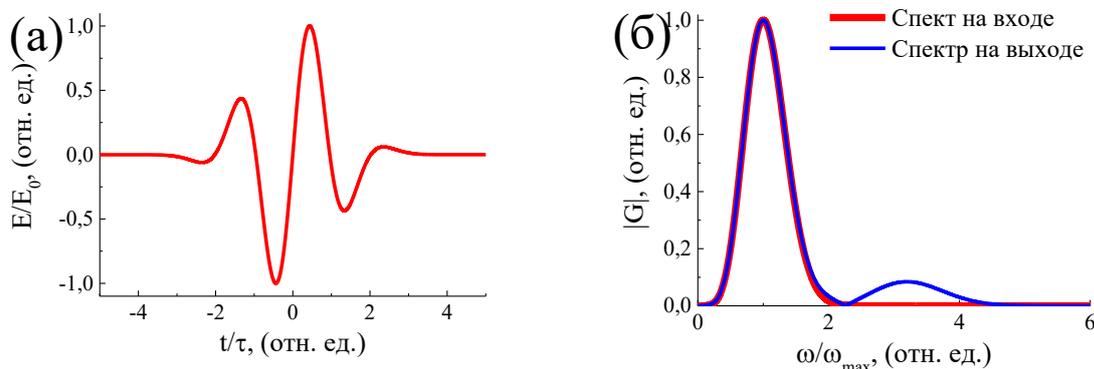


Рис. 4. (а) Форма поля импульса из нескольких колебаний. (б) Модуль спектра импульса на входе в среду (красная линия) и спектра импульса на выходе из среды (синяя линия)

Как итог приведенного обсуждения теории, сопоставим результаты эксперимента и соответствующих ему теоретических расчетов. При имевшихся характеристиках кристалла $N_0 = 5.15$, $\tilde{z} = 86$ (что соответствует толщине кристалла 0.5 см) и параметрах

ТГц излучения $I = 10^8 \text{ Вт/см}^2$, $\tau = 10^{-12} \text{ с}$ близкое совпадение экспериментальной и теоретической кривой, которое представлено на рис. 1, происходит при $n_2 = 5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{Вт}$. Т.е. такое значение величины коэффициента нелинейного показателя преломления кристалла MgO: LiNbO₃ можно считать измеренным в настоящей работе. Оно очень близко к результату измерения авторов работы [3] $n_2 = 4 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{Вт}$. Отметим также, что в работе [4] значение этого коэффициента составило $5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{Вт}$, что находится в полном согласии с результатом нашего измерения.

Таким образом, в настоящей работе мы экспериментально и теоретически показали, что в поле ТГц волны из всего одного полного колебания оптического поля явление генерации излучения на утроенных частотах по отношению к частоте максимума спектральной плотности в нелинейной среде исчезает, и оно заменяется генерацией излучения на учетверенных частотах. Это связано с сильной асимметрией спектра однопериодной волны. Изученный нелинейный эффект был нами использован для измерения в ТГц спектральном диапазоне коэффициента нелинейного показателя преломления кристалла MgO: LiNbO₃.

Литература

1. Sazonov S.V. Optical Rectification and Generation of Harmonics Under Condition of Propagation of Few-Cycle Pulses in the Birefringent Medium with Asymmetric Molecules //Journal of Russian Laser Research. 2018. Т. 39. №. 3. С. 252-262.
2. Drozdov A.A. et al. Self-phase modulation and frequency generation with few-cycle optical pulses in nonlinear dispersive media //Physical Review A. 2012. Т. 86. №. 5. С. 053822.
3. Korpa C.L., Tóth G., Hebling J. Interplay of diffraction and nonlinear effects in the propagation of ultrashort pulses //Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. 2016. Т. 49. №. 3. С. 035401.
4. Zhukova M. et al. Estimations of Low-Inertia Cubic Nonlinearity Featured by Electro-Optical Crystals in the THz Range //Photonics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 2020. Т. 7. №. 4. С. 98.

Бабенко Виктория

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N42526с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: babenko_viktoriy@mail.ru

Коржук Виктория Михайловна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет безопасности информационных технологий,

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

e-mail: vmkorzhuk@itmo.ru

УДК 004.056.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СРЕДУ ПЕРЕДАЧИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

В. Бабенко

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.М. Коржук

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

Аннотация

В работе рассмотрены актуальные проблемы беспроводной сенсорной сети на физическом уровне. Выявлены основные дестабилизирующие воздействия, которые приводят к существенному риску от угроз, связанные с нарушением целостности информации. Разработан метод, который позволяет обеспечить целостность информации, путем псевдослучайной перестройки рабочей частоты и использовании сверхширокополосной системы связи.

Ключевые слова

Беспроводная сенсорная сеть, целостность информации, физический уровень сети, псевдослучайная перестройка рабочей частоты, сверхширокополосные системы связи.

Целью работы является снижение рисков информационной безопасности на физическом уровне беспроводной сенсорной сети при деструктивных воздействиях. Физический уровень сети описывается в стандарте IEEE 802.15.4 [1], который входит в стек протоколов ZigBee [2]. На физическом уровне имеется три диапазона частот: 868 МГц, 915 МГц и 2.4 ГГц [3], в данной работе экспериментальное исследование проводится в диапазоне 2.4 ГГц.

Основными деструктивными воздействиями, которые приводят к нарушению целостности, являются искусственно созданные и случайные помехи. Такие помехи способствуют нарушению таблицы маршрутизации, выводу из строя оборудования/узла сети, искажению данных, отказу в обслуживании и т.д.

В данной работе был проведен обзор методов защиты от деструктивных воздействий на физическом уровне благодаря чему можно сделать вывод, что не существует экспериментальных исследований методов защиты для беспроводной

сенсорной сети на физическом уровне. В работе были выявлены следующие методы защиты: сверхширокополосные системы связи (СПШ), скремблирование и псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ). Для проведения эксперимента не учитывался метод скремблирования, так как он имеет существенные недостатки.

Для проведения эксперимента была создана беспроводная сенсорная сеть из персонального компьютера и микрокомпьютеров Raspberry Pi 3, а также были такие препятствия как: стены, окна, электрическое напряжение, провода и т.д.

С помощью программы Wireshark было проведено измерение количества успешно принятых пакетов в сети при активной передаче, что составило около 2900 пакетов в час в открытом пространстве. Далее проводился эксперимент с использованием активных устройств подавления: СВЧ-печь, ЛГШ-702, Wi-Fi роутер. В первом случае измерения проходили без учета метода, данные отражены на рис. 1.



Рис. 1. График отношения препятствий к количеству успешно принятых пакетов

Без использования метода значения успешно принятых пакетов мало, с использованием СВЧ-печи – 33%, ЛГШ – нет принятых пакетов, Wi-Fi роутер – 17,28% от общего количества пакетов.

Затем использовали метод сверхширокополосной системы связи (СПШ), суть в том, что нужно использовать другой диапазон частот. С теми же препятствиями получили следующие данные, которые отражена на рис. 2.

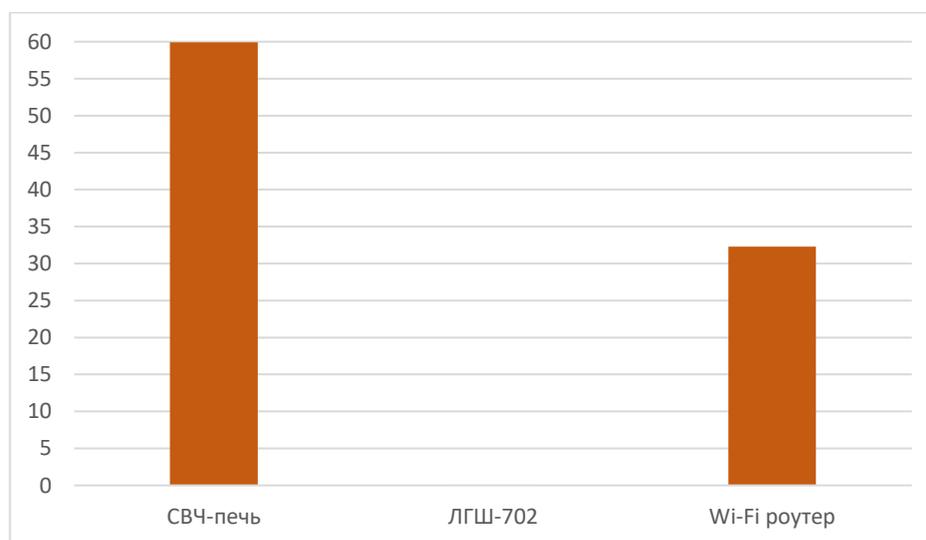


Рис. 2. График отношения препятствий к количеству успешно принятых пакетов

Далее был использован метод псевдослучайной перестройке частоты (ППРЧ), перестраивали частоту на 20 МГц на 10 и 5 секунд. Данные отображены на рис. 3.

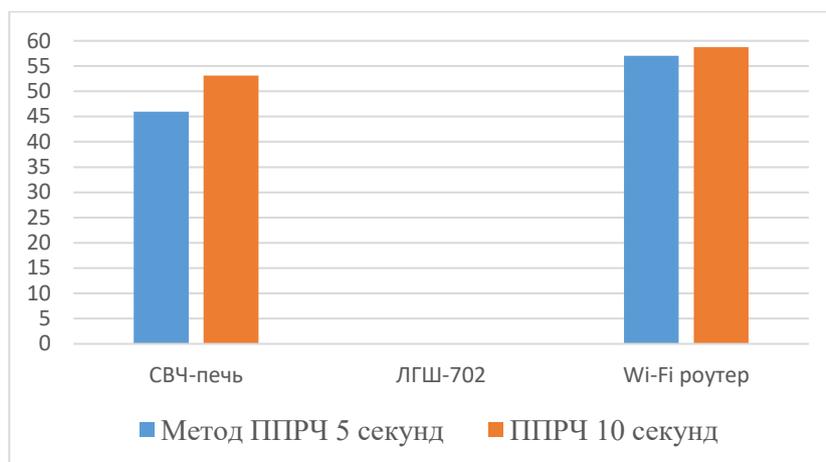


Рис. 3. График отношения препятствий к количеству успешно принятых пакетов с использованием метода ППРЧ 20 МГц

На рис. 3 количество успешно принятых пакетов с использованием метода ППРЧ на 5 и 10 секунд не сильно отличаются, но при 10 секундах все же больше доставленных пакетов.

Следующий этап использование метода ППРЧ с перестройкой частоты на 50 МГц, также на 5 и 10 секунд. Данные отображены на рис. 4.

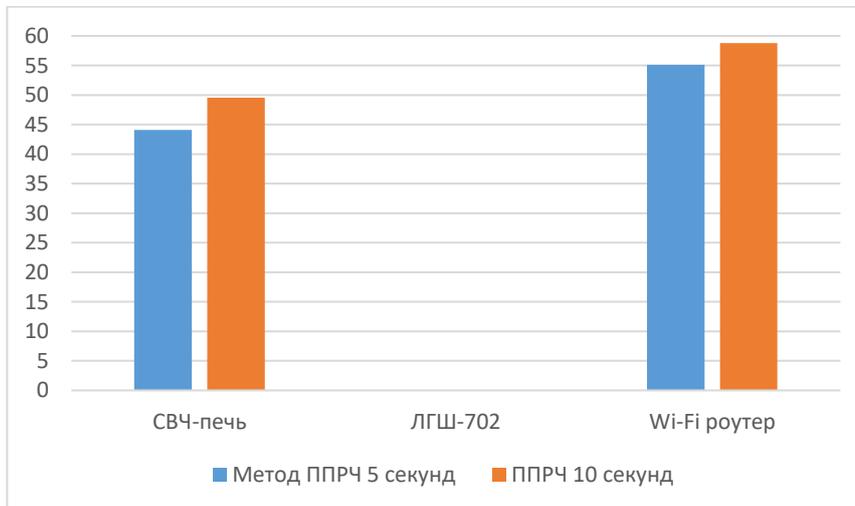


Рис. 4. График отношения препятствий к количеству успешно принятых пакетов с использованием метода ППРЧ 50 МГц

На рис. 4 показаны результаты эксперимента с использованием метода ППРЧ при перестройке рабочей частоты на 50 МГц. Результаты измерения хуже, чем при измерении на 20 МГц. Эмпирическим путем был выбран временной диапазон, так как невозможно было измерить меньше 5 секунд и больше 10 секунд.

Для того чтобы использовать разработанный метод, в который входят: метод ППРЧ при перестройке частоты на 20 МГц и с временным интервалом 5 секунд, и метод СПШ.

Данные отображены на рис. 5.

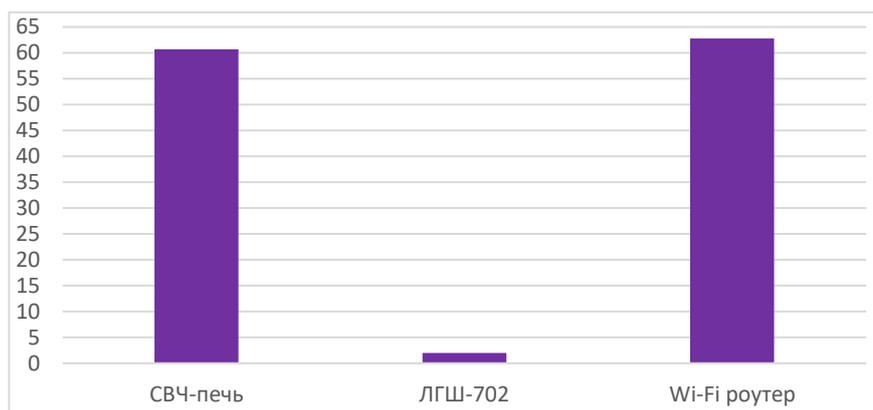


Рис. 5. График отношения препятствий к количеству успешно принятых пакетов с использованием разработанного метода

По рис. 5 можно сделать вывод, что разработанный метод наиболее успешно принял пакеты данных по сравнению с другими методами, но его показатели ниже 80%. Согласно проведенному анализу необходимо дать рекомендации по повышению эффективности, в данном случае возможно необходимо:

- произвести настройку оборудования другим способом или использовать другие устройства для создания беспроводной сенсорной сети,
- учитывать препятствия, так как при препятствии ЛГШ-702 изменений в количестве принятых пакетов почти незаметно,
- также необходимо учесть возможности других средств для измерения данных на этих же частотах.

Разработанный метод позволяет повысить целостность информации (количество успешно доставленных пакетов составило 62%)

Для того чтобы наглядно увидеть разницу в использовании разных методов предлагается общий график, который показан на рис. 6.

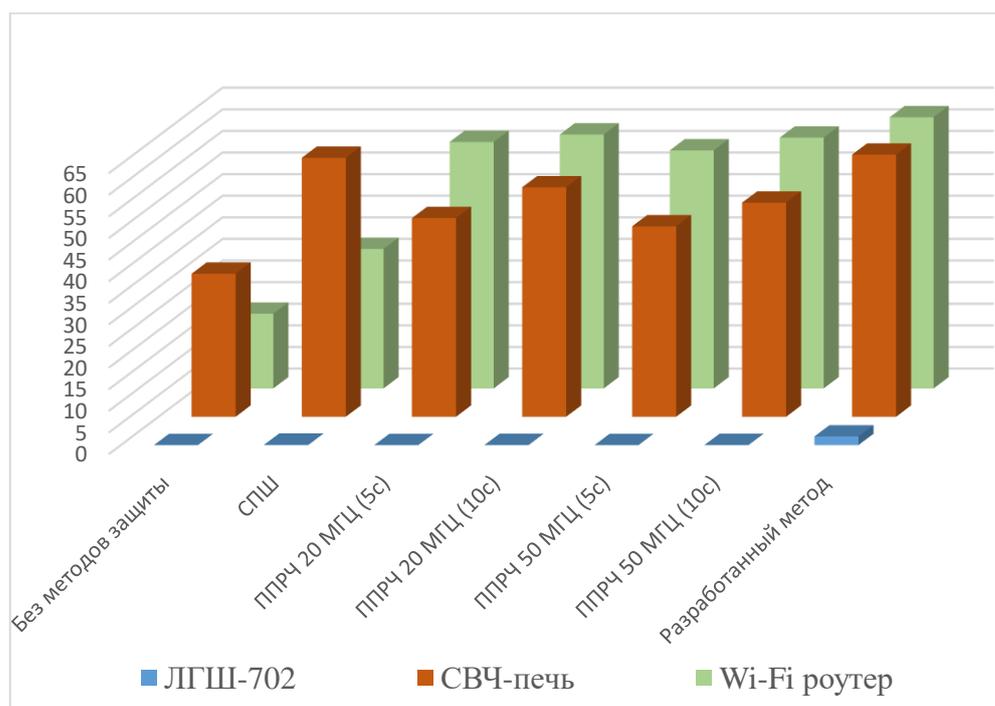


Рис. 6. Сравнительный график использованных методов для измерения успешно доставленных пакетов

По рис. 6 можно сделать вывод, что разработанный метод является эффективным. Если применять его в качестве средства защиты в беспроводных сенсорных сетях, то можно улучшить передачу информации, за счет того, что на нижних уровнях сети целостность информации не будет нарушена, соответственно можно снизить риск от угроз, связанных с нарушением целостности данных.

Литература

1. Technical report IEEE 802.15.4. For wireless sensor networks: A technical Overview [Текст] // 2005/08/14.
2. ZigBee [Электронный источник]: Свободная энциклопедия // режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Zigbee> (дата обращения:05.12.2020).
3. Общие сведения о ZigBee [Электронный источник]: Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи // режим доступа: <http://1234g.ru/blog-of-wireless-technologies/about-zigbee/obshchie-svedeniya-o-zigbee> (дата обращения:05.12.2020).

Барт Сара Лиан / Barth Sarah Liane

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т42506с,

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

e-mail: sarah.barth@stud.hszg.de

Сергиенко Ольга Ивановна

Год рождения: 1957 год

Университет ИТМО,

факультет биотехнологии,

к.т.н., доцент,

e-mail: oisergienko@itmo.ru

УДК 628.477.2

ANALYSIS OF CARBON FLOWS FOR HEMP FIBER-BASED COMPOSITES IN DIFFERENT SCENARIOS

С.Л. Барт / Sarah L. Barth

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

Short summary

Industrial hemp has the ability to absorb a large amount of CO₂-equivalents (CO₂-eq), making the plant a potent carbon sink. Hemp's potential is countered by current markets, which to date are considered underdeveloped. The results of the life cycle assessment of hemp concrete blocks show that the main source of environmental impact is binder production, but the overall balance is negative. This proves that hempcrete acts as a carbon sink. The life cycle assessment results on NFRP showed that the fossil-based component strongly contributes to the Green House Gas (GHG) emissions of the whole composite. For hemp composites, the European Green Deal (EGD), a new political guideline, brings significant changes. The plastics industry needs to take concrete steps to increase the recyclability of plastics to face policy demands in the future. The EU can support the industry by subsidizing the cultivation of materially usable plants. Hempcrete building materials can make a significant contribution to achieving energy and climate targets if properly supported by the EU, e.g. through legally binding sustainability certificates. In particular, the inclusion of life cycle assessments (LCA) in the awarding of public contracts could benefit hemp composites and thus further increase the potential to contribute to climate protection.

Keywords

Life cycle assessment, Hemp fibre composite, Hemp shives composite, natural fibre reinforced plastic, hempcrete, environmental impact, carbon footprint, European green deal.

Climate change is one of the central threats to life on Earth as we know it today. The importance of climate protection has entered the consciousness of the European population, which ultimately led to the issue becoming an important point in the policy of the European Union (EU). At the end of 2018, the EU declared the political goal of achieving climate neutrality by 2050 [1]. To achieve climate neutrality, a sink volume on the order of 15% of 1990 emissions must be achieved in 2050, equivalent to about 850 million metric tons of CO₂

equivalent [2]. The CO₂ storage capacity of industrial hemp suggest that the plant can make an important contribution to climate protection.

The aim of the work is to analyze the carbon flows of the multi-output product system of hemp plant utilization. The chosen multi-output product system results from hemp fiber production and the resulting co-products. This is done with the overall goal of gaining knowledge about the carbon flows of hemp fiber composites and evaluating their environmental performance. This work is presented in a cumulative form, so that the results of the sub-studies for the individual industries are available separately. The results of the studies represent scalable, central European averages, which can thus be quickly specified by industry users to evaluate the greenhouse gas release of their products. The studies help to estimate the contribution of industrial hemp to climate protection, which can be particularly useful for further EU policy advice.

The present work is divided into 6 subsections. Parts I and VI form the introductory and concluding framework texts, respectively. Parts II to V represent independent study results. Table shows an overview of the structure and contents of the thesis as well as the corresponding chapters.

Table

Structure and content of the thesis

Part of the thesis	Content	Chapter
Part I Introduction and overview	Classification and structure of the work, as well as introduction to the theoretical foundations and the state of the technology.	introduction theoretical fundamentals state of the technology of composites
Part II Potential analysis	Analysis of the potential of hemp, in cultivation and processing. Literature study including a meta-analysis on hemp composites.	Potential analysis
Part III LCA hempcrete	Selection and elaboration of the central points of hempcrete in a LCA.	life cycle analysis hempcrete
Part IV LCA Hemp NFRP	Selection and elaboration of the central points of hemp NFRP in the SMC process in a LCA.	life cycle analysis of hemp NFRP in the SMC process.
Part V Political outlook and discussion	Outlook on policy changes in connection with the European green deal. Discussion about changes in the sectors and recommendations for companies and the EU.	outlook 2050 critical discussion
Part VI Summary	Summarized presentation	Summary

Life cycle assessment is a tool for systematically evaluating the environmental aspects of a product or service system at all life cycle stages. The methodology is standardized by the International Organization for Standardization (ISO). The ISO 14040:2009/14044:2006 standards currently provide an internationally recognized framework for conducting and evaluating LCA studies. [3] A typical LCA consists of the four elements objective and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation.

In the First Phase, the functional unit is set, decisions are made about system boundaries and allocation processes, and a selection of impact assessments to be analyzed and the impact assessment methodology are chosen. The inventory analysis qualifies all inputs and outputs of a product system and thus includes the data collection and calculation procedures. The impact assessment translates the inventory data into their contributions to so-called environmental impact categories. Interpretation is the final step of LCA. Here, results are drawn from both the inventory analysis and the impact assessment. An LCA is usually used to compare or improve products and processes [3].

Among the greatest advantages of LCA in relation to the processing of hemp reinforcement materials is primarily the possibility of comparison; for example, the use of natural materials can be evaluated in comparison to synthetic counterparts from an ecological perspective.

In the EU, there is a potential area of 32,670 hectares under cultivation, which corresponds to a raw material potential of 222,156 t/a. Subtracting 15.1% other materials and 2% material losses in the hemp straw fraction, results in a materially usable technical potential of 184,167 t/a. Current data on the use of hemp raw materials are not available, but it can be assumed that the potential of the main products used so far does not correspond to the technically possible potential. According to the assessment of the practical actors, the potential of hemp is opposed by the existing markets, which are considered to be underdeveloped so far. There is a lack of demand from the industry for a stronger development in the area, but at the same time the limited supply of hemp fibers is seen as a limitation for a fast development [4].

Industrial hemp is considered an attractive biomass for energy production, and various products can be made from the plant, such as: [5]

- biogas from anaerobic digestion,
- bioethanol from fermentation,
- biochemical products such as succinic acid,
- biodiesel from the oil of pressed seeds.

The technical and economic usability of industrial hemp as a pure energy crop is still unclear despite many studies.

The objective of the life cycle analysis of hempcrete is to achieve an independent balance of the environmental performance of hempcrete bricks. In terms of sink creation, the focus is on the carbon footprint

The objective of the life cycle analysis of hempcrete is to achieve an independent balance of the environmental performance of hempcrete bricks. In terms of sink creation, the focus is on the carbon footprint. The following processes are included in the analysis:

- 1) hemp shives production,
- 2) binder production,
- 3) transportation of the raw material to the production company,
- 4) manufacturing process (without diesel consumption for in-plant transports),
- 5) transport to the construction site,
- 6) wall construction (mortar production),
- 7) use phase (carbonation only),
- 8) End-of-Life (thermal treatment).

For the flows from primary process chains included in the system boundary, the so-called "cut-off" allocation is selected. When the foreground data are converted to the model, the following product allocation is performed:

In the process of extracting hemp and preparing it into long fibers, short fibers, and shives, a physical mass allocation is performed. This is done because the main focus is on the impact indicator, global warming potential, or carbon footprint. Although the fibers have a

comparatively high value added compared to their mass fraction, fossil emissions are a purely physical quantity, which is why they should not be allocated economically.

All data on the manufacturing processes were taken from literature research. Data for hemp shive production were based on a generic central European scenario [6], and the EcoInvent database is used for binder production and mortar production.

For biogenic carbon storage, are considered, that per ton of dried hemp stalks 1.37 tons of CO₂ can be absorbed.

The results of the LCA showed that the main source of environmental impact during manufacturing is the binder production.

The differences in the estimation of CO₂ emissions compared to the meta-analysis and the present study result from the fact that all studies assumed a different value for the CO₂ uptake of the hemp plant and different GHG emissions in the agricultural upstream chain.

In the evaluation, all studies, including the present one, considered complete carbonation during the life of the hempcrete.

Despite some differences in basic assumptions and results, all studies have a negative overall carbon footprint. This proves that hempcrete acts as a carbon sink and can thus make an important contribution to climate protection.

This study deals with the life cycle assessment of a fiber-reinforced sheet molding compound made from hemp fiber and an unsaturated polyester resin.

A fixed volume of 1000 cm³ is assumed for the fictitious component for better scalability.

The system boundaries for this study extend from the extraction of the raw material to the completion of the application. The analysis is divided into 4 phases:

- 1) production of raw materials (hemp fibers, unsaturated polyesters, fillers and additives),
- 2) transportation to the production company,
- 3) SMC semi-finished product production,
- 4) semi-finished product pressing.

Physical exclusion criteria are defined in advance of the modelling, so that inputs with a mass fraction of less than 2% of the total mass are not considered.

It is assumed that the production sites are located in Germany, this includes both the hemp fiber production and the production of the SMC components. All other allocation processes see Chapter.

The upstream chain is the same as in Chapter 1. All data on the manufacturing processes are taken from literature analyses and from process descriptions of a project from the university in Zittau. For the modeling the database EcoInvent is used.

All hemp fiber-reinforced plastics showed savings in energy and GHG emissions compared to their fossil pentane during the meta-analysis. All the compared studies, including the present one, showed that the fossil-based component strongly contributes to the GHG emissions of the whole composite.

One way to reduce fossil energy use and GHG emissions is to reduce or substitute fossil-based materials. Here, for example, bio-based plastics can be used. Furthermore, the production technologies for most hemp-based applications and applications of bio-based plastics are mostly at an early stage. In the future, new trends in NFRP research and application are expected.

In terms of product development, sustainability aspects are increasingly integrated into the product conceptual design phase. Examples include design for recycling or the material selection process.

For hemp composites, the European green deal brings significant changes. In the future, many products will be subjected to LCA before they are produced.

The EU wants to increase the use of recycled plastics. With the new law, the plastics industry will probably focus more on thermoplastics or thermoset plastics with thermoplastic

properties, as they are easier to recycle. In this sense, bio-based plastics also have significant advantages, as they can often be composted [7] In terms of plastic waste, industry data shows that energy recovery remains the most common treatment method. This confirms that the industry urgently needs to take concrete steps to increase the recyclability of plastics to face the political demands in the future. The EU could support the development of NFRP, in line with the EGD, by increasing subsidies for the cultivation of recyclable crops.

In addition, the EU wants to expand and promote the market for sustainable building products [7]. With corresponding support from the EU, hempcrete building materials can make a significant contribution to achieving the energy and climate targets. In the first step, sustainable products must be brought closer to the consumer, sustainability certificates are suitable for this task. Such a certificate could be a simple tool for consumers to make a more environmentally friendly decision. Especially the inclusion of LCA in the awarding of public contracts could benefit the hempcrete and thus increase the potential to contribute to climate protection.

References

1. Europäisches Parlament, Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnung/ 2020.
2. Bier H. et al., „EBI Withepaper: Mit Pflanzenkohle basierten Kohlenstoffsenken dem Klimawandel entgegenwirken,“ 2020.
3. D. E. I. 14040:2009-11, „Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen,“ 209.
4. Rupp J., Böhmer J.H.K., Blum H., Becker J., Dunkelberg E., Hirschl B., Wagner B. und Heck P., Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie - Analyse und Bewertung von Wertschöpfungsketten einer nachhaltigen Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Berlin: Schriftenreihe des IÖW 217/20/ 2020.
5. Crini G., Lichtfouse E., Chanet G. und Morin-Crini N. „Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review,“ in Environmental Chemistry Letters 18, Springer Nature Switzerland AG, 2020, pp. 1451-1476.
6. Turunen L. und H. van der Werf, „Life cycle analysis of hemp textile yarn. Comparison of three hemp fibre processing scenarios and a flax scenario.“ INRA, UMRSAS, Rennes, France. 2006.
7. Kommission E. „Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft,“ 2020.
8. Brandes J., Haun M., Senkpiel C., Kost C., Bett A. und Henning H.-M. „WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen – Update für ein CO₂-Reduktionziel von 65% in 2030 und 100% in 2050,“ Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg/ 2020.
9. Fehrenbach H., Köppen S., Breitmeyer E., Essel R., Baur F., Kay S., Wern B., J. von Geibler, Kauertz B., Detzel A., Wellenreuther F. und Carus M. „BIOMASSEKASKADEN Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis,“ m Auftrag des Umweltbundesamtes/ 2017.

Бурмистров Олег Ильич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

физический факультет,

студент группы №Z42451,

направление подготовки 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: ob_an602@mail.ru,

oleg.burmistrov@metalab.ifmo.ru

Глыбовский Станислав Борисович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

физический факультет,

к.т.н., с.н.с., доцент,

e-mail: stas@itmo.ru,

s.glybovski@metalab.ifmo.ru

УДК 537.86

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРИЁМНЫХ
АНТЕНН ДЛЯ СБОРА ЭНЕРГИИ РАДИОЧАСТОТНОГО ПОЛЯ
ВОЗБУЖДЕНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО ТОМОГРАФА**

О.И. Бурмистров

Научный руководитель – к.т.н., с.н.с., доцент С.Б. Глыбовский

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка системы приёма энергии РЧ поля возбуждения МРТ для беспроводного питания катушек».

Аннотация

В работе представлена система приёмных антенн для сбора энергии из радиочастотного поля возбуждения, численное моделирование и экспериментальное исследование системы приёмных антенн для аппарата магнитно-резонансной томографии (МРТ) с уровнем поля 1.5 Тесла. Численное моделирование удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии показало, что на расстоянии более, чем 50 мм влиянием системы приёмных антенн можно пренебречь. В ходе экспериментального исследования показано, что принимаемая мощность находится в пределах в пределах 50 – 200 мВт и зависит от типа импульсной последовательности. Численное моделирование и экспериментальное исследование также показывают, что влияние разработанной системы на однородность радиочастотного поля возбуждения минимально на расстоянии от принимающей системы более, чем 50 мм, а также, что существуют оптимальные положения системы в пространстве, позволяющие добиться наиболее эффективного приёма энергии. Также в проекте показано влияние сопутствующих радиотехнических узлов, входящих в состав устройства для беспроводного сбора энергии на однородность поля и эффективность системы.

Ключевые слова

Магнитно-резонансная томография, МРТ, сбор энергии, приём энергии, магнитное поле, антенны, безопасность в МРТ, однородность полей в МРТ.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является актуальной областью на данный момент [1]. Аппарат МРТ состоит из основной приёмно-передающей радиочастотной (РЧ) и градиентной катушек, магнита и локальных катушек [2]. МРТ

основывается на явлении ядерного магнитного резонанса (ЯМР) [2]. В аппарате МРТ существует 2 фазы: фаза передачи и фаза приёма. Во время фазы передачи генерируется мощное РЧ поле B_1 , амплитуда возбуждения поля может достигать 15 кВт. Во время фазы приёма регистрируются сигнал от ядер. Поскольку сигнал от ядер достаточно слаб, используются локальные катушки. Питание локальных катушек осуществляется с помощью громоздких кабелей, что уменьшает комфорт пациента и увеличивает время его укладки. В работах [3, 4] представлена система сбора энергии из РЧ поля возбуждения, однако данная система осуществляет работу только с линейной поляризацией магнитного поля, тогда как поле возбуждения B_1 в ряде аппаратов МРТ имеет круговую поляризацию. Преимуществом системы, представленной в данной работе, является то, что данная система способна принимать магнитное поле круговой поляризации из РЧ поля возбуждения B_1 , что позволит собирать больше энергии в ряде аппаратов МРТ. Данная система позволит увеличить комфорт пациента во время сканирования в аппарате МРТ, а также ускорит время укладки пациента, а также расширить применение беспроводных технологий в МРТ.

При выполнении данной работы решались следующие задачи: численное моделирование системы приёмных антенн внутри тоннеля МРТ, построение прототипа системы приёмных антенн, экспериментальное исследование системы приёмных антенн внутри тоннеля МРТ, оценка влияния системы приёмных антенн на радиочастотное поле возбуждения B_1 и удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии (specific absorption rate, SAR), поиск технических решений для минимизации влияния системы приёмных антенн на поле B_1 и SAR.

Схема предложенной системы сбора энергии представлена на рис. 1а. На ней представлены две приёмные антенны, принимающие ортогональные линейные поляризации магнитного поля. Данные антенны подключены каждая к своему выпрямителю и, через сумматор, энергия поступает и накапливается в конденсаторе, после чего энергия передаётся в нагрузку. На рис. 1б представлена модель в программном пакете CST microwave studio, где представлена РЧ катушка и фантом, параметры и размеры которых от аппарата МРТ «Siemens Avanto 1.5T», а также система приёмных антенн. Исследованы различные конструкции приёмных антенн, однако оптимальная конструкция системы приёмных антенн состоит из петлевой антенны и антенны типа «бабочка», модель которой представлена на рис. 1в, а изготовленный прототип на рис. 1г.

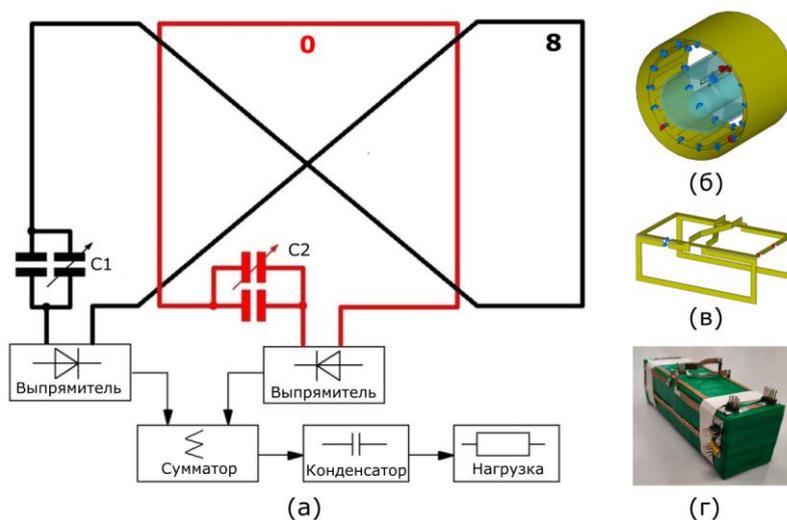


Рис. 1. (а) Общая схема системы приёмных антенн, (б) полная численная модель, (в) численная модель системы приёмных антенн, (г) прототип системы приёмных антенн

В ходе численного моделирования системы приёмных антенн исследованы различные конструкции приёмных антенн. В итоге, была выбрана конструкция из петлевой антенны и антенны типа «бабочка», которая, с одной стороны достаточно компактная и слабо влияет на однородность поля V_1 , с другой стороны принимает достаточное напряжение (напряжение на петлевой антенне примерно равно напряжению на антенне типа «бабочка»). Кроме того, данная система оптимизировалась, а именно исследовалось влияние размеров на величину принятого напряжения, влияние входного сопротивления выпрямителя на напряжение. Было получено, что изменение размеров влияет на напряжение, а также существует оптимальное входное сопротивление выпрямителя, при котором напряжение на антенне максимально. Величина входного сопротивления системы приёмных антенн колеблется в пределах 0.8 – 3 Ом в зависимости от размеров системы приёмных антенн. Исследовалось влияние диэлектрической проницаемости фантома на распределение полей. Получено, что чем больше проводимость фантома (объекта исследования), тем меньшее напряжение будет на системе приёмных антенн. Влияние диэлектрической проницаемости (изменение от 80 до 40) незначительно. Кроме того показано, что оптимальная система приёмных антенн незначительно влияет на нагрев тканей на расстоянии более 50 мм от объекта исследования (рис. 2) и ей можно пренебречь на фоне нагрева от основной приёмопередающей РЧ катушки.

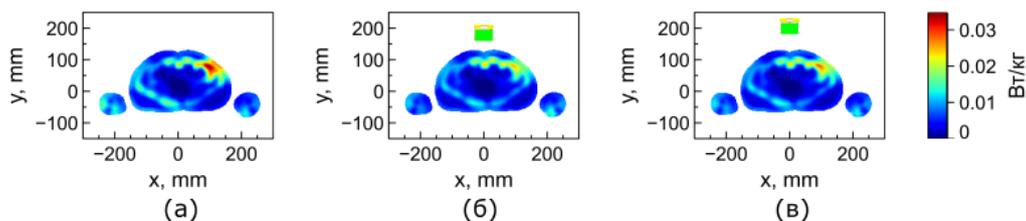


Рис. 2. Срез с максимальным значением SAR: (а) без системы приёмных антенн, (б) система приёмных антенн на расстоянии 20 мм от тела, (в) система приёмных антенн на расстоянии 50 мм от тела

В ходе экспериментального исследования показано, что эффективность системы зависит от сопротивления нагрузки после выпрямителя (рис. 3), а также от типа выпрямителя (рис. 4). То есть, для максимизации полученного напряжения требуется определённая нагрузка и тип выпрямителя. На рис. 4е не представлен график для схемы Диксона (рис. 4г), так как напряжение после данного выпрямителя было мало на фоне остальных схем. Также получено, что средняя принятая мощность колеблется в пределах 50 – 200 мВт и зависит от типа импульсной последовательности.

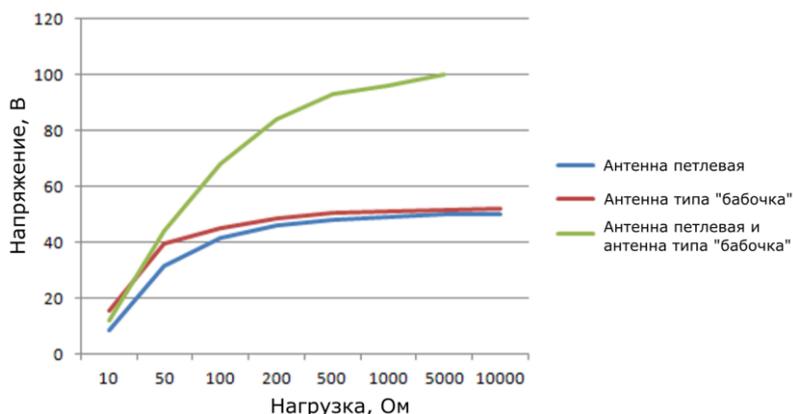


Рис. 3. Зависимость напряжения на выходе от величины подключённой нагрузки

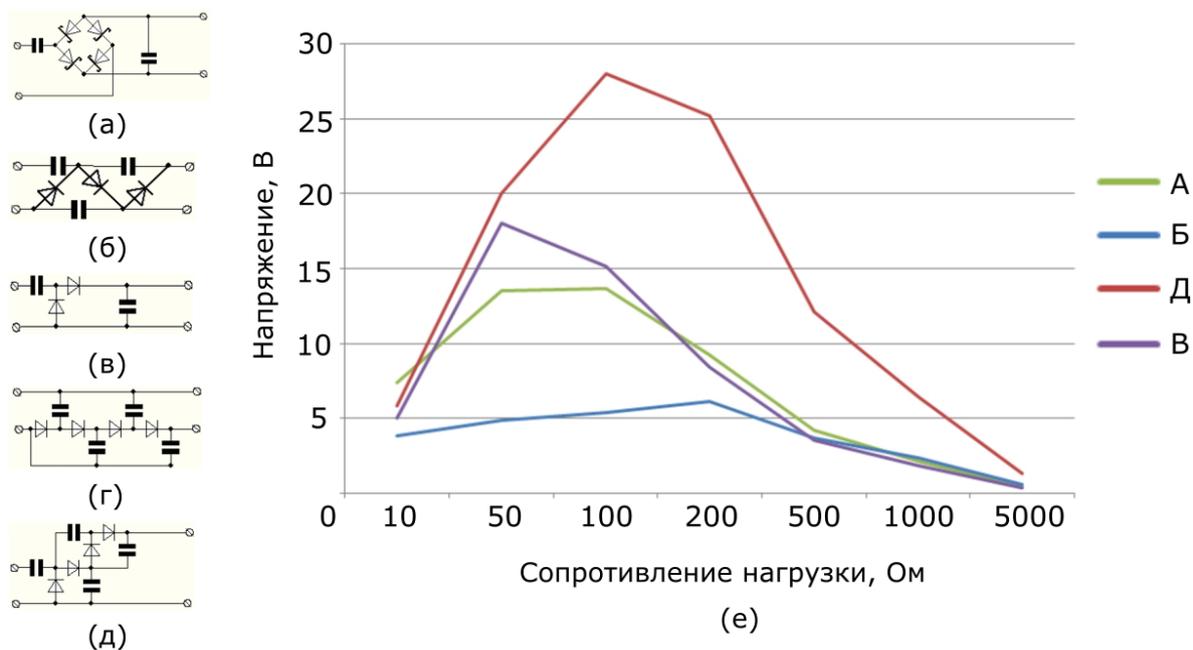


Рис. 4. Схемы выпрямителей: (а) полный мост, (б) схема Кокрофта-Уолтона, (в) удвоитель напряжения, (г) схема Диксона, (д) схема Виларда и (е) график зависимости напряжения от нагрузки

В ходе численного моделирования и экспериментального исследования показаны влияние системы на однородность поля возбуждения V_1 (рис. 5) и зависимость напряжения от положения в тоннеле МРТ (рис. 6).

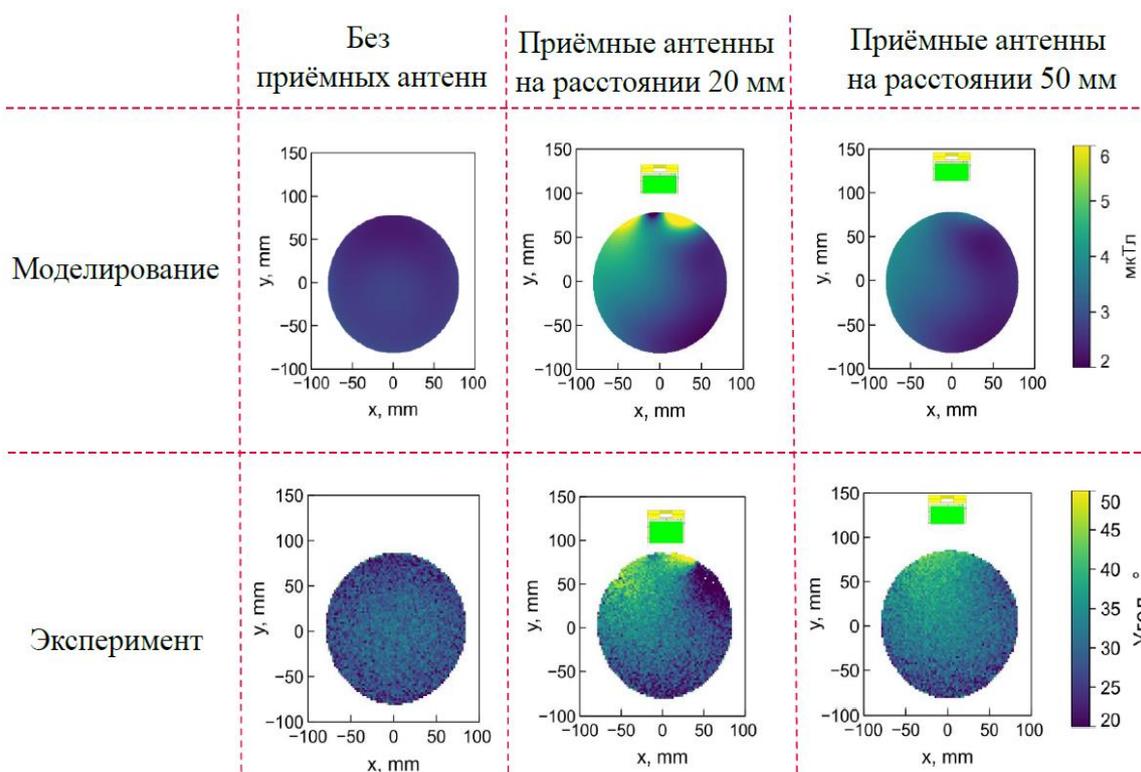


Рис. 5. Влияние системы приёмных антенн на однородность поля V_1

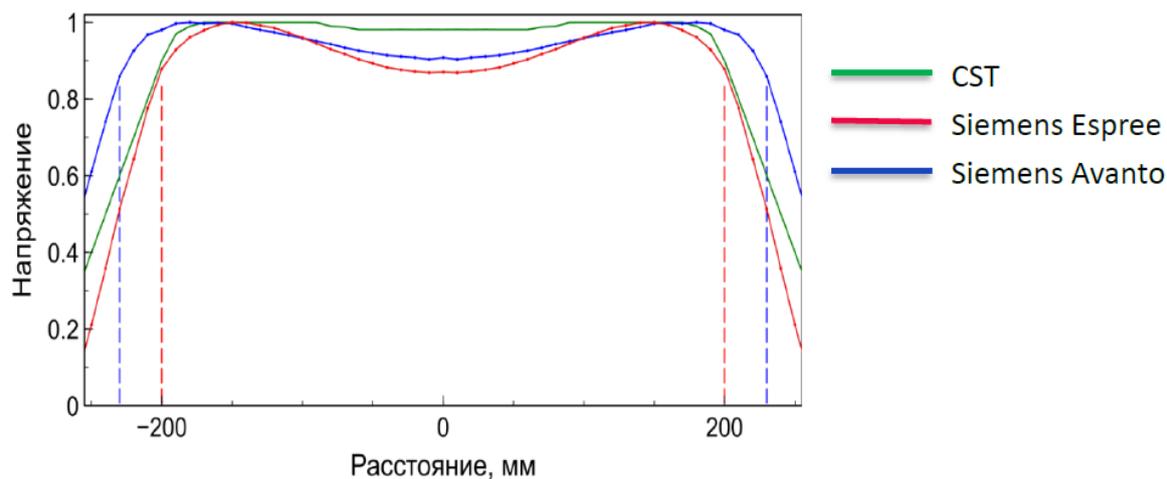


Рис. 6. Зависимость напряжения от положения в аппарате МРТ при перемещении антенны вдоль поля B_0

Важно, чтобы поле B_1 было однородным, иначе на изображениях, полученных с помощью аппарата МРТ будут артефакты [2]. Показано, что влияние системы на расстоянии более 50 мм от объекта исследования незначительно и можно получить качественные изображения. В эксперименте использовался метод двойного угла [5] для построения изображения, для чего была написана программа на языке python для обработки экспериментальных данных. Метод двойного угла [5] позволяет качественно оценить картину магнитного поля. Угол, в данном случае (рис. 5), пропорционален величине магнитного поля [5].

Исследования зависимости (рис. 6) напряжения от положения системы приёмных антенн вдоль магнитного поля, создаваемым магнитом, показало, что существует 2 положения, где приём энергии максимален. Это позволяет разместить систему приёма энергии вне области исследования или на её краю, что позволит получить качественные изображения, где влияние системы пренебрежимо мало. Экспериментальное исследование производилось на аппаратах МРТ фирмы «Siemens», модели «Avanto 1.5T» и «Espree 1.5T».

В ходе работы были выполнены все поставленные задачи, а именно: произведено численное моделирование и экспериментальное исследование системы приёмных антенн, расположенной в тоннеле аппарата МРТ, изготовлены прототипы, исследовано влияние на поле B_1 и SAR и предложены решения для минимизации влияния на поле B_1 и SAR. Предложена система сбора энергии, состоящая из петлевой антенны и антенны типа «бабочка». Численное моделирование показало, что можно пренебречь нагревом тканей и органов человека из-за системы приёмных антенн, если система приёмных антенн расположена на расстоянии более 50 мм от объекта исследования. В ходе экспериментального исследования показано, что принятая энергия зависит от нагрузки и типа выпрямителя, а также величина принятой энергии колеблется в пределах 50 – 200 мВт и зависит от типа импульсной последовательности. В ходе сопоставления численного моделирования и экспериментального исследования показано, что влияние на поле B_1 незначительно на расстоянии более 50 мм от объекта исследования, а также показано, что существуют оптимальные положения приёмных антенн для сбора энергии, где сбор энергии максимален. Для построения карты поля B_1 была написана программа на языке python, основанная на методе двойного угла [5].

Данная система позволяет снабжать энергией одноканальную локальную катушку в аппарате МРТ с уровнем поля 1.5 Тл. Дальнейшее развитие данной темы позволит снабжать энергией многоканальные локальные катушки.

Литература

1. Van Beek E.J., Kuhl C., Anzai Y., Desmond P., Ehman R.L., Gong Q., Gold G., Gulani V., Hall-Craggs M., Leiner T. and Lim C.T. 2019. Value of MRI in medicine: More than just another test?
2. Марусина М.Я., Казначеева А.О., Галайдин П.А. и Ананьева Н.И. 2006. Современные виды томографии.
3. Höfflin J., Fischer E., Hennig J. and Korvink J.G. 2013. Energy Harvesting towards autonomous MRI detection. In Proceedings of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine. Vol. 21. p. 728.
4. Venkateswaran M., Kurpad K., Brown J.E., Fain S. and van der Weide D. 2020. July. Wireless Power Harvesting During MRI. In 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 1469-1472). IEEE.
5. Insko E.K. and Bolinger L. 1993. Mapping of the radiofrequency field. Journal of Magnetic Resonance. Series A. 103(1). pp. 82-85.

Василевская Софья Алексеевна

Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
инженерно-исследовательский факультет,
студент группы №В42201,
направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,
e-mail: sofia.vasilevskaya@yandex.ru

Сокольский Михаил Наумович

Год рождения: 1988
Университет ИТМО,
инженерно-исследовательский факультет,
д.т.н., профессор,
e-mail: mnsokolski@rambler.ru

УДК 681.7.08, 535.317.2, 520.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТИВОВ ПО КОНЦЕНТРАЦИИ ЭНЕРГИИ
В ПЯТНЕ РАССЕЯНИЯ**

С.А. Василевская

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Н. Сокольский

Работа выполнена в рамках темы НИР №620170 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач оптики и биоинженерии».

Аннотация

Рассмотрены и проанализированы два метода измерения концентрации энергии: с использованием сменных диафрагм различного диаметра и с матричным анализатором изображения, первичной информацией для которого является ФРТ. Исследованы основные погрешности измерения концентрации энергии. Проведены измерения функции концентрации энергии объектива звездного датчика и разработана конструкция отдельного узла установки для измерения концентрации энергии.

Ключевые слова

Концентрация энергии, объективы, объектив звездного датчика, методы контроля качества изображения, погрешности измерений.

Основной характеристикой качества изображения оптической системы является функция рассеяния точки. Вторая характеристика качества изображения – оптическая передаточная функция, которая математически связана с ФРТ через преобразование Фурье. Здесь тест объектом является мира с синусоидальным распределением яркости.

Третьей характеристикой качества изображения является функция концентрации энергии. Она связана с ФРТ соотношением:

$$\eta(y'_0, z'_0) = \frac{\int \int \int q(\lambda) q(\rho, \varphi) D_\lambda(y', z') d\lambda dS}{\int \int \int_{\lambda} q(\lambda) q(\rho, \varphi) D_\lambda(y', z') d\lambda dS}$$

ФКЭ – это отношение энергии в круге или квадрате заданного размера к общей энергии в точке.

Возможны 2 метода измерения ФКЭ.

Первый метод: рекомендуемый действующим стандартом. Через диафрагму, в зависимости от диаметра, проходит определенная часть оптического излучения и регистрируется на фотоприемнике. Полученные значения потока, нормированные на значения потока без диафрагм (или диафрагму в 10 раз больше малой) дает ряд значений ФКЭ. По значениям этой функции можно судить о качестве изготовления объектива. Преимуществом фотоприемника является динамический диапазон, который значительно выше 8-битной камеры. А также прямое измерение потока.

Второй метод: проводится измерение ФРТ, используя матричный приемник, например, ПЗС-матрицу, и рассчитывается концентрация энергии. Фиксируется значение освещенности с каждого пикселя. Произведение освещенности на площадь пикселя определяет энергию в этом пикселе. Фиксируя ФРТ контролирующей системы, состоящей из контролируемого объектива и приемника, включается ФРТ приемника, что вносит дополнительные погрешности. При измерении пятна рассеяния камерой с 8-битной оцифровкой наблюдаемая энергия составит 92 - 96% от реальной [1-5]. Возникает необходимость применения при контроле пятна рассеяния приемников с глубиной оцифровки не менее 12 - 16 бит. В этом случае наблюдаемая энергия будет составлять 97 - 99% от реальной.

Исследованы основные факторы влияющие на погрешности измерения концентрации энергии: неравномерность пропускания по зрачку контролируемой системы, функция спектральной эффективности, выбор геометрических параметров установки контроля.

Для мат. анализа, равномерность пропускания по зрачку чаще всего используют по гауссу, которая определяется по формуле:

$$A(\rho) = e^{-G\rho^2}.$$

В случае гауссова распределения, пропускание по зрачку уменьшается или увеличивается к краям зрачка, при этом энергия в пятне перераспределяется. Для моделирования влияния неравномерности в математическую модель введена аподизация зрачка, эквивалентная пропусканию по зрачку. Полученный график представлен на рис. 1.

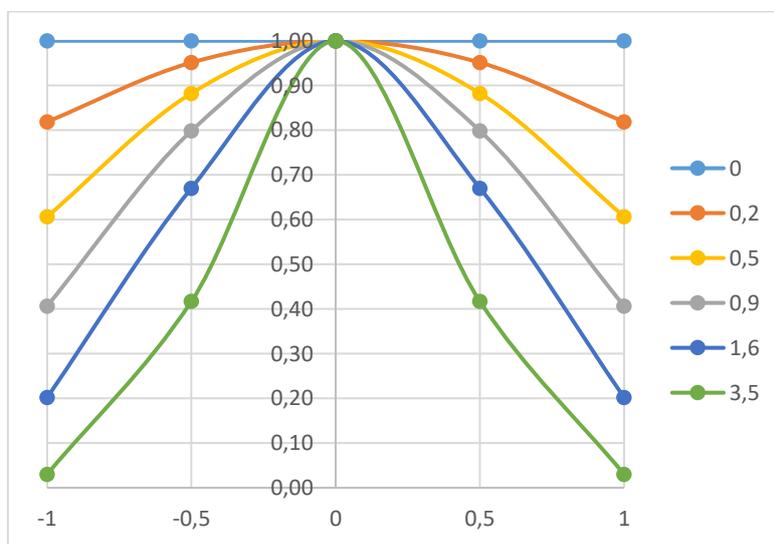


Рис. 1. График зависимости равномерности засветки зрачка от его координат по радиусу

Результаты исследования влияния коэффициента аподизации на концентрацию энергии на примере объектива звездного датчика представлены на графике (рис. 2). Для отверстия с $\varnothing = 30$ мкм получили, что при увеличении коэффициента аподизации, т.е. уменьшения пропускания по зрачку, значения концентрации энергии вырастет на 12,5% для центра поля и на 9% на краю поля.

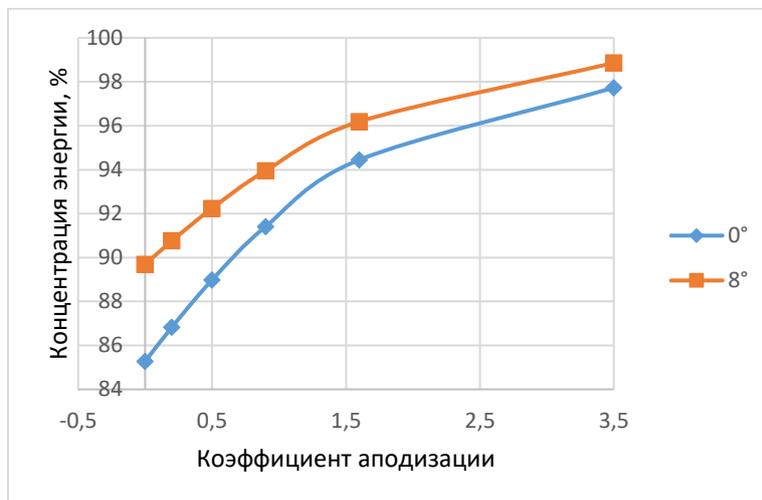


Рис. 2. График зависимости концентрации энергии от коэффициента аподизации

Проведено исследование влияния функции спектральной эффективности на концентрацию энергии на примере объектива звездного датчика. Рассмотрена концентрация энергии для 2-х отверстий: первое соответствует диаметру диска Эри, а второе $\varnothing=30$ мкм. Исследование показало, что в зависимости от функций спектральной эффективности для отверстия малого диаметра концентрация энергии изменяется в пределах 4,5%, а для круга $\varnothing=30$ мкм. в пределах 3%. Следовательно, влияние функции спектральной эффективности на концентрацию энергии увеличивается для отверстия малого диаметра и уменьшается для большего диаметра. На рис. 3: кривая 1 – спектральная эффективность приемника, с которым проводились измерения; кривая 4 – спектральная эффективность приемника по ТЗ; кривые 2-3 выбраны произвольно.

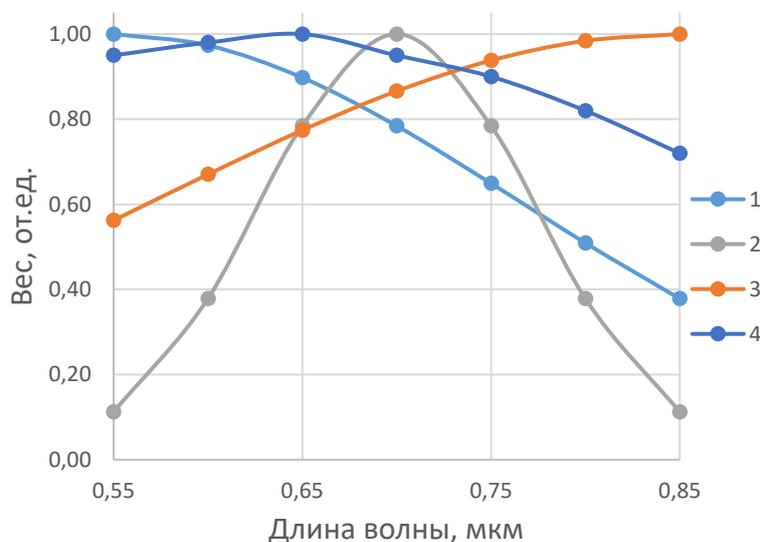


Рис. 3. График спектральной эффективности

При выборе геометрических параметров установки следует учитывать, что распределение освещенности в изображении точки конечных размеров – $O(y, z)$ определяется сверткой ФРТ и $O(y, z)$ по формуле:

$$I(y', z') = \iint_0 O(y, z) D(y' - y, z' - z) dy dz .$$

Показано, что для того чтобы не учитывать влияние свертки, точка должна иметь размер примерно в 5 раз меньше ФРТ объектива. Тогда можно считать, что

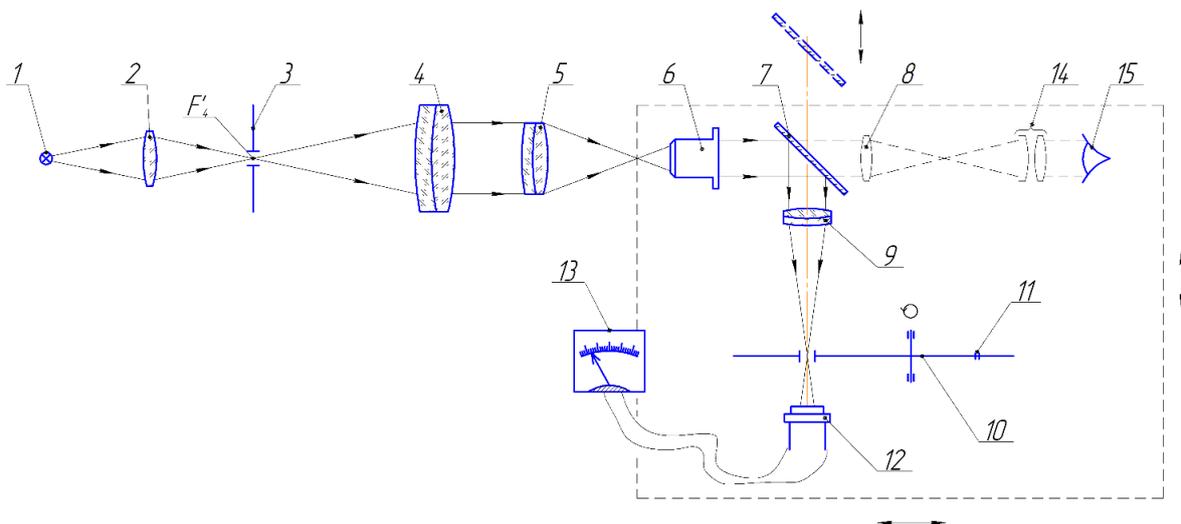
$$I(y', z') \cong S \iint D(y', z') dy' dz' ,$$

где S площадь геометрического изображения точки.

Размер матрицы выбирают из условия, что в большинстве случаев основная энергия ФРТ (95-96%) содержится в области, размеры которой равны размерам геометрического пятна рассеяния плюс пять канонических единиц (λ/Δ), а остальными областями, содержащими малую часть энергии ФРТ можно пренебречь.

Проведены измерения функции концентрации энергии объектива звездного датчика с $f=125$ мм и относительным отверстием 1:2, методом, в котором используется матричный приемник. В ФРТ присутствует астигматизм и кома. Что свидетельствует о погрешностях изготовления, сборки и юстировки объектива. Эти отклонения привели к ухудшению качества изображения, даваемого объективом. Концентрация энергии в измеряемом объективе ниже рассчитанной на 15%, что подтверждает наличие децентрировок линз и погрешностей изготовления объектива, необходимость дальнейшей юстировки объектива и повторной проверки.

Разработана принципиальная оптическая схема установки для контроля концентрации энергии, представленная на рис. 4. Для установки выбран метод измерений концентрации энергии, рекомендуемый действующим стандартом.



- 1 – источник света, 2 – конденсор, 3 - дифракционное отверстие, 4 – объектив коллиматора, 5 – исследуемый объектив, 6 – микрообъектив с тубусом 'бесконечность', 7 – зеркало, 8 – объектив, 9 – тубусная линза, 10 – пластина со сменными диафрагмами, 11 – отверстия, 12 – фотодиод, 13 – микроамперметр, 14 – окуляр, 15 – глаз оператора

Рис. 4. Принципиальная оптическая схема установки для контроля концентрации энергии

Разработана конструкция отдельного узла установки, модель которой представлена на рис. 5.

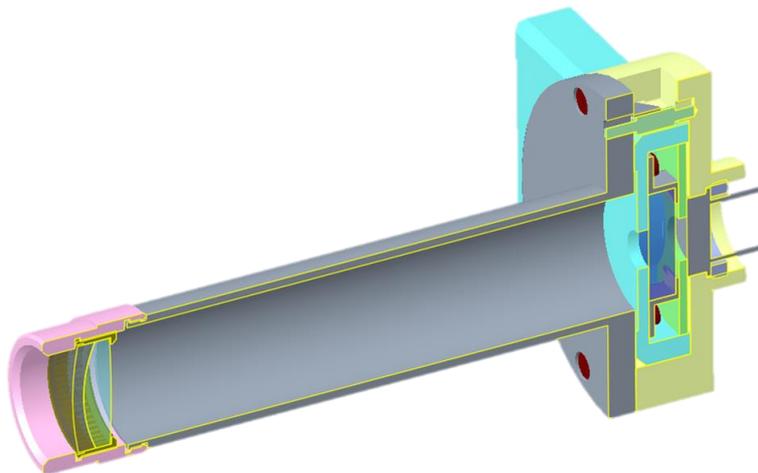


Рис. 5. Модель конструкции отдельного узла установки для контроля концентрации энергии

Все элементы соединены в единый узел, для минимизации юстировки и уменьшения погрешностей настройки. Фрагменты чертежа разработанной конструкции отдельного узла установки представлены на слайде. Линзовая склейка соединяется по резьбе с кольцом. Трубка с фланцем соединяет это кольцо с корпусом. В корпус вставляется планка с диафрагмами. Фотодиод фиксируется к корпусу резьбовым кольцом. Пружина прижимает ролик для фиксации планки с диафрагмами в 3-х положениях.

В ходе работы были исследованы методы контроля концентрации энергии и основные факторы влияющие на погрешности измерения концентрации энергии. Проведены измерения концентрации энергии объектива звездного датчика, который показал необходимость дальнейшей юстировки объектива и повторной проверки. А также разработана принципиальная оптическая схема установки для контроля концентрации энергии и конструкция отдельного узла этой установки.

В дальнейшей работе планируется изготовление конструкции разработанного узла установки и проведение измерений на установке по разработанной оптической схеме.

Литература

1. Демидов В.И., Колесова А.А., Кононов М.Е. Исследование влияния динамического диапазона фотоприемных устройств на точность измерения функций рассеяния точки оптических систем // Прикладная физика. 2015. №1. С.66-71.
2. ГОСТ Р 58566-2019 «Оптика и фотоника. Объективы для оптико-электронных систем. Методы испытаний».
3. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения. М.: Машиностроение. 1987. 264 с.
4. Родионов С.А. Автоматизация проектирования оптических систем. Учебное пособие Л.: Машиностроение. 1982. 270с.
5. Сокольский М.А. Допуски и качество оптического изображения. Л.: Машиностроение. 1989. 221с.

Видлер Алексей Денисович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,

студент группы № Т42504с,

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

e-mail: rabindranattagorpeace@gmail.com

Динкелакер Наталья Владимировна

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

преподаватель (квалификационная категория "преподаватель"),

e-mail: nvdinkelaker@itmo.ru

УДК 504.45.058, 504.453

**МОНИТОРИНГ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НА СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА**

А.Д. Видлер

Научный руководитель – преподаватель Н.В. Динкелакер

Аннотация

В работе рассмотрена проблема мониторинга состояния малых водных объектов при воздействии лесозаготовительной деятельности на экосистему. Предпринята попытка генерализации различных параметров для выявления связи с показательных внешних признаков антропогенного влияния с химическими, биологическими и физическими показателями. За основу для исследования была взята система мониторинга Blue Targeting и работа над ВКР стала частью проекта по актуализации данной системы мониторинга для условий Северо-Западного региона России.

Ключевые слова

Мониторинг водных объектов, системы мониторинга, лесозаготовка, Blue Targeting Tool, малые реки.

Значительная часть России а, в частности, Северо-Западный федеральный округ покрыты лесами. Россия занимает лидирующие позиции в мире по объемам лесозаготовок. Деятельность, связанная с лесопромышленным комплексом, ведется на территории 66 субъектов Российской Федерации, также Россия обладает примерно 25% мировых лесных ресурсов. В то же время Российская Федерация богата и водными ресурсами, крупные речные системы окутывают огромные территории. По данным Государственных докладов общее количество рек в России превышает 2,5 миллиона единиц [1]. Точно подсчитать этот показатель крайне сложно, но каждая река, даже самая маленькая может переносить загрязняющее вещества и влиять на состояние более крупных водотоков или же прилежащих территорий. Проблема состояния речных экосистем актуальна уже многие десятилетия, но действенного решения пока нет. Мониторинг состояния водотоков на территориях, где ведется лесозаготовительная деятельность важен из-за широкого спектра воздействий, оказываемых вырубкой лесов и строительством инфраструктуры на качество воды. Понимать какие возникают

изменения в речных экосистемах в процессе лесозаготовки крайне важно, потому что в противном случае сложно определить степень отклонения от допустимых, нормальных или естественных изменений. Мониторинг водотоков на территориях лесных хозяйств необходим на всех этапах природопользования – от первичного мониторинга для начала лесозаготовительной деятельности и до периода восстановления лесов. Мониторинг состояния всех водотоков на участке природопользования это очень ресурсоёмкая задача и сама по себе она не несет никаких выгод для предприятий. А предприятия лесопромышленного комплекса занимаются бизнесом, суть которого заключается в получении прибыли. Поэтому ученому сообществу предстоит работать над методами и инструментами, которые могли бы вписываться в модель ведения бизнеса.

Лесозаготовка является чрезвычайно губительной для окружающей среды и особенно для большого количества водных объектов, расположенных в лесах [2]. Ресурсоёмкая проблема мониторинга состояния малых рек требует разработки инструментов управления окружающей средой с использованием передовых методов. Привлечение автоматизированных систем и моделей обработки данных призвано повысить эффективность управления лесами. Однако внедрение новых методов мониторинга требует проведения обширных исследований, поиска унифицированных критериев. Летом 2020 года были проведены исследования в лесном хозяйстве, расположенном в средней тайге. Отбор проб для анализа и работа по оценке применимости системы мониторинга Blue Targeting проводилась в южной части Республики Коми, в Прилузском и Койгородском районах, на территории Ношульского лесничества (рис. 1).



Рис. 1. Место проведения исследований на карте

Объектом исследования стали девять различных малых рек и ручьев, различающихся по степени влияния на них антропогенных факторов (рис. 2).

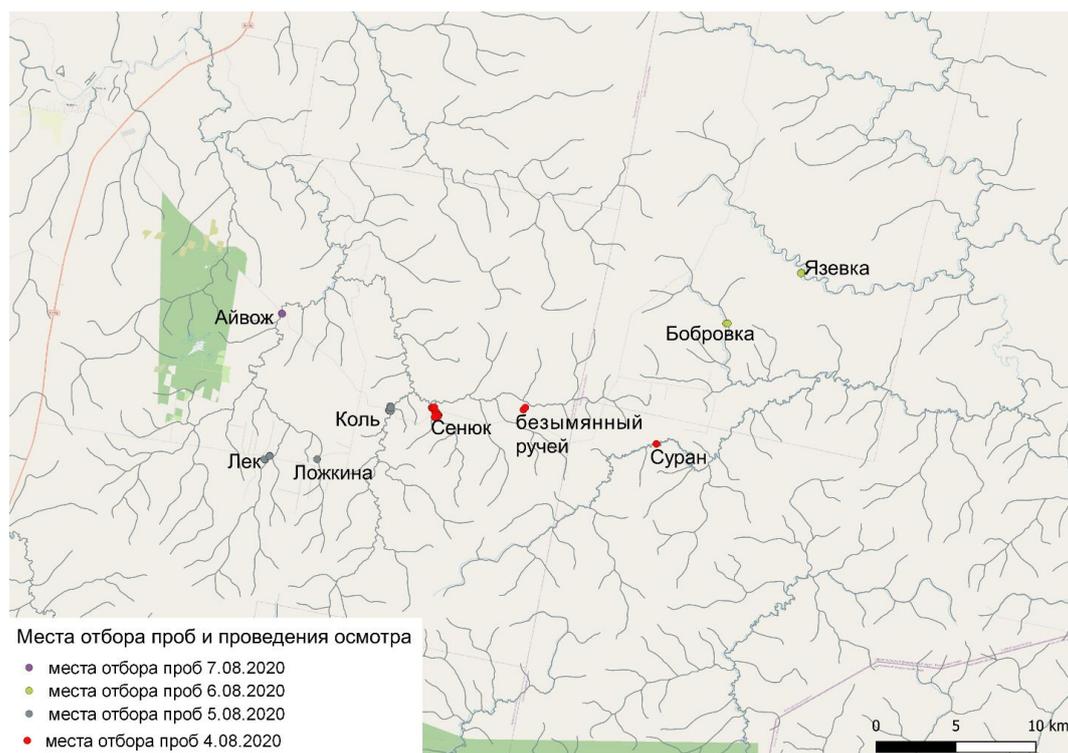


Рис. 2. Расположение места отбора проб на карте

Предметом исследования являлось определение влияния лесозаготовок и лесной дорожной инфраструктуры на накопление загрязняющих веществ в донных отложениях малых рек и в прибрежных почвах. Для ее проверки была принята нулевая гипотеза о том, что заготовка леса приводит к увеличению содержания тяжелых металлов в почве и, как следствие, химические компоненты вымываются в реки, после чего тяжелые металлы накапливаются в донных отложениях. Был проведен химический анализ воды, донных отложений и водной растительности. В наше время очень много внимания уделяется совершенствованию и генерализации методов мониторинга окружающей среды. Появляются новые инструменты оценки воздействия на окружающую среду и актуализируются старые методики. Важным также является обмен опытом между странами, природные условия в которых могут быть схожи, что упростит приведение охраны окружающей среды к общему знаменателю. Ведь забота о благосостоянии природы на нашей планете – это общее дело. Шведскими специалистами был разработан инструмент для анализа экологической ценности малых водотоков и система рекомендаций по сохранению экосистем при ведении лесозаготовки. Работа была осуществлена в рамках программы WAMBAF (Water Management in Baltic Forests, управление водными ресурсами в лесах Балтийского региона) Tool Box проводимой представителями стран, относящихся к региону Балтийского моря [3]. Несмотря на то, что Северо-Западный федеральный округ не имеет отношения к Балтийскому морю, было принято решение актуализировать инструмент Blue Targeting к условиям природных зон, представленных в Республике Коми, Республике Карелия и Архангельской области. В рамках исследования проводился отбор проб воды, донных грунтов, водной/прибрежно-водной растительности и в некоторых точках отбор материалов с прибрежных территорий. Проводилось описание древостоя, визуальное описание состояния водотока и закладывались трансекты. Из-за отсутствия ряда наблюдений на конкретных водотоках было принято решение проводить сравнительный анализ, а за контрольный объект был принят водоток, через который не пролегает ни один мост, а объем вырубок в водосборе является наименьшим до места отбора проб. На

гистограмме (рис. 3) представлены значения измеренных показателей в сравнении с показателями реки Суран, значения для контрольного объекта приняты за 1.

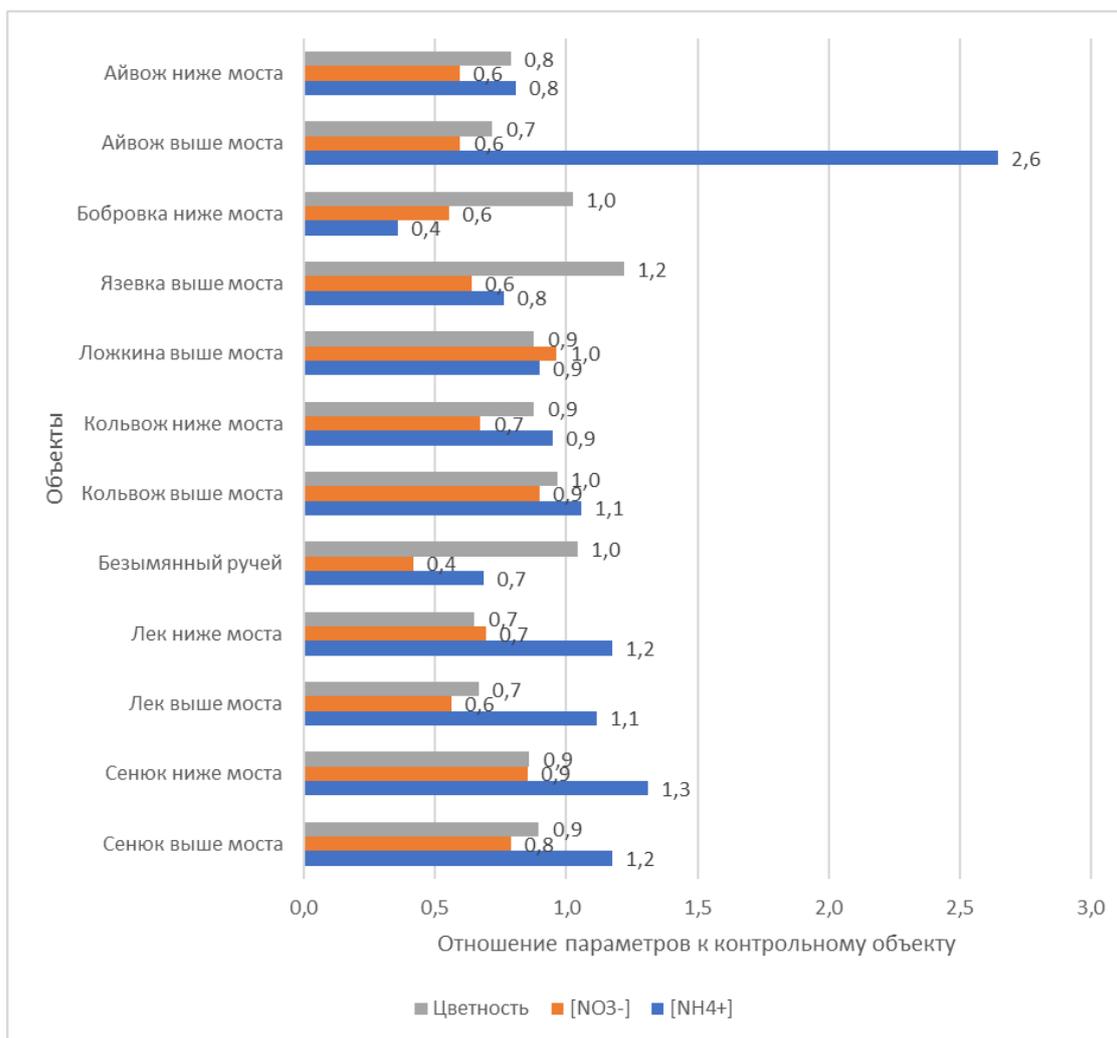


Рис. 3. Значения исследуемых параметров воды в сравнении с контрольным объектом

Единственным заметным отклонением от среднего значения является объект «Айвож выше моста», но тем не менее абсолютное содержание ионов аммония в данном образце составляет 0,0548 мг/дм³, что не превышает никакие нормативы для природных вод. При проведении анализа содержания тяжелых металлов в грунтах и растениях собранные и обработанные материалы исследовались на содержание следующих элементов (всего 12): оксид титана (TiO₂), оксид марганца (MnO), оксид железа (Fe₂O₃), стронций (Sr), свинец (Pb), мышьяк (As), цинк (Zn), медь (Cu), никель (Ni), кобальт (Co), хром (Cr), ванадий (V). На некоторых объектах проходил отбор проб с трансекты, помимо отбора проб в самом водотоке. Это было сделано для поиска взаимосвязи между содержанием тяжелых металлов на территории водосборного бассейна и в различных элементах водотока. Проведенные измерения не выявили никаких превышений и отклонений от нормы для данного региона. На данный момент нет универсальных нормативных документов, в которых были бы представлены применимые ПДК для почв различных зон. Поэтому для того, чтобы оценить содержание тяжелых металлов в исследуемых материалах я опирался на показатели проведенных в исследуемом районе ранее исследованиями фоновых содержаний для характерных почв. В оценке я полагался на исследование Безносикова В.А., Лодыгина Е. Д. и Кондратенко Б.М. от 2005 года [4].

В ходе осмотра объектов проводилось заполнение опросных листов инструмента мониторинга Blue Targeting, затем осуществлялся анализ применимости методики в неизменном виде и в случае выявления несоответствий вырабатывались рекомендации по изменению пунктов опросного листа для применения в условиях регионов Северо-Западного региона.

После анализа пунктов опросного листа Blue Targeting на справедливость их использования для Республики Коми участниками исследования был сделан вывод о невозможности применения представленных пунктов. Основной причиной этого является наличие водоохранной зоны в размере 50 метров для всех малых водотоков протяженностью менее 10 км, включая ручьи, согласно водному кодексу РФ. Система Blue Targeting носит рекомендательный характер в вопросе определения размера водоохранной зоны. В российской практике лесопользования водоохранная зона является обязательным пунктом при использовании земель и нарушение этих зон грозит крупными штрафами или лишением лицензии на пользование лесом. Позже были рассмотрены отчеты коллег, проводивших параллельные пробные исследования на основе бланка опросного листа Blue Targeting в Архангельской области и Республике Карелия. После группового обсуждения замечаний всех сторон были приняты первоначальные правки, на основе которых в первой декаде июня 2021 года будут проводиться испытания актуализированной анкеты на территории Архангельской области при участии WWF России.

По результатам лабораторных исследований сложно сделать выводы о зависимости между вырубкой леса и конкретными механизмами реагирования в водотоках. Отчетливых путей миграции тяжелых металлов с обрубленной территории также не было обнаружено. Наиболее убедительная связь наблюдается между наличием рубок до 2000 года и накоплением на дне водотоков илистых частиц. В свою очередь влияние мостов на состояние водных объектов было установлено визуально, но не подтвердилось при проведении измерений показателей качества воды и содержания тяжелых металлов в грунтах и растениях. Правила по строительству лесной дорожной инфраструктуры предусматривают наличие рекомендаций и нормативов по строительству только главных магистралей в лесных хозяйствах. В то время как строительство «временных» дорог и их инженерное планирование полностью остается на совести природопользователя. Вследствие этого характер загрязнения водотоков несёт в основном механический характер, дороги строят из песка, зачастую без подготовки основания, а мосты складывают из неиспользованных брёвен. Песок смывается с дороги при каждом дожде, а мосты не редко являются сезонными постройками и их может смыть при сильных паводках. Чаще всего мосты демонтируют, чтобы избежать смыва. Подобный подход к строительству путепроводов в лесных хозяйствах объясняется периодами заготовки: дорога или мост после выработки делянок за определенное количество лет могут после этого не использоваться десятилетиями. В ВКР были рассмотрены общие моменты обширного исследования. Как первоначально актуализированная анкета Blue Targeting является шагом к разработке полноценного инструмента для мониторинга малых лесных рек, так и исследование влияния рубок стало частью детального исследования миграции тяжелых металлов в экосистемах и изучении аккумуляционных свойств различных растений.

Литература

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/proekt_gosudarstvennogo_doklada_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federat2019/ (дата обращения 10.05.2021).

2. Паутов Ю.А., Боровлёв А.Ю. Оценка долговременного воздействия сплошных рубок леса на водные ресурсы в средней подзоне тайги Республики Коми // Устойчивое лесопользование. 4. 2019. С. 10–16.
3. Хенриксон Л., Руководство Blue Targeting (BT): как проводить BT для планирования передовых методов управления (ПМУ) лесным хозяйством вдоль небольших водотоков. Агентство лесного хозяйства Швеции, межправительственный проект ЕС Управление водным хозяйством в лесах Прибалтики, WAMBAF 2018. 19 с.
4. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах южных районов Республики Коми // Вестник института биологии коми научного центра уральского отделения РАН. 2005. С. 12–15.

Власов Артем Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет/научно-исследовательский

центр биоинженерии,

студент группы №В42652,

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

e-mail: arte_13@email.ru

Фокина Мария Ивановна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет/международная научная лаборатория

нелинейно-оптических молекулярных кристаллов и микролазеров,

к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: mfokina@itmo.ru

УДК 33.338.984

**ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВА СЪЕДОБНЫХ ПЛЕНОК И ПОКРЫТИЙ НА
ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ КРАХМАЛ/ЖЕЛАТИН**

А.В. Власов

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент М.И. Фокина

Работа выполнена в рамках индивидуальной темы НИР.

Аннотация

В работе проведена экономическая оценка целесообразности создания производства по выпуску биополимерной крахмал-желатиновой матрицы для покрытий и съедобных пленок. Для чего проведен конкурентный анализ; расчет себестоимости производства; дана характеристика продукции и рынку сбыта, разработаны планы маркетинга и производства, подобрано предполагаемое место размещения производства и оборудование; определены финансовые показатели бизнес-проекта. Полученные в результате расчетов в работе экономические показатели позволяют сделать вывод об экономической эффективности и коммерческой состоятельности создаваемого производства.

Ключевые слова

Бизнес-планирование, производство, альтернативные полимеры, биополимеры, съедобные пленки и покрытия.

В современном мире нет ни одной сферы деятельности человека, где бы не нашли свое применение полимеры. Постоянно растущий спрос на полимерные материалы рождает огромные объемы выпуска, которые в ближайшей перспективе обернутся огромными экологическими проблемами.

Одним из наиболее перспективных направлений в сфере замещения традиционных полимеров является создание и внедрение в широкий оборот полимеров, способных биodeградировать в окружающей среде на безвредные для нее компоненты.

Съедобная упаковка на основе биополимеров в виде пленок и покрытий представляет собой съедобный материал, который обладает способностью к полному разложению в организме человека под действием пищеварительных ферментов.

На сегодняшний день для производства съедобных упаковок чаще всего используют следующие пленкообразующие ингредиенты: полисахариды, белки и липиды козеина.

Одним из самых перспективных материалов для производства биополимеров является крахмал, ввиду низкой стоимости, термопластичности и разнообразной сырьевой базы.

Рынок биологически разлагаемых полимерных материалов на сегодняшний день является одним из самых динамично развивающихся. Мировой рынок биологически разлагаемых полимеров демонстрирует тенденцию более чем двукратного роста с 2013 года, когда рынок оценивался в 1,5 миллиарда долларов, до 4,5 миллиардов долларов в 2017 году. К 2024-2025 годам ожидается, что объем рынка биоразлагаемых полимеров достигнет отметки в 40 миллиардов долларов [1].

Несмотря на относительно высокую стоимость биополимеров, этот материал уверенно завоевывает рынок массового потребления.

В нашей стране производство биологически разлагаемых полимеров находится на начальной стадии развития. В большинстве своем производители выпускают биоразлагаемые полимеры из углеводов и смесей биополимеров с углеводородами. При этом подавляющее число производителей использует зарубежные наработки.

В работе были выполнены расчеты компонентной себестоимости производства крахмал-желатиновой матрицы для покрытий и съедобных пленок по диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук Захаровой Марии Вячеславовны.

В диссертационной работе Захаровой М.В. описаны рецептуры получения биополимерных пленок и покрытий. Средняя рыночная стоимость компонентов была определена исходя из розничной стоимости на рынке России, представленной на сайтах производителей и торговых площадок, без учета стоимости доставки [2, 3].

В табл. 1 приведен расчет компонентной себестоимости производства по разным рецептурам.

Согласно описанной в работе Захаровой М.В. методике получения пленок, из 15 миллилитров матрицы была получена пленка размером 0,024 м², при толщине пленки 150-200 микрон. Таким образом, в среднем из 1 килограмма матрицы может быть получена пленка площадью 1 м², толщиной 150-200 микрон [3].

В расчете компонентной себестоимости используются компоненты категории ЧДА, поскольку они лежали в основе полученной биополимерной крахмал-желатиновой матрицы при проведении исследований. При организации производства возможна замена глицерина и картофельного крахмала категории ЧДА на категорию - пищевой (при проведении соответствующих исследований), что существенно снизит стоимость этих компонентов. Оптовые партии позволят снизить закупочную стоимость компонентов дополнительно на 10-15%, Учитывая, что большую долю в рецепте биополимерной матрицы занимают эти два компонента, то не вызывает сомнения, что себестоимость производства такой продукции будет одной из самых низких по отрасли.

Полная себестоимость производства 1 кг биополимерной крахмал-желатиновой матрицы составит в среднем 1000 рублей. Наибольшая доля в себестоимости приходится на условно-переменные затраты, а именно на сырье и материалы и составляет в среднем 700 рублей.

Планируемая к производству продукция обладает высокой степенью патентно-лицензионной защищенности. Основная группа потребителей – коммерческие предприятия, занимающиеся производством или продажей продуктов питания.

Таблица 1

Компонентная себестоимость составов для производства крахмал-желатиновой матрицы для покрытий и съедобных пленок, руб./кг

Состав	Стоимость компонентов, руб./гр				Итоговая компонентная себестоимость состава, руб./кг
	Крахмал картофельный (ЧДА) (300 руб./кг)	Желатин пищевой экстрагированный из шкур и костей свинины и говядины (720 руб./кг)	Глицерин (ЧДА) (155 руб./кг)	Натриевый бентонит (Е556) (260 руб. кг)	
Биополимерная пленка 10/90/30	3	64,8	4,65	-	557
Биополимерная пленка с содержанием бентонита 10/90/30/7	3	64,8	4,65	1,82	571
Биополимерное покрытие 50/50	1,5	37,5	-	-	390
Биополимерное покрытие с содержанием бентонита 50/50/3	1,5	37,5	-	0,78	386

Пленки и покрытия на основе биополимерной матрицы крахмал-желатин на сегодняшний день представлены на рынке в основном импортными компаниями и несколькими крупными российскими предприятиями. Однако, учитывая реализацию проекта на рынке Ленинградской области, планируемое предприятие является монополистом. В табл. 2 приведена информация о средней стоимости биополимерных материалов в пересчете на кг, представленных на мировом рынке.

Таблица 2

Средняя стоимость биополимерных материалов в пересчете на кг, данные за 2020 год (среднегодовой курс евро/руб. - 1/82,04)

Материал	Стоимость на рынке Европы, без учета доставки и иных отчислений	
	Евро/кг	Руб./кг
«Ecoflex» (BASF)	15-16	1230,6 - 1312,64
«Mater Bi» (Novamont)	12,4-13,2	1017,3 - 1082,9
«Biopol»	15-19	1230,6 - 1558,8
«Novon»	12,5-13,1	1058,3- 1074,7
«Lamagrain»	22-25	1804,9 - 2051
«TyssenKrupp»	14-16	1148,6 - 1312,6
«Plantic»	13,7-14,2	1123,9 - 1164,9
«SPHERE»	15-16	1230,6 - 1312,6

Для оценки состояния внешней и внутренней среды был проведен анализ конкурентных сил предприятия. Результаты анализа конкурентных сил по М. Портеру представлены в работе. Исходя из результатов, полученных в ходе конкурентного анализа, очевидно, что предприятие имеет достаточно высокие угрозы для функционирования. В особенности это касается угроз со стороны предприятий-конкурентов и товаров-заменителей [4].

В результате проведенных исследований внешней среды было установлено, что доступная емкость рынка на территории Ленинградской области позволяет осуществлять выпуск биополимерной крахмал-желатиновой матрицы для покрытий и съедобных пленок в объеме 100 тысяч килограмм ежегодно.

Биополимерную крахмал-желатиновую матрицу для покрытий и готовые съедобные пленки предполагается реализовывать по среднерыночной цене 2000 руб. /кг.

Проект по созданию предприятия планируется реализовать в два этапа. Во-первых, планируется наладить производство мощностью 100 000 кг/год. Второй этап проекта предполагает улучшение производственных мощностей и масштабирование бизнеса.

Для организации производства была выбрана территория индустриального парка «Пикалево» (ТОСЭР) (Бокситогорский муниципальный район, Пикалевское городское поселение, г. Пикалево), характеризующаяся наличием необходимого помещения, удобной транспортной и логистической инфраструктурой, а также близостью к поставщикам производственного сырья. Здание для организации производства предполагается арендовать с возможностью его последующего выкупа по цене 70 млн. рублей. Реконструкция здания потребует ориентировочно 25 млн. рублей.

Производственный процесс создания съедобных пленок из крахмал-желатиновой матрицы состоит из следующих элементов:

1. Смешивание. Все компоненты, предусмотренные составом, смешиваются при нагревании в специализированном оборудовании. Перемешивание происходит постепенно. Скорость на каждом из шагов смешивания подбирается технологом. В итоге получается вязкая и пластичная масса.

2. Сушка. Полученная пластичная масса разливается по формам, где задается необходимая толщина и отправляется в машину для сушки. Толщина листа регулируется технологом.

3. Обрезка. Готовые пленки нарезаются и стандартизируются.

4. Дезинфекция. На этом этапе происходит обработка специальным раствором, либо прогонка через поток ультрафиолетовых лучей.

5. Упаковка. Готовые материалы складываются по партиям и пакуются в соответствующую упаковку. Далее, продукт отправляется на склад или прямо к заказчику [3].

Производственный процесс создания биополимерной крахмал-желатиновой матрицы для покрытий состоит из этапов смешивания и упаковки на дозировочном аппарате. В последующем потребитель самостоятельно наносит матрицу на продукт, в результате чего образуется защитная пленка.

Для организации производства необходимо приобретение смесителей-нагревателей, установи сушки, дозировочной системы, системы дезинфекции, компрессора воздуха и упаковочной системы. Помимо основного оборудования, технологическая линия включает и вспомогательные элементы.

Проведя обзор рынка промышленного оборудования, были выбраны по наиболее подходящие по своим характеристикам образцы оборудования, отвечающие требованиям: производительности, цены и энергоэффективности. В табл. 3 приведены планируемые к приобретению основные фонды.

Планируемые к приобретению основные фонды

Наименование	Цена ед. техники, тыс. руб.	Количество, ед.
Смеситель-нагреватель «MIXACO»	450,00	4
ИК сушильный шкаф «ИНФРАРЭД-56»	1292,00	5
Дозировочная система «SHINI SGB»	300,00	4
Система дезинфекции «Seko proklin»	630,00	3
Компрессор фоздуха «Almig BELT»	950,00	2
Упаковочная система «Простор-К»	430,00	2
ИТОГО	14110	-

Для оснащения административного ресурса планируется приобрести офисное оборудование и мебель на сумму 242 3 тыс. рублей.

Таким образом, на приобретение оборудования необходимы инвестиции в размере 163162,3 тысяч рублей. Амортизационные отчисления составят 13 597 тысяч рублей в год.

Общая потребность в финансировании проекта составляет порядка 200 миллионов рублей. При этом большая доля приходится на инвестиционную потребность - инвестиции в основные средства. Предполагается заключить соглашения с Фондом развития промышленности о сопровождении инвестиционного проекта и получение займа в сумме 50% от стоимости проекта (100 миллионов рублей) на 5 лет под 5% годовых. Остальная потребность в финансировании будет обеспечена внесением собственных средств инвесторами.

В первый год реализации проекта выплата по кредиту составит 20604,1 тысяч рублей. Наибольшая доля от кредитного платежа приходится на погашение основного долга. По мере выплаты процентов по кредиту размер кредитного платежа уменьшается. Окончание кредитных выплат приходится на 1 квартал 6 года функционирования предприятия.

Помимо экономических показателей эффективности проекта, также был рассчитан размер налоговых поступлений в региональный бюджет. Необходимость данного расчета обусловлена тем, что часть необходимых инвестиций для реализации проекта предполагается получить из бюджета Ленинградской области. Профиль налоговых отчислений представлен по пяти годам реализации проекта в табл. 4.

Таблица 4

Профиль налоговых отчислений за пятилетний период реализации проекта

Показатель	Прогнозный период					Всего
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
Налог на прибыль	6797	22691	24848	25077	25488	104901,0
Налог на имущество	2567,1	2294,1	2146,1	1998,1	945,1	9950,5
Транспортный налог	43,9	43,9	43,9	43,9	43,9	219,4
ИТОГО	9408	25029	27038	27119	26477	115070,9

В работе также был выполнен расчет прогнозного отчета о прибылях и убытках, прогнозный отчет и движении денежных средств. Чистая прибыль проекта в первый год реализации - 27190 тысяч рублей. Согласно прогнозным показателям, наблюдается стабильное увеличение прибыли на протяжении всего периода реализации проекта до

101951 тысяч рублей на 5 год реализации проекта.

Предполагается, что, благодаря установленной среднерыночной цене равной 2000 руб./кг, рентабельность продаж составит 67,7 % уже в первый год реализации проекта, с ее последующим возрастанием, обусловленным увеличением объемов реализации. Срок окупаемости проекта составит 2 года и 3 месяца. Чистая прибыль проекта в первый год реализации - 27190 тысяч рублей. Согласно прогнозным показателям, наблюдается стабильное увеличение прибыли на протяжении всего периода реализации проекта до 101951 тысяч рублей на 5 год реализации проекта.

Исходя из проведенных расчетов можно сделать вывод об экономической эффективности и коммерческой состоятельности проекта. Что может быть подтверждено дополнительно показателями финансовой реализуемости проекта (табл. 5) [5].

Несмотря на имеющиеся преимущества рассматриваемого бизнес-проекта создание предприятий данного вида деятельности и их функционирование сопряжено с определенными рисками. В частности, на успешность реализации проекта, величину чистой приведенной стоимости оказывают влияние такие факторы как изменения объема продаж, цен на продукцию переработки и производственные ресурсы, изменения величины переменных и постоянных затрат, ставки дисконтирования, ставки налога на прибыль и так далее. Кроме того, на результативность проекта влияет соблюдение срока ввода завода в эксплуатацию, что, в свою очередь, зависит от своевременности получения разрешительных документов, строительства площадки, приобретения и монтажа оборудования.

Таблица 5

Финансовая реализуемость проекта

Показатель, %	Прогнозный период				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Рентабельность продаж	67,7	67,8	67,8	67,8	67,8
ЕБИТ margin / Рентабельность по ЕБИТ	59,7	59,7	64,6	64,6	64,6
ЕБИТDA margin / Рентабельность по ЕБИТDA	66,5	66,5	71,4	71,4	71,4
Рентабельность активов	2,8	9,5	10,5	10,5	10,1
Рентабельность собственного капитала	5,4	16,2	15,4	14,2	11,2
Рентабельность инвестиционного капитала	2,9	10,1	11,3	11,8	10,6

Анализируя плановые финансовые показатели, следует отметить, что данный проект будет реализован с высокой эффективностью в случае совпадения запланированного и фактического объема продаж.

Таким образом, в результате проведенных исследований и расчетов можно прийти к выводу, что реализация проекта по организации производства биополимерной крахмал-желатиновой матрицы для покрытий и готовых съедобных пленок на ее основе экономически эффективна и коммерчески состоятельна.

Литература

1. Гольдаде В.А. Современные тенденции развития полимерной пленочной упаковки/ Гольдаде В.А. // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1, № 1. С. 63–71.
2. Захарова М.В., Успенская М.В., Подшивалов А.В. Исследование поведения эффективной вязкости водных растворов смеси картофельный крахмал/желатин с

- добавкой пластификаторов глицерина и сорбита / Захарова М.В., Успенская М.В., Подшивалов А.В. // Химическая промышленность сегодня. 2020. № 2. С. 30-35.
3. Патент №RU2649981С1. Российская Федерация МКП А23В 4/10. Состав биодegradуемой полимерной композиции для обработки пищевых продуктов / Подшивалов А.В., Захарова М.В., Успенская М.В., Самуйлова Е.О.; правообладатель, заявитель: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственная Фирма "СмартМатериалы". № 2017120355; заявл. 09.06.2017. опубл. 06.04.2018.
 4. Бронникова Т.С. Разработка бизнес-плана проекта [Текст] / Бронникова Т.С. М.: Альфа-М. Инфра-М. 2015. 224 с.
 5. Лапыгин Ю.Н. Бизнес-план: стратегия и тактика развития компании [Текст] : практ. пособие / Лапыгин Ю.Н. М.: Изд. Омега-Л. 2010. 350с.

Волкова Алина Владимировна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42774,

направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,

e-mail: alin.volckova2010@yandex.ru

Андреев Юрий Сергеевич

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: yandreev@itmo.ru

УДК 004.946

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ
ИНСТРУКЦИЙ ПО РАБОТЕ И ОБСЛУЖИВАНИЮ
ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

А.В. Волкова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.С. Андреев

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

Аннотация

В работе предложена методика создания инструкций по работе и обслуживанию высокотехнологичного оборудования с использованием инструментов виртуальной реальности. Проведена апробация предлагаемой методики на профилемере Hommel Werke T8000, что позволяет использовать инструкцию в учебных целях.

Промышленные предприятия являются перспективными объектами для внедрения технологий виртуальной реальности. Одним из важнейших сценариев применения таких технологий является обучение персонала на производстве. В настоящее время технологии виртуальной реальности внедряются для повышения эффективности обучения. Создание инструкций по эксплуатации оборудования с использованием технологий виртуальной реальности позволит снизить трудоемкость и сложность освоения учебного материала. Вследствие этого возрастает результативность процесса обучения, сокращаются затраты времени. Применение виртуальных туров позволяет сфокусировать внимание на определенных темах и повысить мотивацию к обучению в целом. Применение технологий виртуальной реальности в процессе обучения существенно повышает производительного процесса, а возможность проведения интерактивных опросов позволяет сделать выводы об усвоении предоставленного материала. Важным аспектом является экономическая эффективность: устройства виртуальной реальности существенно дешевле, чем специализированные обучающие стенды. Также погружение в виртуальную производственную среду позволяет не подвергать жизнь и здоровье обучающегося опасности [1-5].

Целью данной работы является разработка инструкций по эксплуатации высокотехнологичного оборудования с использованием инструментов виртуальной реальности. Для достижения данной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести анализ существующих методов технологических инструкций;
- разработать методику создания виртуальных инструкций по работе с оборудованием;
- изучить устройство и принцип работы профилометра Hommel Werke T8000;
- изучить и описать программное обеспечение Uptale;
- описать предлагаемую методику формирования виртуальных технологических инструкций;
- подготовить исходные данные для формирования инструкций, создать сценарий инструкций;
- провести апробацию предлагаемой методики.

При анализе существующих методов оформления инструкций по работе и обслуживанию оборудования был сделан вывод о том, что использование общепринятых методов создания инструкций (бумажный и электронный вид) является неудобным для изучения. Бумажные инструкции недолговечны, часто теряются, а электронный формат является не таким информативным и понятным для восприятия.

Оборудование поставляется в комплекте с инструкциями по обслуживанию и эксплуатации в бумажном варианте. Данный метод представления информации в современном мире теряет свою актуальность по следующим причинам:

- сложность учета и сложность поиска необходимой инструкции в бумажном виде,
- бумага недолговечна и имеет свойство портиться, что приводит к потере информации,
- большой расход бумаги и времени при тиражировании информации на бумажных носителях,
- одновременно пользоваться инструкцией может только один сотрудник,
- большие затраты на содержание и хранение по причине физического большого объема документов,
- не исключаются стихийные бедствия, например, пожар, который может уничтожить безвозвратно всю документацию предприятия.

Для решения некоторых вышеперечисленных недостатков использования бумажного метода хранения инструкций предприятия переводят технологические инструкции в электронный формат. Таким образом, происходит решение проблем параллельного доступа к инструкциям у нескольких сотрудников, проблема поиска необходимой инструкции, проблема хранения. Но все же хранение инструкций в электронном формате так же имеют недостатки, так как инструкции в электронном формате часто предполагают такой подачи материала, который позволяет за адекватное с точки зрения производства время обучить сотрудника и позволить приступить к исполнению трудовых функций.

Использование виртуальной реальности в создании технологических инструкций является более наглядным, погружение в виртуальную среду позволяет сконцентрироваться на процессе обучения, подробная визуализация каждого процесса позволяет улучшить усваиваемость предоставляемой информации. Было отмечено, что VR обеспечивает безопасные условия обучения и повышает его эффективность за счет визуального погружения и обнаружения всех видов проблем. Кроме того, применение такого рода симуляций для инструкций по работе с оборудованием положительно скажется на понимании рисков и мер по их устранению.

Методика создания инструкции в виртуальной реальности основана на последовательном выполнении следующих этапов:

- 1 этап: Формированием и утверждение технического задания,
- 2 этап: Разработка сценария,
- 3 этап: Подготовка и техническая обработка материалов,

- 4 этап: Реализация VR инструкции в программном обеспечении.

Предлагаемая методика апробируется на создании инструкции по профилометру Hommel Werke T8000. Для реализации виртуальной инструкции было использовано программное обеспечение Urtale, выбор программного обеспечения был обусловлен его наличием. При анализе других продуктов для реализации виртуальных проектов было установлено, что при использовании других систем внесения изменений в предлагаемую методику не потребуется.

Процесс работы над проектами начинается с создания и утверждения технического задания. При создании VR туров необходимо разработать сценарии для каждого из проектов. В данной работе сценарии представлены в формате документов Excel, где в каждом из разделов располагается определенная часть описания проекта. Изначально необходимо привести описание проекта, сформировать его цели и задачи.

На первом этапе создания оборудования в VR необходимо произвести анализ оборудования со стороны формирования технического задания (изучить область применения и принцип работы). Так для апробации методики на профилометре Hommel Werke T8000 техническое задание представляется в виде описания следующих процессов: устройства профилометра, инструкции по эксплуатации и проводимым измерениям.

Следующим этапом является описание маршрутов пользователя, по которым он может передвигаться в зависимости от преследуемых целей работы с оборудованием. На этапе проектирования данных маршрутов необходимо учитывать для кого создается данный проект – определение целевой аудитории сводится к тому, что преимущественно большая часть будущих пользователей данного проекта будут испытывать VR эффект погружения в такую среду в первый раз. Описание маршрутов представляется блок-схемами (рис. 1).

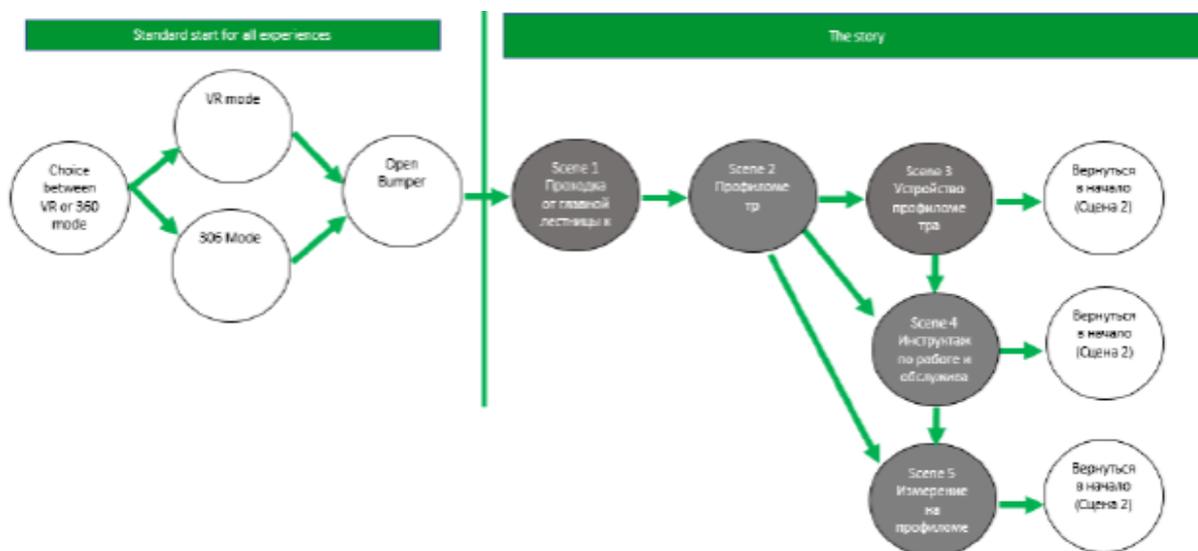


Рис. 1. Блок-схема описания маршрута

Данная блок-схема является базой для написания сценариев виртуальных туров и определения мест съемки материалов: фото и видео 360

Для создания блок-схемы проекта используются условные обозначения (рис. 2):

- серый круг – сцена базируется на фотографии 360,
- черный круг – сцена базируется на видео 360,
- белый круг – сцена базируется на пустом пространстве,
- зеленая стрелка – элемент управления перехода между сценами.

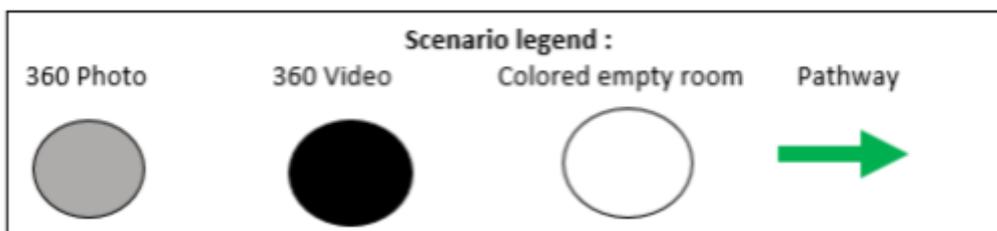


Рис. 2. Условные обозначения для создания блок-схемы

Проводится сбор исходных данных Фото, видео формата 360, 2D фото, видео, Аудио сопровождение сцен, дополнительная текстовая информация, тестовые вопросы. Важно создать интуитивно-понятную навигацию и последовательный процесс прохождения обучения с оборудованием, а также возможность возвращения в прошлые сцены для повторного ознакомления с материалом.

Далее создается сценарий (рис. 3), который каждой своей сценой отражает новый блок информации. Сценарий проекта – это полное описание всех сцен, информация обо всех элементах управления сценой, описание всех данных, которые присутствуют внутри каждой сцены.

Сцена 0							
Описание сцены: Вступительная сцена							
Расшифровка							
Имя	Медиа	Элемент управления сценой	Событие и описание	Позиция	Когда появится	Когда исчезнет	Куда ведет
Сцена 0	Image 360	Маркер переключения к сценам 1,2,3	Вводная информация по профилю Hottel Etatic T8000	Фронтальная часть оборудования	При запуске инструкции	После выбора одного из 3-х маршрутов	3 маршрута (устройство, оборудование, инструкция, вводный, измерение)
аудио 0-1	Audio		Вступительное слово Hottel Etatic T8000 - это лабораторный прибор для контроля шероховатости и кривизны поверхности. Предназначен для определения большинства параметров шероховатости по действующим в настоящее время стандартам и расчет специальных параметров. Модульная конструкция прибора позволяет максимально точно подобрать комплектацию прибора с учетом задач заказчика и производить одновременные измерения шероховатости и профиля поверхности. Обеспечивает хранение неограниченного числа коммерческих программ и прототипов.	Над позицией слушателя	При запуске сцены сцены	После выбора маршрута	
Info		Информационный тег 0-0 Смена локации	Краткая выдержка основной информации для визуального восприятия Возможность перейти к сценам 1, 2, 3		При нажатии на тег	При повторном нажатии на тег	сцена 1,2,3

Рис. 3. Пример заполнения сценария

Данные для сценария:

1. Название сцены.
2. Элементы управления сценой («дверь» – это тег, который осуществляет переход от сцены к сцене, тег с дополнительной информацией текстового, голосового формата, изображения 2D, видео 2D, объект 3D, тест на определение усвоения полученной информации, настраиваемый маркер).
3. Медиа (фото и видео формата 360, изображение, аудио или объект 3D).
4. Событие и описание (Описание события и комментариев по съемке данной сцены, описание закадрового голоса).
5. Позиция (описание локации съемки).
6. Время появления сцены.
7. Время исчезновения сцены.

8. Определение следующего действия программы (запуск следующего тега или сцены).

Следующим этапом является реализация инструкции с использованием инструментов виртуальной реальности в программном обеспечении Uptale.

Описанная в работе методика создания инструкций является новым решением по созданию обучающих инструкций по эксплуатации оборудования. Разработанная методика апробирована на примере создания инструкции по работе на профилометре Hommel Werke T8000, что позволяет использовать результаты в учебном процессе. Данную методику можно применять при обучении сотрудников предприятия, проведения клиентских туров в маркетинговых целях, проведении тренингов по технике безопасности.

Литература

1. Uptale. Платформа для создания проектов иммерсивного обучения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.uptale.io/en/home/>. Дата обращения: 14.01.2021.
2. Стационарная измерительная станция Hommel-ETamic T8000 от компании Jenoptik [Электронный ресурс]. Режим <http://www.metrologi.ru/production/roughness/contour/item/1700-hommel-etamic-t8000>. (Дата обращения: 12.12.2020).
3. ГОСТ 3.1105-2011. Единая система технологической документации (ЕСТД). Формы и правила оформления документов общего назначения. М.: Стандартинформ. 2012. 24 с.
4. Иванова А.В. "Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения." Стратегические решения и риск- менеджмент. 3. 108. 2018.
5. Google Cardboard. Простое и доступное решение для погружения в виртуальную реальность. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arvr.google.com/cardboard/>. (Дата обращения: 10.01.2021).

Вольф Маргарита Николаевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

магистрант,

направление подготовки: 27.04.01 – Стандартизация и метрология,

e-mail: volf1996-96@mail.ru

Кустикова Марина Александровна

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н, доцент,

e-mail: makustikova@itmo.ru

УДК 004.925.8

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ
ИСПЫТАНИЙ АДДИТИВНЫХ ЗАГОТОВОК
ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

М.Н. Вольф

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова

Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

Аннотация

На морском судне располагается холодильная установка, в которой в качестве рабочего вещества используются фреоны. Отказ компонентов холодильной установки может подвергнуть опасности холодильную установку, оператора, продукт охлаждения или окружающую среду. Наличие на морском судне 3D-принтера позволило бы спроектировать и изготовить вышедшую из строя деталь, а также сократить объемы запасных деталей на судне корабля. Но перед тем, как вводить изготовленную деталь в эксплуатацию, необходимо убедиться в её функциональных возможностях. Именно поэтому необходимо разработать методику испытаний аддитивных заготовок деталей для судостроительной промышленности.

Ключевые слова

Аддитивные технологии, стандартизация, инновации, производство, методика.

Аддитивное производство (АП) включает набор новых технологий, позволяющих создавать трехмерные объекты непосредственно из цифровых моделей с помощью аддитивного процесса, обычно путем нанесения последовательных слоев полимеров, керамики или металлов. Процессы аддитивного производства могут использоваться для изготовления прототипов, инструментов и полностью функциональных конечных деталей (ISO 17296-2, 2015). В отличие от традиционных производственных процессов, технология АП связывает материалы вместе для создания конечных продуктов разнообразными методами сплавления. Многочисленные процессы аддитивного производства различаются в зависимости от материалов и методов формирования слоя и плавления слоев, которые они используют [1].

Одним из важных аспектов АП является то, что существует очень быстрый переход от концепции к производству, что позволяет быстрее создавать прототипы. Однако АП по-прежнему сдерживает неопределенность механических свойств готовых деталей, в

связи с отсутствием необходимых стандартов.

Стандарты могут быть особенно важны для развивающихся и высокотехнологичных отраслей, таких как АП, поскольку они обеспечивают фундаментальный элемент, на котором может быть построена отрасль. Стандарты необходимы для того, чтобы «правила игры» устанавливались и соблюдались всеми заинтересованными сторонами. Например, в производстве стандарты часто имеют важное значение, поскольку они определяют параметры, которые должны соблюдаться для выпуска качественного продукта [2]. Сырье, оборудование, инструменты, операторы оборудования и инженеры, поставщики и сам производственный процесс – все они нуждаются в стандартах и механизме квалификации и сертификации по этим стандартам, чтобы производить детали с требуемым качеством.

Текущая ситуация в области стандартизации этого вида инновационной продукции, изготовленной с применением аддитивных технологий (АТ), оценивается экспертами как отправная точка для отрасли аддитивного производства. Несмотря на положительные тенденции в направлении процессов разработки отраслевых стандартов, а именно привлечение большого количества комитетов и компаний, ответственных за этот вопрос за рубежом, создание множества нормативных документов и развитие технологических процессов – задача глобального регулирования АТ. Очевидно, что ведущие экономические державы и страны с развитой экономикой мира, такие как США, Китай, Англия, Германия и другие, в настоящее время являются лидерами в стандартизации аддитивных технологий, поскольку, во-первых, они внесли ключевой вклад в становление АТ в мире, а во-вторых, они являются инициаторами процессов стандартизации этого рынка [3].

На данный момент в Российской Федерации ни одна из составляющих производства с использованием аддитивных технологий не подлежит обязательному подтверждению соответствия. Это означает, что зачастую заказчик не уверен в качестве продукции и не может сослаться на нормативно-правовую базу в данном вопросе. Это порождает массу проблем, в связи с чем развитие аддитивных технологий и выход их в массовое использование осложнено. Однако заявителю нужны доказательства соответствия качества продукции установленным требованиям, и он предъявляет самые жесткие требования к соответствию технических показателей и безопасности деталей. Именно поэтому возник вопрос разработки программы и методики испытаний аддитивных заготовок для судостроительной области.

Программа и методика испытаний (ПМИ) — это технический документ, который формализует этап тестирования продукта или образца. Документ предназначен для определения параметров, обеспечивающих выявление причин отказа, показателей качества, соответствия различным требованиям, рассмотрения и сохранения проектных решений.

Согласно действующему ГОСТ 19.301-79 «Единая система программной документации. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению» структура ПМИ должна содержать следующие разделы:

1. Объект испытаний. В разработанной программе и методике испытаний объектом испытаний являются аддитивные заготовки, полученные путем прямого лазерного сплавления порошков сталей и сплавов. Условное обозначение объекта испытаний – аддитивные заготовки.

2. Цели и задачи проведения испытаний. В общем виде основной целью является тестирование образца. Фактически, целью испытания считается прохождение заготовкой, обозначенных видов испытаний. Целью проведения испытаний для разработанной методики является проверка функциональных возможностей аддитивных заготовок на соответствие техническому заданию Заказчика и принятие решения о

целесообразности её применения по назначению, то есть ввода в эксплуатацию. Для того, чтобы достигнуть поставленную цель необходимо выполнить ряд следующих задач:

- подготовить оборудование и аддитивные заготовки для проведения испытаний, согласно нормативной документации;
- провести тестирование функциональных возможностей аддитивных заготовок, согласно разработанной программы и методике испытаний;
- подготовить протокол с результатами испытаний.

3. Общие положения. В данном разделе указан перечень руководящих документов, а также место и продолжительность испытаний. Так как программа и методика испытаний распространяется на аддитивные заготовки деталей судового машиностроения, изготовленные из порошковых сталей и сплавов по технологии прямого лазерного выращивания, то необходимо учитывать требования ГОСТ Р 59130-2020 «Аддитивные технологии. Подтверждение качества и свойств изделий для судостроения и морской техники» и ГОСТ Р 59038-2020 «Аддитивные технологии. Подтверждение качества и свойств металлических изделий», вступившие в силу 1 июня 2021 года и 1 марта 2021 года соответственно.

Испытания, согласно ПМИ, должны проводиться на территории Исполнителя (то есть юридического/индивидуального лица или компании, проводящей испытания), если другое не предусмотрено в техническом задании. Продолжительность испытаний также определяется техническим заданием.

4. Объем испытаний. В разделе описаны испытания, которым должны подвергнуться аддитивные заготовки под техническим наблюдением Заказчика. Ниже приведена таблица с видами определяемых характеристик и видами материалов (судостроительные стали, коррозионностойкие стали и титановые сплавы).

Таблица

Виды испытаний аддитивных заготовок

Определяемые характеристики	Виды материалов		
	Судостроительные стали	Коррозионностойкие стали	Титановые сплавы
Химический состав	+	+	+
Механические свойства при 20 °С:			
- временное сопротивление R_m	+	+	+
- предел текучести $R_{0,2}$	+	+	+
- относительное удлинение A_5	+	+	+
- относительное сужение Z	+	+	+
То же при температуре эксплуатации	+	+	+
Ударная вязкость при комнатной температуре	+	+	+
Ударная вязкость при отрицательной температуре	+	+	+
Контроль микроструктуры	+	+	+
Стойкость к межкристаллитной коррозии	-	+	-
Стойкость к питтинговой и щелевой коррозии	-	+	-
Неразрушающий контроль	+	+	+

При этом аддитивные заготовки предъявляются к испытаниям партиями или поштучно, в зависимости от технического задания.

Партия должна состоять из аддитивных заготовок одного наименования и сортамента, изготовленных из одной марки стали, при одинаковых технологических параметрах процесса прямого лазерного выращивания, термическая обработка проведена в одной садке, если не оговорено иное.

Для партии, состоящей не более чем из 20 штук аддитивных заготовок размером не более 500х500х500 мм – пробы отбираются от одной заготовки из партии.

Как правило, из каждой пробы изготавливают:

- для контроля химического состава – по одному образцу;
- для испытаний на растяжение - по одному образцу;
- для определения ударной вязкости - по три образца;
- для испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии - четыре образца, два из которых контрольные;
- для контроля макроструктуры - не менее одного образца.

Аддитивные заготовки, предназначенные для применения при отрицательных температурах, представляются к испытаниям поштучно.

Объем испытаний может быть увеличен по требованию Заказчика.

5. Критерии приема. Решение о соответствии аддитивных заготовок требованиям, указанным в техническом задании, принимается Заказчиком на основании Протокола испытаний.

6. Условия и порядок проведения испытаний. В разделе приводятся условия проведения испытаний (нормальные климатические условия), меры по обеспечению безопасности проведения испытаний, порядок взаимодействия Заказчика и Исполнителя, требования к персоналу, проводящему испытания, а также порядок проведения испытаний.

Порядок проведения испытаний зависит от видов испытаний, указанных в таблице, и включает следующие операции:

- 1) внешний осмотр аддитивной заготовки на отсутствие на поверхности царапин, задиrow и механических повреждений, которые могут оказать влияние на результаты испытаний;
- 2) подготовка аддитивных заготовок к проведению испытаний;
- 3) настройка оборудования разрушающего и неразрушающего контроля к проведению испытаний;
- 4) проведение испытаний, согласно видам испытаний, указанных в таблице;
- 5) оформление результатов испытаний в Протокол испытаний.

7. Отчетность. По результатам испытаний должны быть составлен и подписан Протокол испытаний, включающий в себя: дату проведения испытаний, наименование аддитивной заготовки, характеристики аддитивной заготовки, условия проведения испытаний, средства испытаний, внешний осмотр, результаты испытаний и выводы по результатам испытаний.

В рамках данной работы была разработана программа и методика испытаний, распространяющаяся на аддитивные заготовки деталей судового машиностроения, изготовленные из порошков сталей и сплавов по технологии прямого лазерного выращивания. Программа и методика испытаний является документом для оценки функциональных возможностей аддитивных заготовок, согласно которому можно принять решение о целесообразности введения изготовленной детали в эксплуатацию.

Литература

1. Довбыш В.М. Аддитивные технологии и изделия из металла / Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А. // Библиотечка литейщика. 2014. № 9. С. 14-71.
2. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета 2013. 221 с.
3. Conti P., Cianetti F., Pileri P. Parametric Finite Elements Model of SLM Additive Manufacturing process. 2017.

Галкина Дарья Алексеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R42384,

направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управление,

e-mail: darja.galkina@gmail.com

Борисов Олег Игоревич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

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

e-mail: borisov@itmo.ru

УДК 681.5.013

**УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ
С НАЛИЧИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ**

Д.А. Галкина

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Борисов

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

Аннотация

В работе рассмотрено применение робастного алгоритма управления одним объектом на основе наблюдателя с высоким коэффициентом усиления с целью синтеза алгоритма группового управления. В качестве подхода к организации структуры взаимодействия между роботизированными объектами, образующими мультиагентную систему, использовался графо-аналитический метод. При помощи компьютерного моделирования была продемонстрирована эффективность работы полученной системы управления.

Ключевые слова

Мультиагентные системы, групповое управление, робастное управление, неопределенности, теория графов, децентрализованное управление, стабилизация положения.

На протяжении последнего десятилетия можно отметить положительную тенденцию по внедрению роботизированных технологий в повседневную жизнь людей. Начиная с ликвидации последствий катастроф и аварий и промышленности, заканчивая индустрией развлечений и работами в сельском хозяйстве, – каждая из этих областей уже была подвержена роботизации в той или иной степени.

Однако, применяя для подобных целей одного робота, независимо от его способностей, следует понимать, что вероятность успешного выполнения задачи будет сравнительно ниже по сравнению с задействованием группы роботов (агентов), составляющих вместе мультиагентную систему (МАС). Это обусловлено возможностью наращивания радиуса действия системы путем распределения ее агентов по рабочей области, что приведет к повышению скорости выполнения задачи, расширением функционала группы за счет оснащения агентов исполнительными устройствами различного назначения. В том числе, определенные виды МАС отличаются высокой живучестью ввиду возможности перераспределения целей между агентами в случае

выхода из строя некоторых из них. Все вышперечисленное позволяет обосновать актуальность данной темы исследований.

Несмотря на то, что в области изучения методов организации МАС уже существует достаточно большое количество трудов, основное внимание в них уделено системам с агентами, чьи параметры полностью известны и измеримы. В то время как методы синтеза систем управления с наличием неопределенностей в подавляющем большинстве ранее не использовались при построении МАС.

Из этого следует, что исследования в рамках данной работы посвящены развитию алгоритмов управления группами, чьи агенты обладают неопределенностями. Научная новизна работы заключается в исследовании возможности применения ранее разработанных методов из [1] для организации группового управления.

Для синтеза МАС применялся графо-аналитический метод на базе теории графов и геометрических построений [2]. Сегодня методы такого типа пользуются достаточно большой популярностью, поскольку позволяют наглядно продемонстрировать структуру взаимодействия между агентами внутри системы. С целью визуализации этой структуры обычно применяется граф формации, чьи узлы представляют агентов системы, а ребра – направления связей между ними. В качестве математического описания этих связей применяется матрица связей или лапласиан L :

$$L = I - G, \quad (1)$$

где I – единичная матрица, а G – матрица смежности, сформированная по правилу

$$\begin{cases} G_{ij} = \frac{1}{d_0(\alpha_i)}, & d_0(\alpha_i) \neq 0 \\ G_{ij} = 0, & d_0(\alpha_i) = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где $d_0(\alpha)$ – количество дуг, выходящих из вершины α .

Исходя из всего вышенаписанного, в рамках исследования были сформулированы следующие задачи.

Задача 1. Необходимо организовать синтез закона управления МАС, чтобы выполнялась цель управления:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_i(t) - y_j(t)| = 0, \quad i, j = 1, \dots, N, \quad (3)$$

где N – количество агентов, y_i – выходной сигнал i -го агента.

Задача 2. Использовать графо-аналитический метод для построения системы управления МАС с использованием классического ПИД-регулятора.

Задача 3. Использовать графо-аналитический метод для построения системы управления МАС с задействованием робастного алгоритма управления на базе расширенного наблюдателя с высоким коэффициентом усиления.

Также предполагаются допущения:

– граф не имеет петель, т.е. из одной вершины не может одновременно выходить и входить одно и то же ребро;

– канал связи между агентами идеальный.

В соответствии с теоремой об устойчивости МАС, система будет являться полностью устойчивой при условии, что устойчивыми будут все ее агенты. Поэтому сначала были организованы системы управления агентами МАС в отдельности. В качестве модели, описывающей агента, было решено применить результаты, полученные

в работе по управлению квадрокоптером [3]:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= (g + u_0) \sin \theta \cos \psi, \\ \ddot{y} &= -(g + u_0) \sin \psi, \\ \ddot{z} &= (g + u_0) \cos \theta \cos \psi - g, \\ \ddot{\theta} &= u_1, \\ \ddot{\psi} &= u_2,\end{aligned}\tag{4}$$

где x, y, z – декартовы координаты центра масс, θ, ψ – углы Эйлера, характеризующие положение квадрокоптера, g – ускорение свободного падения.

Поскольку главной целью исследования является организация синтеза управления для систем с неопределенностями, в модели (4) углы крена и тангажа, θ и ψ соответственно, являются неизмеримыми.

Так как управление квадрокоптера строится из управления по вертикали и по горизонтали отдельно, для реализации первого применялся стандартный ПД-регулятор с насыщением, а для второго – сначала классический ПИД-регулятор, затем робастный алгоритм.

На основе выражения вертикального движения из (4) было получено условие устойчивого положения аппарата по вертикали:

$$\ddot{z} = (g + sat_L(-r_0 z - r_1 \dot{z})) \cos \theta \cos \psi - g,\tag{5}$$

где $r_0 z$ – пропорциональный контур, $r_1 \dot{z}$ – дифференциальный контур, sat_L – функция насыщения, где $L = \alpha g, \alpha < 1$.

С целью организации управления по горизонтали, была выполнена замена координат для перехода к системе в нормальной форме. Такая система повторяет динамику исходного объекта, при этом представляется в наиболее удобном для восприятия виде, что позволяет упростить процедуру выбора структуры регулятора. После чего, учитывая, что в модели агента присутствуют неопределенности, была проведена линеаризация системы по обратной связи при помощи номинального закона управления (6).

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = B^{-1}(\theta, \psi) \begin{pmatrix} -q_1(\theta, \dot{\theta}, \psi, \dot{\psi}) + K\xi_1 \\ -q_2(\psi, \dot{\psi}) + K\xi_2 \end{pmatrix},\tag{6}$$

где q_1, q_2 – функции, содержащие члены с неопределенностями, $K = [-k_1 \quad -k_2 \quad -k_3 \quad -k_4]$, $B(\theta, \psi)$ – матрица вида:

$$B(\theta, \psi) = \begin{pmatrix} g \cos \theta \cos \psi & -g \sin \theta \sin \psi \\ 0 & -g \cos \psi \end{pmatrix}.$$

Такой закон является нереализуемым, но в то же время демонстрирует свойства устойчивости рассматриваемой системы в идеальных условиях. Ввиду большого количества математических преобразований вышеупомянутые операции в тексте данной статьи не приводятся, однако представлены в разделе 4 полноформатной ВКР.

Удостоверившись, что рассматриваемая система агента будет устойчива при номинальном законе управления, становится возможным переход к составлению

реализуемых версий закона управления.

Таким образом, для организации синтеза управления в горизонтальной плоскости в первом случае применялся классический ПИД-регулятор:

$$u_{PID}(t) = K_p \varepsilon(t) + K_I \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} \varepsilon, \quad (7)$$

где K_p, K_I, K_d – пропорциональный, интегральный и дифференцирующий коэффициенты, соответственно, ε – ошибка регулирования для сигналов:

$$\varepsilon_x = x_{ref} - x_i(t), \quad \varepsilon_y = y_{ref} - y_i(t).$$

Такой тип регулятора используется в случаях необходимости улучшения как точности обработки системы в установившемся режиме, так и вида переходного процесса.

Вид закона управления (8) при синтезе управления по горизонтали на основе робастного алгоритма управления был мотивирован структурой системы в нормальной форме:

$$\begin{pmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \end{pmatrix} = \bar{B}^{-1} \begin{pmatrix} K \hat{\xi}_1 - \sigma_1 \\ K \hat{\xi}_2 - \sigma_2 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

Главным отличием от номинального закона (6) является замена недоступной для вычислений матрицы B на ее фиксированный эквивалент \bar{B} .

Другое отличие заключается в замене недоступных функций $q_1(\theta, \dot{\theta}, \psi, \dot{\psi})$ и $q_2(\psi, \dot{\psi})$ на их оценки σ_1 и σ_2 соответственно, а также ξ_i на $\hat{\xi}_i$.

Далее был предложен закон управления для синтеза наблюдателя вида:

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{sat}_N(\hat{u}_1) \\ \text{sat}_N(\hat{u}_2) \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где N – настроечный параметр.

Получив устойчивые системы управления одним агентом в двух разных случаях, было организовано управление для МАС, состоящей из четырех таких агентов.

Граф структуры формации системы представлен на рис. 1:

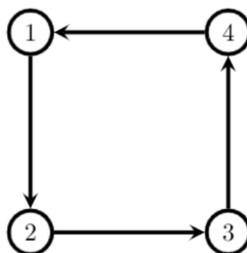


Рис. 1. Граф формации создаваемой МАС

Стрелки указывают направление информационных потоков в системе, т.е. траектория первого агента будет являться опорным сигналом для второго и т.д. Основываясь на этом, были сформированы выражения взаимодействия агентов разрабатываемой МАС:

$$y_i^*(t) = y_{i-1}(t) - y_i(t), \quad i = 1, \dots, N.$$

С их помощью была установлена связь между входами и выходами МАС, на основе которой составлена математическая модель системы, использованная при моделировании:

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_N(t) \end{bmatrix} = W_a(s)L \begin{bmatrix} y_1^*(t) \\ y_2^*(t) \\ \vdots \\ y_N^*(t) \end{bmatrix}. \quad (10)$$

где $W_a(s) = \frac{kR(p)}{Q(s)}$ – передаточная функция агента, $s = j\omega$ – комплексная переменная.

На основе полученной математической модели (10) в Matlab Simulink была составлена схема моделирования (рис. 2).

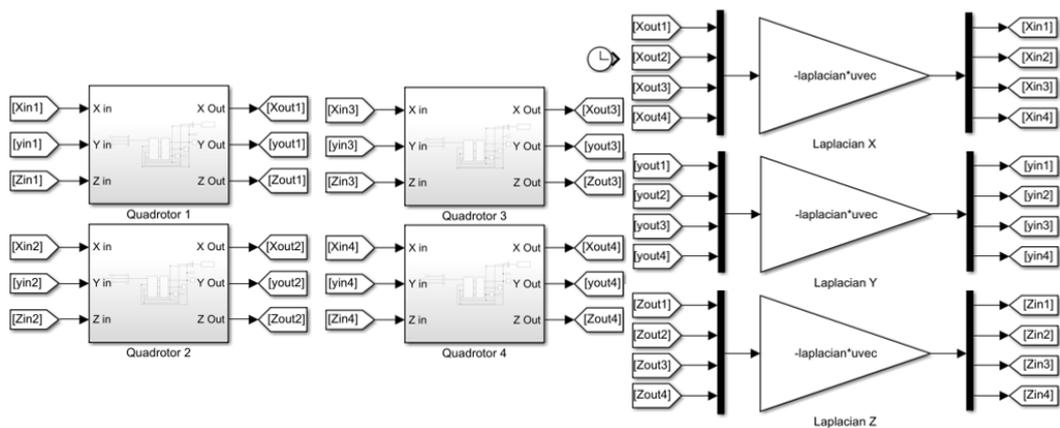


Рис. 2. Схема моделирования МАС

С ее помощью обе системы были проверены на устойчивость путем отклонения траектории движения агентов от положения равновесия. Для этого агентам были заданы ненулевые начальные условия, представленные в таблице.

Таблица

Начальные условия для агентов МАС

№ агента	МАС с ПИД-регулятором			МАС с робастным алгоритмом		
	x_0	y_0	z_0	x_0	y_0	z_0
1	-4.15	4.29	3.53	1.79	1.55	-2.23
2	-2.38	2.30	1.22	2.58	-3.29	-4.54
3	3.01	-0.11	-1.49	2.43	2.06	-4.03
4	-4.71	0.79	0.13	-1.08	-4.68	3.23

На рис. 3 приведены результаты моделирования для системы с ПИД-регулятором, на рис. 4 – для системы с робастным алгоритмом. На обоих рисунках левый верхний график отображает координатную стабилизацию одного агента, оставшиеся три – стабилизацию МАС из четырех агентов по каждой из осей в отдельности.

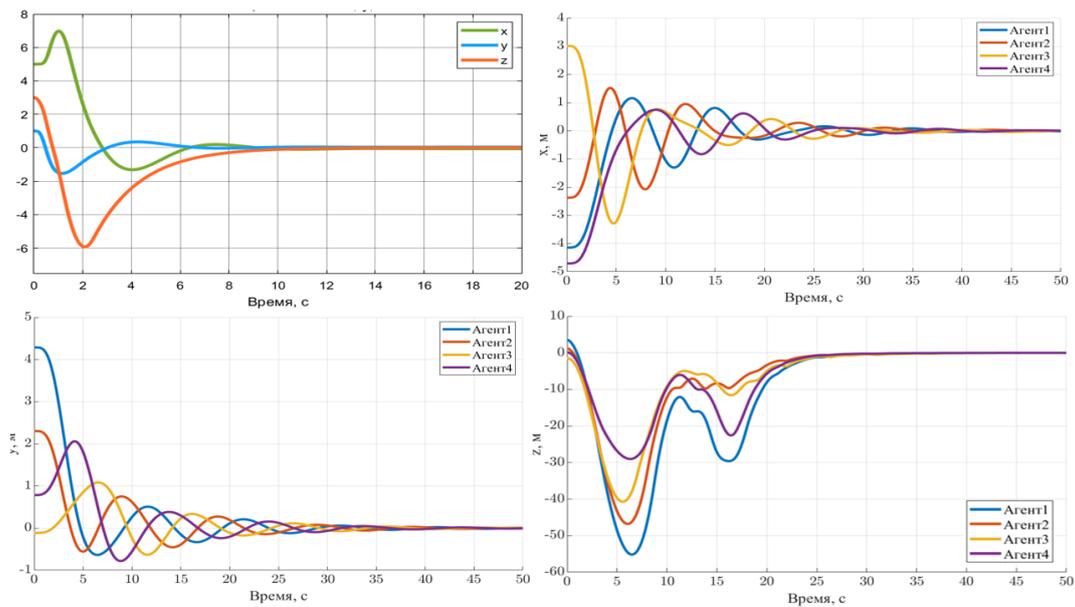


Рис. 3. Графики стабилизации положения агентов системы с ПИД-регулятором

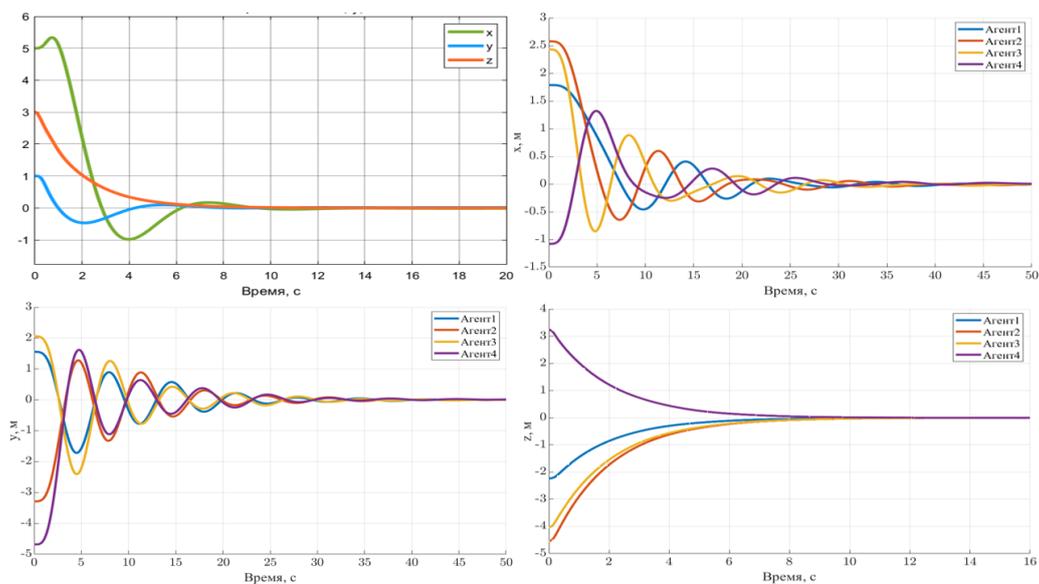


Рис. 4. Графики стабилизации положения агентов системы с робастным регулятором

По результатам моделирования, были сформулированы следующие выводы. Системы управления одним объектом значительно проще реализуются при помощи ПИД-регулятора по сравнению с методом робастной стабилизации, даже при наличии неопределенностей. Однако, в рамках группового управления метод с ПИД-регулятором показывает себя хуже, хотя справляется с задачей стабилизации.

В дальнейшей работе планируется расширить исследования в данной области путем добавления в систему задержек в канале связи.

Литература

1. Бобцов А.А., Николаев Н.А. Синтез управления нелинейными системами с функциональными и параметрическими неопределенностями на основе теоремы Фрадкова // Автоматика и телемеханика. 2005. № 1. С. 118 – 129.

2. Пшихопов В.Х. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах. М.: ФИЗМАЛИТ. 2015. 305 с.
3. Borisov O.I., Pyrkin A.A., Isidori A. Application of Enhanced Extended Observer in Station-Keeping of a Quadrotor with Unmeasurable Pitch and Roll Angles // 11th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems. 2019. Vol. 52. P. 837 – 842.

Горячева Дарья Игоревна

Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
студент группы № Т42131,
направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,
e-mail: dashechkag@mail.ru

Костин Антон Алексеевич

Год рождения: 1987
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
к.х.н., доцент (квалификационная категория "доцент практики"),
e-mail: egresso@yandex.ru

УДК 05.18.07

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ЛИШАЙНИКОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ
ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ**

Д.И. Горячева

Научный руководитель – к.х.н., доцент А.А. Костин

Аннотация

Решением проблемы поиска альтернативы материалам из нефтепродуктов для упаковки пищевых продуктов могут стать биоразлагаемые плёнки с антимикробным действием. Для создания таких пленок, в рамках проделанной работы были исследованы и оптимизированы условия получения биоразлагаемых линейных полиэфиров микробиологического происхождения - полигидроксиалканоатов (ПГА) и природного соединения – усниновой кислоты. Было подтверждено, что созданные пленки, на основе ПГА и усниновой кислоты обладают антибактериальной активностью.

Ключевые слова

Полигидроксиалканоаты, усниновая кислота, биополимеры, антибактериальная упаковка, биоразлагаемые пленки.

Важной задачей пищевой промышленности является сохранение качества и продление срока годности пищевых продуктов. С пищевыми патогенами, представляющими опасность для здоровья потребителей, можно бороться с помощью антибактериальной упаковки. С другой стороны, актуальным является вопрос негативного воздействия на окружающую среду неразлагаемых упаковочных материалов, получаемых из нефтепродуктов. Решением этих проблем может стать создание биоразлагаемых антибактериальных плёнок на основе биополимеров, полученных из сырья и отходов пищевой промышленности.

Одними из наиболее перспективных материалов для замены синтетических пластмасс являются полигидроксиалканоаты (ПГА), представляющие собой термопластичные биоразлагаемые линейные полиэферы микробиологического происхождения. Механические свойства ПГА изменяются в зависимости от структуры и количества атомов углерода мономеров. ПГА состоящие из среднецепочечных мономеров (содержат 6–14 атомов углерода) являются более перспективными материалами в виду лучших механических свойств.

Антибактериальная активность упаковок достигается путем добавления антимикробного агента в полимерную пленку для предотвращения роста и подавления активности опасных для пищи микроорганизмов. Сообщения об успешном создании и использовании плёнок с наночастицами металлов или их оксидов уже активно появляются в научном мире, однако более экологичным решением было бы использование природных веществ, например усниновой кислоты – вторичного метаболита лишайников.

Выбор микроорганизма и источника углерода влияет на состав полимера. Главным преимуществом бактерий рода *Pseudomonas* является их способность производить среднецепочечные ПГА. Целью работы являлось получение биоразлагаемых пленок на основе полигидроксиалканоатов с усниновой кислотой и изучение их антибактериальных свойств. Для этого были изучены условия культивирования бактерий *Pseudomonas helmanticensis* на гидролизате жира личинок Черной Льевинки (*Hermetia illucens*). Проведено выделение полученного полимера, изучен его мономерный состав и молекулярно-массовое распределение. Усниновая кислота была выделена из лишайника *Cladonia rangiferina*. Изучены антибактериальные свойства полигидроксиалканоатов, усниновой кислоты и полученных плёнок на их основе.

Для изучения кинетики роста было проведено культивирование бактерий *Pseudomonas helmanticensis* в 12 колбах Эрленмейера. Процесс культивирования контролировался при помощи спектрофотометрии до наблюдения фазы отмирания клеток. Для этого в течение культивирования отбирались пробы объёмом 1 мл в разных временных точках. Время культивирования биомассы составило 37 часов.

Внутриклеточное содержание полимера и его состав определяли напрямую из биомассы методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. метиловых эфиров жирных кислот (газовый хроматограф Varian 450-GC с масс-43 спектрометрическим детектированием Varian 240-MS). Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот проводили путем сравнения времен удерживания пиков с контрольными значениями, полученными на хроматограмме стандартного раствора метиловых эфиров. Также сравнение пиков подтверждено масс-спектрами из базы данных NIST. На основании полученных данных было рассчитано содержание мономеров (табл. 1) в пересчете на массу полимера (в момент времени максимального накопления полимера).

Таблица 1

Относительное содержание мономеров в полимере (33 ч.)

Содержание, %			
3NHx	3NO	3ND	3HDD
6.5	46.5	23.0	23.9

На графике изменения мономерного состава во времени, представленном на рис. 1, наблюдается разница между фазой роста (до 18 ч) и фазой преимущественного накопления ПГА. Было установлено, что полученный полимер состоит из среднецепочечных гидроксигирных кислот. Доминирующим мономером является 3-гидроксиоктановая кислота; обнаружено присутствие 3-гидроксидекановой, 3-гидроксидодекановой и 3-гидроксигексановой кислот. Анализ литературных данных показал, что содержание 3-гидроксидодекановой кислоты в полимерах, полученных в других работах ранее при культивировании *Pseudomonas* sp. на жиросодержащих отходах меньше, чем содержание в полученном нами полимере. Предполагается, что высокое содержание этой гидроксигирной кислоты в полученном полимере связано со

специфичностью и составом используемого субстрата – жира личинок Чёрной Лявйки. Преобладающей насыщенной жирной кислотой в составе жира *Hermetia illucens* является додекановая кислота. Увеличение доли содержания 3-гидроксидодекановой кислоты в ПГА позволяет улучшить теплофизические и механические свойства полимера [1].

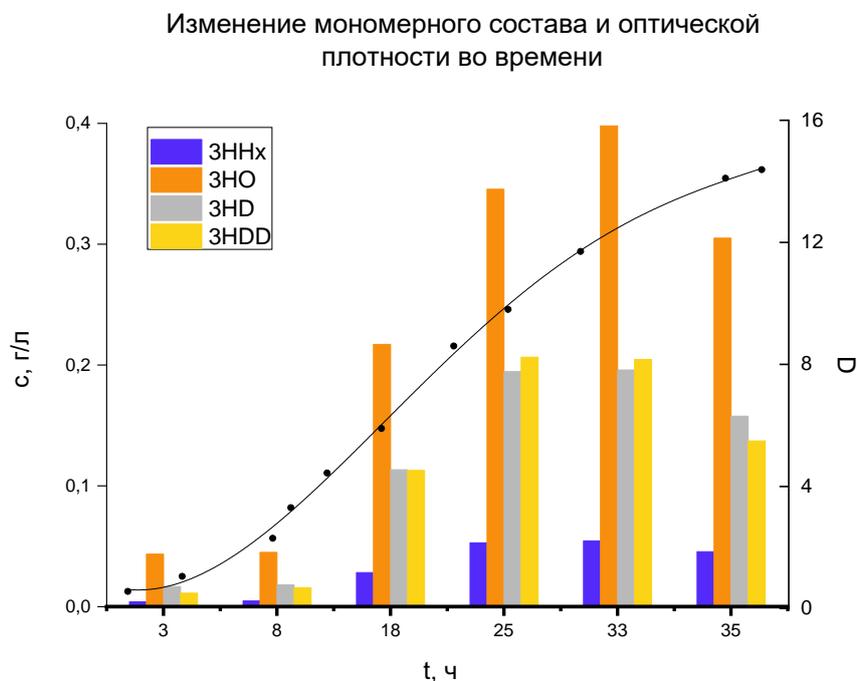


Рис. 1. График изменения мономерного состава и оптической плотности проб полученных на гидролизате жира *Hermetia illucens*

Для накопления биомассы с целью дальнейшего выделения ПГА было проведено культивирование в ферментере. В процессе культивирования с помощью встроенных датчиков происходил контроль значений следующих параметров: $pO_2 = 40\%$, $T = 28^\circ C$, $pH = 7.0$. Процесс культивирования продолжался 35 часов. Клетки извлекали центрифугированием и сушили при $T = 60-70^\circ C$. Далее в работе использовались образцы сухой бактериальной биомассы *Pseudomonas helmanticensis*. На первой стадии выделения проводили удаление из биомассы липидов и белковых фракций. Для этого проводили экстракцию бактериальной биомассы этиловым спиртом в течение 15 минут при $70^\circ C$. Затем полученный остаток биомассы экстрагировали хлороформом в течение 1 часа при нагревании до температуры кипения. Полученные экстракты концентрировали на роторном испарителе до объёма 50 мл. Полимер осаждали гексаном в соотношении 1:2. Полимер сушили при $T = 65^\circ C$ до постоянной массы. В результате культивирования *Pseudomonas helmanticensis* в ферментере было получено 3,6 г бактериальной биомассы. Выход полимера составил 74% (0,936 г). Содержание ПГА составило 35,1% от сухой массы клеток. Сравнивая полученные и литературные данные об эффективности процессов культивирования бактерий *Pseudomonas spp.* на жиросодержащем сырье [2], можно утверждать, что *Pseudomonas helmanticensis* является перспективным штаммом для промышленного производства ПГА.

Результаты анализа мономерного состава выделенного полимера представлены в табл. 2. Было установлено, что мономерный состав выделенного полимера аналогичен мономерному составу, определенному в биомассе. Чистота выделенного полимера составила 99%.

Результаты мономерного состава выделенного полимера

Содержание, %			
3ННх	3НО	3НД	3НДД
6.51±0.03	44.43±0.06	25.00±0.05	23.10±0.03

Молекулярно-массовое распределение полученного полимера было изучено методом эксклюзионной хроматографии. Для определения средневесовой молекулярной массы M_w и среднечисловой молекулярной массы M_n анализ образцов выполняли на хроматографе Shimadzu Prominenc (Япония) с рефрактометрическим детектором RID-10А. Для определения молекулярно-массовых характеристик полимера использовали стандарты полистирола. Полученные результаты, представленные на рис. 2, показали что распределение имело логнормальный характер. Среднечисловая молекулярная масса $\overline{M}_n = 50$ кДа, среднемассовая молекулярная масса $\overline{M}_w = 88$ кДа. Полидисперсность $P = 1.77$. Значения среднемассовой и среднечисловой молекулярных масс полученного полимера оказались сопоставимы со значениями молекулярных масс полимеров, полученных культивированием бактерий *Pseudomonas* spp. на жиросодержащих отходах в работах [2]. При этом, полученный нами полимер имел более низкую степень полидисперсности, что говорит о меньшей неоднородности распределения по молекулярному составу, а значит, и лучших механических свойствах.

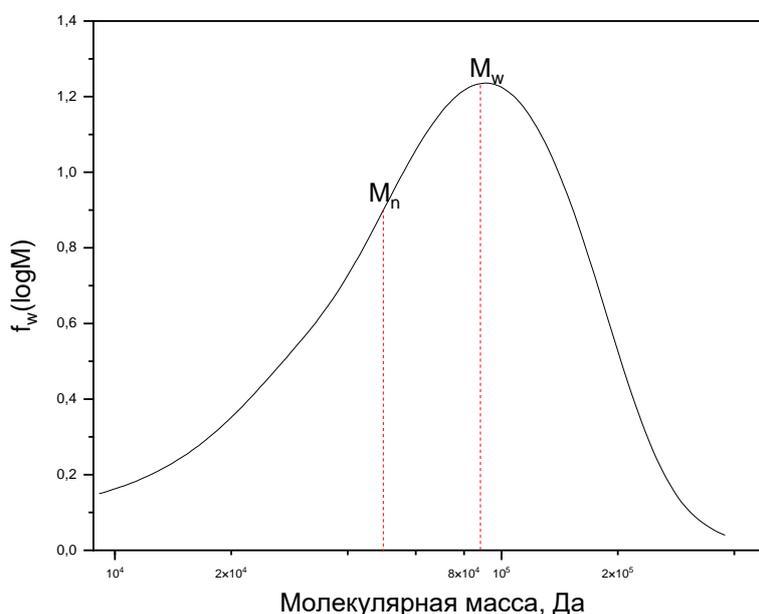


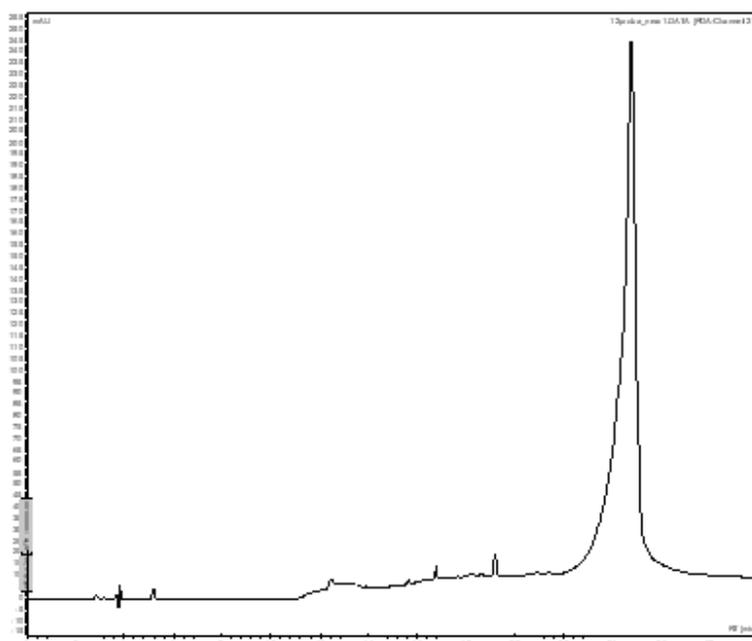
Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение ПГА

На следующем этапе работы было проведено выделение усниновой кислоты из биомассы лишайника *Cladonia rangiferina*. Высушенный в сушильном шкафу ($T = 60-80^\circ\text{C}$) лишайник измельчали до порошкообразного состояния. Образец массой 122 г экстрагировали 300 мл хлороформа. Время экстракции 6 часов, температура 70°C . Процедура повторялась три раза. Экстракты объединили и отделили от нерастворимых остатков образца. Полученный экстракт концентрировали на роторном испарителе ($T = 65^\circ\text{C}$, $p = 74$ мм рт. ст.) до объема 50 мл и осаждали этиловым спиртом в соотношении 1:2. Выпавший осадок отфильтровали под вакуумом и высушили на

воздухе. В результате экстракции усниновой кислоты были получены светло-жёлтые кристаллы. Выход составил 1.7% (2.07 г).

Для идентификации выделенного соединения был проведен анализ методом ВЭЖХ на жидкостном хроматографе Varian 920-LC (США). Диодно-матричный детектор, длина волны $\lambda = 280$ нм. На хроматограмме (рис. 3 а) присутствует один мажорный пик ($t_R = 24.65$). Спектр поглощения вещества имел два максимума поглощения $\lambda_{\max 1} = 233$ нм, $\lambda_{\max 2} = 282$ нм (рис. 3 б). Анализ литературных данных [3] показал, что R-изомер усниновой кислоты ((+)-{12R}-Usnic acid) имеет два максимума в диапазоне 220–232 нм и 282–290 нм. Также для идентификации состава выделенного соединения был проведен анализ методом ЯМР-спектроскопии на приборе Bruker AM-500 (США).

а



б

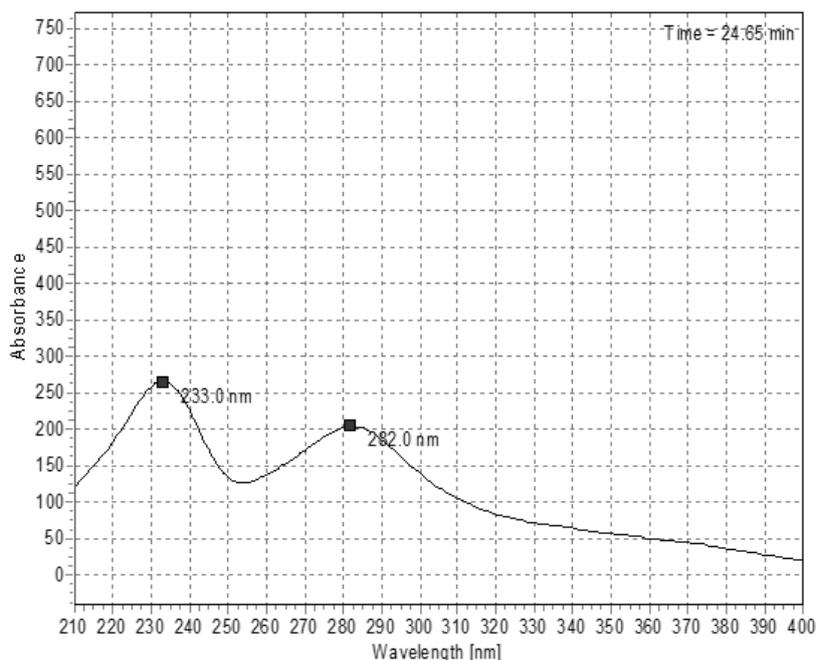


Рис. 3. Хроматограмма (а) и УФ спектр (б) усниновой кислоты

Рабочая частота 125 МГц для ^1H , в качестве растворителя использовали CDCl_3 . Результаты анализа методом ЯМР-спектроскопии представлены на рис. 4. ^1H NMR (125 MHz, CDCl_3): δ 1.76 (3H, s, Me-10), 2.10 (3H, s, Me-15), 2.66 (3H, s, Me-14), 2.68 (3H, s, Me - 12), 5.98 (1H, s, H-4), 11.02 (1H, s, 10-OH), 13.31(1H, s, 8-OH), 18.83 (1H, s, 3-OH).

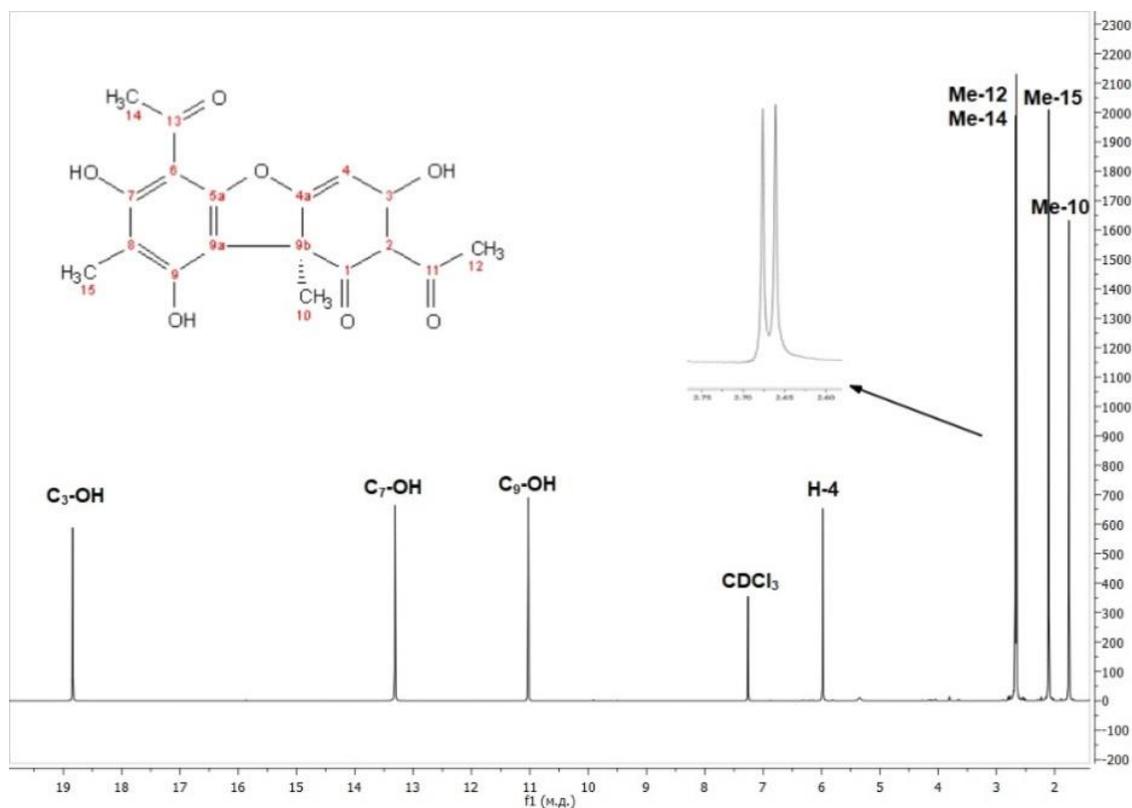


Рис. 4. ЯМР-спектр усниновой кислоты

Результаты анализов позволяют утверждать, что выделенное вещество является усниновой кислотой.

Оценка чувствительности патогенных бактерий к усниновой кислоте и ПГА была проведена диско-диффузионным методом в соответствии с рекомендациями EUCAST [4]. Пленки на основе полигидроксиалканоев с разным содержанием усниновой кислоты были получены методом литья. В качестве тестируемых микроорганизмов использовались грамположительные бактерии *Streptomyces* sp. и устойчивый к ампициллину рекомбинантный штамм грамотрицательных бактерий *Escherichia coli* BL21. Планшеты инкубировали при 35°C в течение 20 часов. Зоны ингибирования измеряли штангенциркулем и рассчитывали средние значения диаметров зон в трех повторностях (табл. 3). Результаты анализа позволяют утверждать, что ингибирование роста *Escherichia coli* BL21 не наблюдалось при использовании всех указанных веществ и их смесей. Ингибирование роста *Streptomyces* sp. наблюдалось:

- при концентрации усниновой кислоты 1 г/л (содержание усниновой кислоты 5 мкг/диск);
- при использовании смеси ПГА+усниновая кислота (2 $\omega\%$). Содержание усниновой кислоты на диске – 7.1 мкг/диск. Содержание ПГА 370 мкг/диск;
- при использовании смеси ПГА+усниновая кислота (8 $\omega\%$). Содержание усниновой кислоты на диске – 29.6 мкг/диск. Содержание ПГА 370 мкг/диск.

Результаты теста на антибактериальную активность

Микроорганизмы	Диаметр ингибиторного гало, мм								
	УК 0.01 г/л	УК 0.1 г/л	УК 1 г/л	ПГА	ПГА+ УК (0.2 ω %)	ПГА+ УК (2 ω %)	ПГА+ УК (8 ω %)	Ампицилин, 2 мкг	контроль
<i>Escherichia coli</i> BL21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Streptomyces</i> sp.	-	-	12.10±0.09	-	-	14.33±0.06	24.33±0.11	-	-

В результате проделанной работы проведено культивирование бактерий *Pseudomonas helmanticensis* на гидролизате жира личинок *Hermetia illucens*. Показано, что использование данного субстрата эффективно для получения полигидроксиалканоатов. После 35 ч культивирования производительность процесса достигла 0,18 г ПГА/г субстрата, сухой вес клеток достиг 6 г/л при выходе полимера 35%. Проведено выделение полигидроксиалканоатов из сухой биомассы. Анализ мономерного состава показал, что основными мономерами являются 3-гидроксиоктановая (44.4%), 3-гидроксидекановая (25.0%), 3-гидроксидодекановая (23.1%) и 3-гидроксигексановая (6.5%) кислоты. Показано, что полученный полимер имеет средневесовую молекулярную массу 88 кДа со степенью полидисперсности 1.77. Усниновая кислота выделена из биомассы лишайника *Cladonia rangiferina*. Проведена идентификация выделенной усниновой кислоты методами ВЭЖХ и ЯМР-спектроскопии. Получены пленки на основе полигидроксиалканоатов с различным содержанием усниновой кислоты (0.2, 2, 8 ω%). Установлено, что диаметр ингибиторного гало увеличивается с повышением содержания усниновой кислоты. Показано, что усниновая кислота в составе биопленок из полигидроксиалканоатов сохраняет свою антибактериальную активность по отношению к грамположительным бактериям *Streptomyces* sp. В дальнейших исследованиях планируется определение минимальной ингибиторной концентраций усниновой кислоты и изучение механических свойств полученных плёнок.

Литература

1. Zhao F., He F., Liu X., Shi J., Liang J., Wang S., Liu R. Metabolic engineering of *Pseudomonas mendocina* NK-01 for enhanced production of medium-chain length polyhydroxyalkanoates with enriched content of the dominant monomer // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. V. 154. P. 1596 – 1605.
2. Cromwick A.-M., Foglia T., Lenz R.W. The microbial production of poly(hydroxyalkanoates) from tallow // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1996. V. 46. P. 464 – 469.
3. Huneck S., Yoshimura I. Identification of Lichen Substances. In: Identification of Lichen Substances. Berlin: Springer. 1996.
4. European committee on antimicrobial susceptibility testing. EUCAST disk diffusion method. Version 9.0 January 2021.

Гурда Мария Дмитриевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т42281,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: marusia-gurda@mail.ru

Яковченко Наталья Владимировна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: frack@mail.ru; nviakovchenko@itmo.ru

УДК 544.773.32, 66.084.8

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОНОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

М.Д. Гурда

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.В. Яковченко

Аннотация

Научно-исследовательская работа направлена на определение возможности приготовления стабильной эмульсии эфирных масел типа «масло-в-воде». Разработанная технология получения наноэмульсии позволяет использовать все ценные вещества эфирных масел пихты и кедра. Продукты с ней могут использоваться для профилактики новообразований в организме человека, улучшения функционирования мышечной системы и отдельных органов, например, печени.

Ключевые слова

Эмульсия, ультразвуковая обработка, эфирное масло кедра, эфирное масло пихты, TWEEN 80.

На сегодняшний день использование сонохимической обработки в пищевой промышленности набирает все больше и больше популярности. Интерес к ультразвуковой обработке основан на полезных свойствах данного вида воздействия на пищевые продукты. Ультразвуковое оборудование использует волны высокой интенсивности, которые нетоксичные, безопасные и экологически чисты, для создания разрушительных сил [1]. По сравнению с другими устройствами, ультразвук готовит монодисперсные и более стабильные наноэмульсии без большого количества эмульгаторов, имеет низкие эксплуатационные расходы и также эффективен для уменьшения размера капель.

Свойства эфирных масел пихты и кедра очень многообразны. Основные из них – антибактериальные, противовоспалительные, противогрибковые и противовирусные. Сегодня очень много исследований ведется о противораковых свойствах данных масел. Также эфирные масла пихты и кедра способствуют ускорению метаболизма и уменьшению стресса. Эфирные масла увеличивают стабильность пищевых продуктов во время хранения, подавляя рост порчи и патогенных микроорганизмов и защищая от окисления [2]. Биологическую активность эфирных масел можно сравнить с активностью синтетических фармакологических препаратов. Данные масла представляют собой многообещающие натуральные экстракты, которые необходимо

рассматривать для возможного применения в качестве добавок, консервантов или антиоксидантов в пищевой или фармацевтической промышленности. Эфирное масло пихты обладает многочисленными биологическими эффектами, включая антибактериальные и противогрибковые свойства [3]. Эфирное масло кедра обладает противомикробными, противовирусными свойствами, также проявляет противовоспалительную активность [4].

При создании эмульсии необходимо сделать выбор из сотен и тысяч эмульгирующих веществ. Полиэтиленгликоль 400 – полимер этиленгликоля, пищевая добавка E1521. Применяется в качестве эмульгатора, пеногасителя, растворителя ароматических веществ и загустителя в пищевой промышленности. TWEEN 80 – это типичное синтетическое неионогенное поверхностно-активное вещество, широко применяемое в пищевой и полимерной промышленности. Стабильность эмульсии достигается, когда молекулы поверхностно-активного вещества покрывают всю поверхность раздела фаз масло/вода, улучшая межфазную реологию, препятствуя слипанию и агрегации капель [5].

Для исследования влияния обработки в ультразвуковой ванне было приготовлено 16 образцов с двумя типами эмульгатора (полиэтиленгликоль 400 (ПЭГ) и TWEEN 80) в различной концентрации – 5%, 10%, 20% и 30%. Концентрация эфирных масел во всех образцах была 10% – эфирное масло пихты к эфирному маслу кедра в отношении 1:1. Все образцы обработаны лабораторным диспергатором при 17500 об/мин в течение 5 минут при температуре 25°C. В дальнейшем половина образцов подвергалась УЗ-обработке при помощи ультразвуковой ванны в течение 40 минут с частотой 35 кГц и мощностью 40%. Все полученные образцы были исследованы при помощи микроскопа для подсчета среднего значения размера жировых шариков.

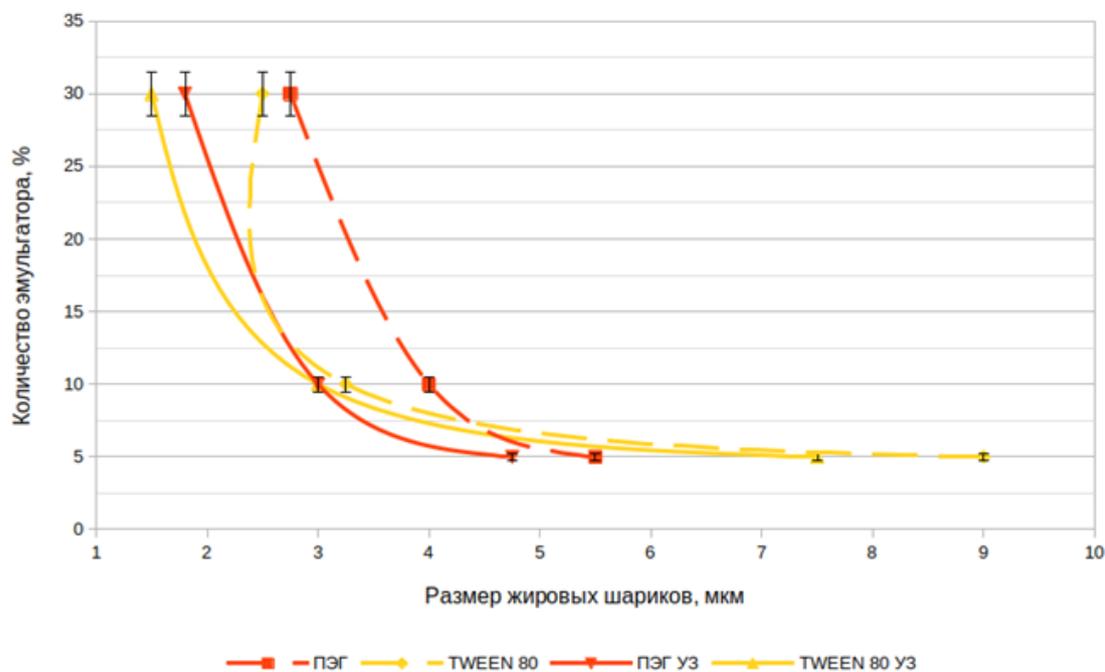


Рис. 1. Зависимость размера жировых шариков от количества эмульгатора и наличия УЗ-обработки

Данные на рис. 1 говорят о положительном влиянии эмульгатора TWEEN 80 на размер жировых шариков в сравнении с поверхностно-активным веществом ПЭГ. Ультразвуковая обработка также положительно влияет на размер частиц — при наличии УЗ-обработки размер жировых шариков меньше, чем при диспергировании.

Для исследования стабильности образцы эмульсии объемом 10 мл были помещены в центрифужные пробирки и процентрифугированы при 2500 об/мин в течение 15 минут. Значение стабильности (creaming index или CI) получали отношением отделившейся жировой фазы к общему объему эмульсии. Уменьшение значения *creaming index* говорит об улучшении стабильности эмульсии.

Эмульсия более стабильна при использовании эмульгатора TWEEN 80, чем с эмульгатором ПЭГ, при любой концентрации поверхностно-активного вещества в образце – значения *creaming index* у образцов с эмульгатором TWEEN 80 меньше, чем у образцов с ПЭГ при каждой из исследуемых концентраций. Сонохимическая обработка оказывает положительно влияние на стабильность эмульсии – значения *creaming index* эмульсии у образцов, прошедших УЗ-обработку, меньше, чем у образцов без нее при всех исследуемых концентрациях различных эмульгаторов.

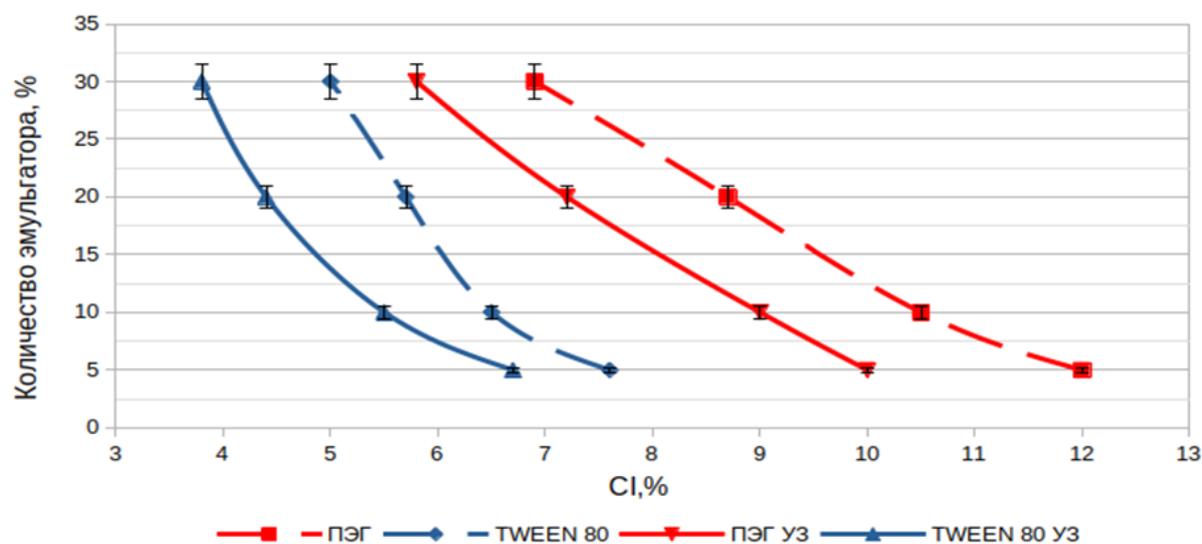


Рис. 2. Зависимость стабильности эмульсии от количества эмульгатора и наличия УЗ-обработки

Для исследования стабильности эмульсии при хранении приготовленные для эксперимента образцы хранились при температуре 25°C в течение 24 часов. Полученные результаты показали, что хранить образцы дольше не имеет смысла, так как в образцах было обнаружено явное расслоение на масляную и водную фазу, что говорит о нестабильности всех образцов. Такое наблюдение можно объяснить недостаточной мощностью, частотой, площадью воздействия УЗ-ванны на образцы.

Для исследования влияния сонохимической обработки при помощи ультразвукового генератора было приготовлено 12 образцов с эмульгатором TWEEN 80 в различной концентрации (Таблица 1). Концентрация эфирных масел во всех образцах была 10% — эфирное масло пихты к эфирному маслу кедра в отношении 1:1. Часть образцов была обработана лабораторным диспергатором при 17500 об/мин в течение 5 минут при температуре 25°C. Половина продиспергированных образцов была обработана при помощи ультразвукового генератора при частоте 22 кГц и 100% мощности в течение 5 минут. Образцы без диспергирования были перемешаны при помощи магнитной мешалки при 400 об/мин в течение 10 минут и также подвергнуты ультразвуковой обработке при частоте 22 кГц и 100% мощности в течение 5 минут. При ультразвуковой обработке образцы охлаждались при помощи льда. В табл. 1 в столбцах «Диспергирование», «Перемешивание» и «УЗ-обработка» знаками «+» обозначено наличие данного вида обработки, «-» означают их отсутствие.

Образцы эмульсии для исследования влияния обработки при помощи ультразвукового генератора

Концентрация эмульгатора, %	Соотношение масла:эмульгатор	Диспергирование	Перемешивание	УЗ-обработка
5	1:0,5	+	-	-
		+	-	+
		-	+	+
10	1:1	+	-	-
		+	-	+
		-	+	+
Концентрация эмульгатора, %	Соотношение масла:эмульгатор	Диспергирование	Перемешивание	УЗ-обработка
20	1:2	+	-	-
		+	-	+
		-	+	+
30	1:3	+	-	-
		+	-	+
		-	+	+

При визуальной оценке полученных образцов наблюдается значительное отличие образцов с концентрацией эмульгатора 20% и 30% — они имеют более прозрачный цвет в сравнении с остальными образцами (рис. 3). Однако образцы после диспергирования образуют пену (рис. 4).



Рис. 3. Исследуемые образцы эмульсии с различной концентрацией эмульгатора после диспергирования и УЗ-обработки: слева направо — 5%, 10%, 20% и 30%

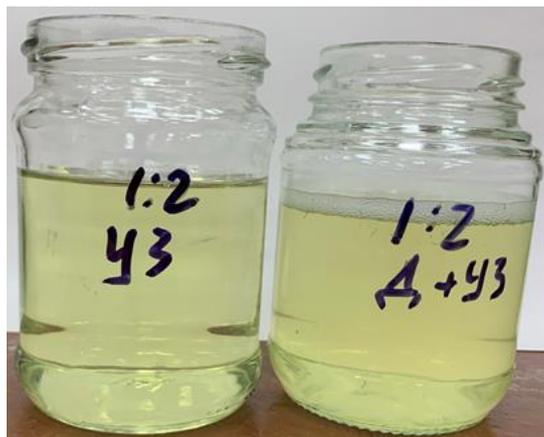


Рис. 4. Исследуемые образцы эмульсии с концентрацией эмульгатора 20%: слева – с перемешиванием и УЗ-обработкой, справа – с диспергированием и УЗ-обработкой

Исследование стабильности эмульсии проводилось при помощи метода определения *creaming index*. При увеличении концентрации эмульгатора значение *creaming index* уменьшается, что говорит об улучшении стабильности образцов. В образцах с концентрацией 20% и 30% *creaming index* измерить не удалось, что говорит об отличных показателях стабильности при хранении. Данные *creaming index* образцов, хранившихся при температуре 4°C аналогичны. Образцы, исследуемые при 4°C, не отличались по консистенции от образцов, хранившихся при температуре 25°C. Однако образцы с концентрацией 30%, хранившиеся при температуре 4°C, затвердели. Данное наблюдение говорит о возможном нежелательном воздействии на консистенцию и реологические свойства конечного продукта при его хранении при температуре 4°C (рис. 5).

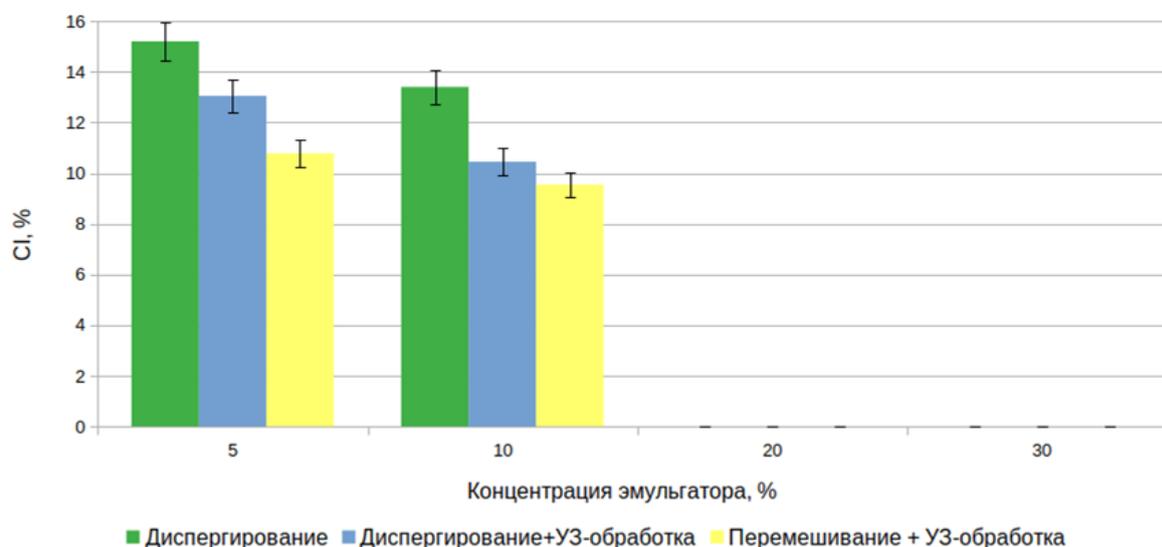


Рис. 5. Стабильность образцов эмульсии с различной концентрацией эмульгатора и способом приготовления при хранении при температуре 25°C

Размер частиц в образцах с концентрацией эмульгатора 20% и 30% определен с помощью лазерного корреляционного спектрометра. По полученным данным размер частиц образца с концентрацией 20% намного меньше, чем в образце с концентрацией 30% (рис. 6)

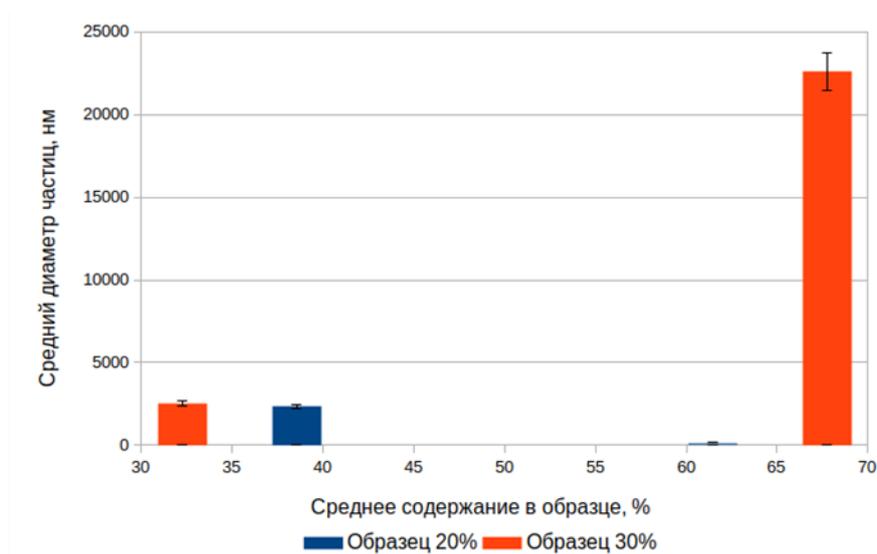


Рис. 6. Распределение частиц по размеру и количеству в образцах эмульсии с концентрацией эмульгатора 20% и 30%

Для исследования влияния продолжительности сонохимической обработки на стабильность эмульсии было приготовлено 3 образца с концентрацией эмульгатора TWEEN 80 20%, концентрацией эфирных масел 10% – эфирное масло пихты к эфирному маслу кедр в отношении 1:1. Образцы перемешивали на магнитной мешалке при 400 об/мин в течение 10 минут с последующей сонохимической обработкой при помощи ультразвукового генератора при частоте 22 кГц и 100% мощности с различными временными промежутками – 3, 5 и 10 минут. При ультразвуковой обработке образцы охлаждались при помощи льда.

Визуальная оценка образцов показала, что времени УЗ-обработки 5 минут недостаточно для приготовления стабильной эмульсии, так как образец менее прозрачный по сравнению с двумя другими образцами, 3 и 10 минут.

По данным спектрометрии образец с продолжительностью УЗ-обработки 10 минут имеет средний диаметр частиц 68,30 нм, образец с 5-тиминутной обработкой – средний диаметр частиц 162,86 нм, образец с УЗ-обработкой продолжительностью 3 минуты – средний размер частиц 83,95 нм (рис. 7).

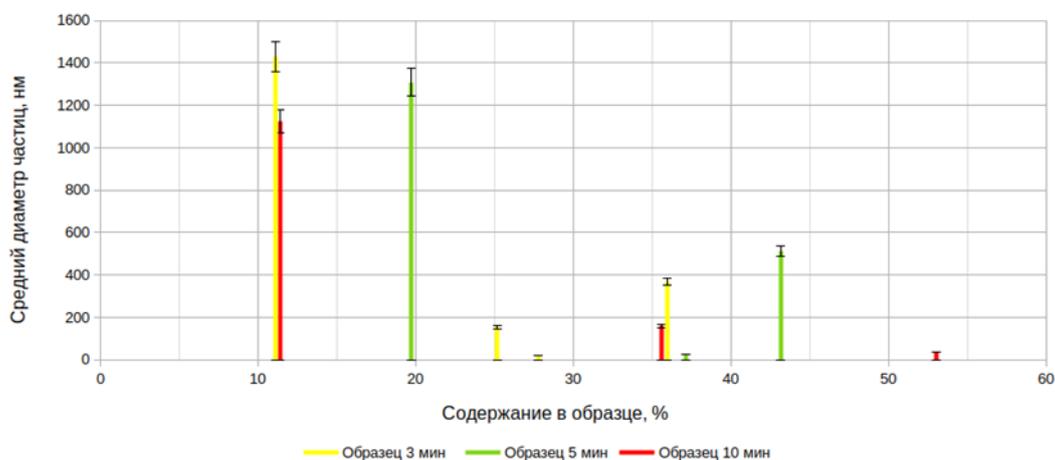


Рис. 7. Распределение частиц по размеру и количеству в образцах эмульсии с различным временем УЗ-обработки – 3, 5 и 10 минут

Результаты работы говорят о возможности получить стабильную при хранении эмульсию эфирных масел пихты и кедра типа «масло-в-воде» при помощи УЗ-генератора. Оптимальным поверхностно-активным веществом – эмульгатор TWEEN 80, продолжительность УЗ-воздействия посредством ультразвукового генератора при частоте 22 кГц, мощности 100% и обработке в бане со льдом – 10 минут. Концентрация эмульгатора TWEEN 80 должна вдове превышать концентрацию масляной фазы, то есть отношение эмульгатора к маслу – 2:1 соответственно.

Данная эмульсия может использоваться в пищевой промышленности для улучшения антибактериальной активности в продуктах питания, пролонгирования сроков годности, увеличения пищевой ценности. Также она может найти широкое применение в косметической и фармацевтической промышленности как для пероральных препаратов, так и для трансдермального использования.

Литература

1. Lago A.M.T., Neves I.C.O., Oliveira N.L., Botrel D.A., Minim L.A., de Resende J.V. Ultrasound-Assisted Oil-in-Water Nanoemulsion Produced From *Pereskia aculeata* Miller Mucilage // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. № 50. С. 339-353. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.09.036.
2. Bachir R.G., Benali M. Antibacterial activity of the essential oils from the leaves of *Eucalyptus globulus* against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* // *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2012. № 2(9). С. 739–742. DOI: 10.1016/s2221-1691(12)60220-2.
3. Nedorostova L., Kloucek P., Kokoska L., Stolcova M., Pulkrabek J. Antimicrobial properties of selected essential oils in vapour phase against food borne bacteria // *Food Control*. 2009. № 20. С. 157–160. DOI: 10.1016/j.foodcont.2008.03.007.
4. Zrira S., Ghanmi M. Chemical Composition and Antibacterial Activity of the Essential of *Cedrus atlantica* (Cedarwood oil) // *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2016. № 19(5). С. 1267–1272. DOI: 10.1080/0972060x.2015.1137499.
5. Roldan-Cruz C., Vernon-Carter E. J., Alvarez-Ramirez J. Assessing the stability of Tween 80-based O/W emulsions with cyclic voltammetry and electrical impedance spectroscopy // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016. № 511. С. 145–152. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.09.074.

Денисов Алексей Олегович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В42013с,

направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,

e-mail: denisovao1995@mail.ru

Васильев Александр Сергеевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

к.т.н., доцент,

e-mail: a_s_vasilev@itmo.ru

УДК 621.397; 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНОГО МЕТОДА В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКАЖЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.О. Денисов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.С. Васильев

Аннотация

В работе рассмотрены порядок использования и набор функций по восстановлению изображений от смаза из библиотеки прикладного программного обеспечения MATLAB R2019b. Восстановление изображений проводилось частотным методом, при помощи дискретного преобразования Фурье. Результаты операций представлены, как в таблице, так и при помощи графиков.

Ключевые слова

Оптико-электронные системы, обработка изображений, дискретное преобразование Фурье, деконволюция, корреляция.

В странах с развивающейся и развитой промышленностью имеется большое количество массовых производств, где есть необходимость в автоматизированном контроле дефектов поверхностей выпускаемых изделий. основополагающими задачами предприятий являются выпуск продукции, и как следствие ее непрерывный контроль.

подавляющее большинство систем, которые участвуют в решении вышеуказанной проблемы, являются оптико-электронными системами (ОЭС). Главными проблемами, с которыми сталкиваются данные системы при контроле – это объемные поверхности, сложность форм предметов, а также большая скорость движения конвейерной линии.

Выполнив анализ параметров ОЭС, можно сделать вывод: при почти одинаковой точности измерений система технического зрения намного быстрее производит обработку и анализ качества проходящей мимо неё продукции [1]. Данная система основывается на использовании камер, которые передают полученные цифровые изображения на обрабатывающий блок.

Математические функции, имеющиеся в данном блоке, связаны с двумерными дискретными преобразованиями Фурье (ДПФ). Они требуются для поэтапного проведения исследований по восстановлению изображений в частотной области. Одним из преимуществ этих преобразований, в сравнении с пространственными методами, является гибкость представлений, как оригинального изображения, так и искажающей его функцию [2].

Для того чтобы исказить, после чего восстановить изображения, а также записать статистические характеристики, но без проведения реальных съёмок, были написаны функции одноименные поставленным задачам. Для простоты работы они были объединены в одну программу. Все типы преобразований в произведенной работе будут относиться к программной среде MATLAB R2019b.

Начальным этапом в обработке необходимо отметить результат считывания изображения предмета, показанного на рис. 1, из места хранения данных:

```
Bild = imread('путь к файлу\название.формат файла');
```

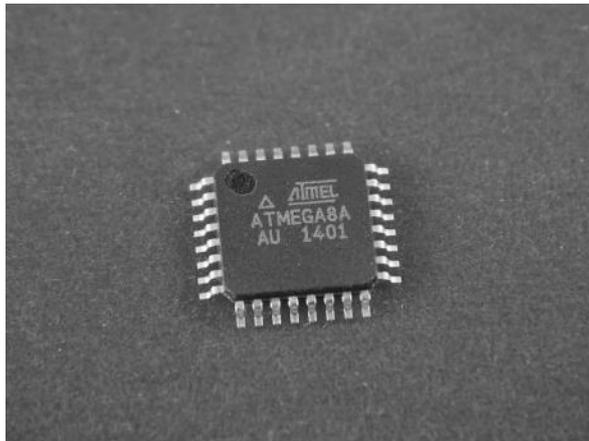


Рис. 1. Исходное изображение контролируемого предмета

После прочтения изображения, вводится определенный тип искажения – смаз. В нём вводятся значения параметров искажения, а именно длина и угол искажающего вектора:

- PSF_len = 67; % длина линии смаза;
- PSF_theta = 10; % угол смаза.

В функции искажения задействован следующий код, предназначенный для размытия изображения:

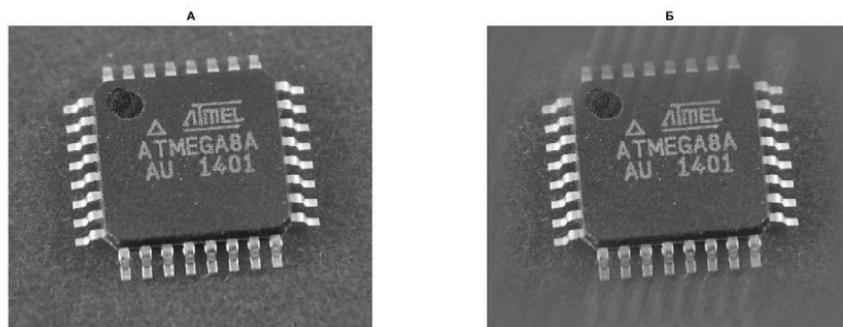
- Vector = fspecial('motion',PSF_len,PSF_theta);
- MotionBlur = imfilter(Bild, Vector,'replicate');

где PSF_len – длина линии растяжения, PSF_theta – угол, в направлении которого растягивается линия, измеряется в градусах (отсчёт происходит против часовой стрелки), MotionBlur – искаженное смазом изображение.

Следующей в работу вступает функция восстановления, которая, изначально имея эталон, начинает восстанавливать смазанное изображение, опираясь при этом на коэффициент корреляции. Предположим, что вектор смаза не превышает размеров 100×100 . Тогда программа восстановления должна произвести следующие этапы в каждой точке этой матрицы:

- для лучшего восстановления изображения, на первом этапе, необходимо произвести процедуру размытия контуров изображения, так как это преобразование предотвращает появления эффекта «звона» на краях изображения, т.е. искривления элементов изображения на границе. Этот эффект появляется вследствие использования ДПФ в функции деконволюции. Для применяемых искажений этот этап выглядит следующим образом: EdgesTapered = edgetaper(K1,K2), где K1 – искаженное изображение, K2 – функция искажения.

Для большей наглядности, данная функция применена к исходному неискаженному изображению и показана на рис. 2.



а – неискаженное изображение,
б – изображение с наложенной на неё функцией
Рис. 2. Эффект «звона»

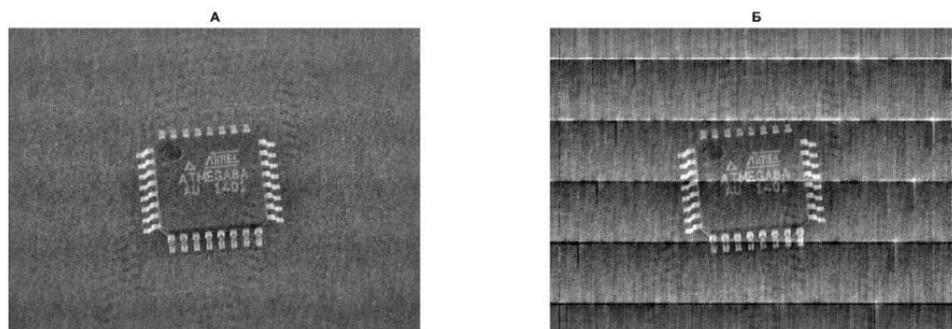
1) вторым этапом является деконволюция изображения, который реализован с помощью фильтра Виннера. Код для реализации: $\text{Dec} = \text{deconvwnr}(\text{EdgesTapered}, \text{K2})$, где K2 – вектор искажения.

Результат восстановления изображения от эффекта смаза показан на рис. 3б, искаженное изображение на рис. 3а.



Рис. 3. Искаженное и восстановленное изображения

Необходимо показать различие восстановленных изображений при отсутствии и наличии функции `EdgesTapered`. Результаты показаны на рис. 4а и рис. 4б.



а – присутствует функция `EdgesTapered`,
б – отсутствует функция `EdgesTapered`
Рис. 4. Восстановленные изображения

2) последним этапом в этом цикле является нахождения коэффициента корреляции между эталоном и восстановленным изображениями: $KorrelRzIR = 1 - corr2(K3, K4)$;

где $K3$ – эталонное изображение, $K4$ – восстановленное изображение.

Этот этап подразумевал нахождение коэффициентов корреляции во всех точках, т.е. для матрицы 100×100 необходимо выполнить 10 000 циклов, которые включают вышеописанные операции. Для уменьшения времени обработки, в первой итерации проходить всю матрицу решено с шагом 5. А уже в новой полученной матрице коэффициентов корреляции найти наименьшее значение. После чего, в области наименьшего коэффициента производится цикл обработки матрицы размером 10×10 . Таким образом, получается всего 500 циклов, что вне всяких сомнений, увеличивает скорость восстановления изображения, при сохранении одинаковых результатов в процессе восстановления. Блок-схема программы представлена на рис. 5.

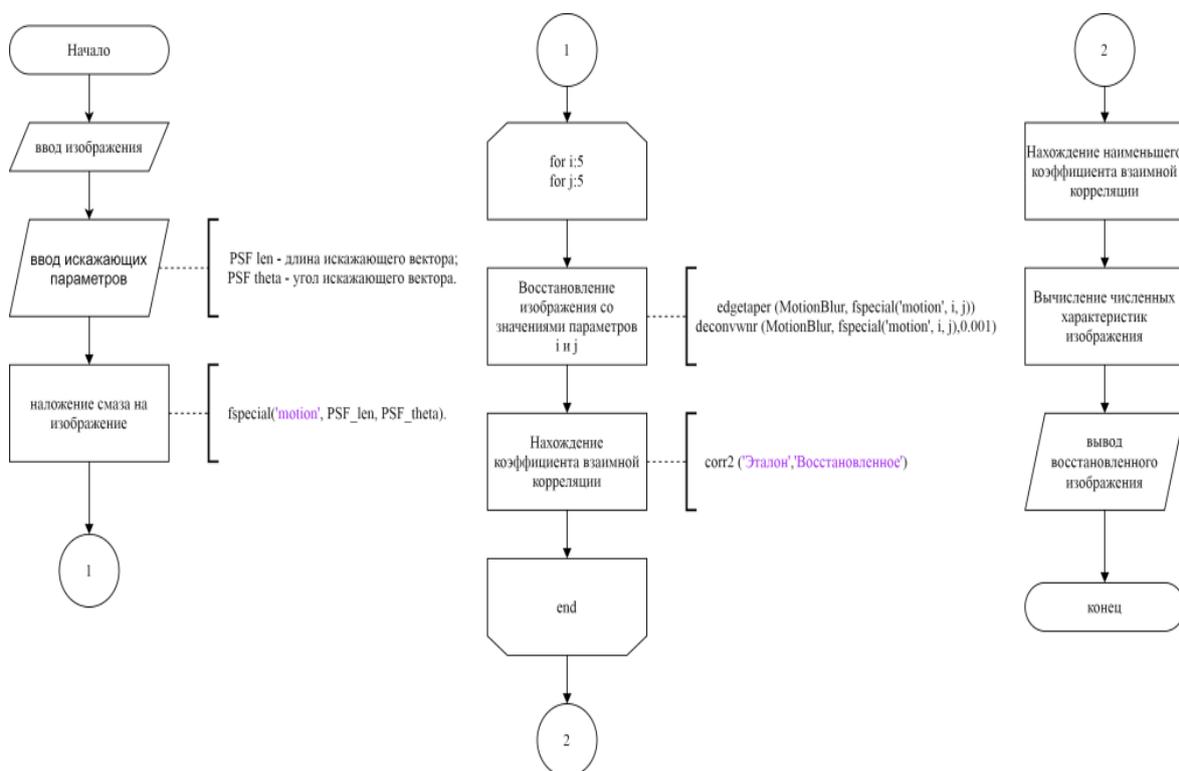


Рис. 5. Блок-схема программы

Восстановив изображение, программа вычисляет четыре статистических параметра, а именно:

- наибольшее абсолютное значение разности интенсивностей между изображениями S ;
- сумма разности интенсивностей между всеми пикселями двух изображений $L1$;
- корень квадратный из суммы квадратов интенсивностей между всеми пикселями изображений $L2$;
- процент отличия между эталоном и восстановленным изображениями MB .

В таблице представлены результаты операций по восстановлению изображений частью программы, содержащей статистические функции.

Результаты операций по восстановлению изображений

№	Искаж.вектор		С	L1 · 10 ⁶	L2	MB,%
	L	α				
1	2	3	4	5	6	7
1	39	10	147	6,24	8717	9,19
2	40	10	150	6,20	8593	8,92
3	41	10	153	6,13	8275	8,24
4	42	10	155	6,12	8208	8,08
5	43	10	141	6,11	8168	7,98
6	44	10	148	6,21	8298	8,23
7	45	10	142	6,26	8365	8,37
8	46	10	151	6,32	8349	8,33
9	47	10	125	6,25	8355	8,35
10	48	10	141	6,28	8386	8,39
11	49	10	132	6,25	8417	8,48
12	50	10	146	6,35	8534	8,72
13	51	10	143	6,39	8710	9,11
14	52	10	160	6,44	8757	9,20
15	53	10	150	6,40	8752	9,20
16	54	10	167	6,46	8752	9,17
17	55	10	145	6,50	8796	9,28
18	56	10	158	6,62	8850	9,37
19	57	10	121	6,61	8862	9,44
20	58	10	148	6,73	8961	9,63
21	59	10	122	6,73	9065	9,89
22	60	10	150	6,78	9090	9,92
23	61	10	128	6,71	9095	9,96
24	62	10	151	6,73	9128	10,02
25	63	10	144	6,69	9218	10,26
26	64	10	146	6,79	9288	10,40
27	65	10	141	6,88	9424	10,74
28	66	10	149	6,97	9446	10,77
29	67	10	126	7,02	9512	10,96
30	68	10	151	7,12	9517	10,96
31	69	10	117	7,12	9549	11,08
32	70	10	147	7,29	9700	11,41
33	71	10	119	7,29	9806	11,70
34	72	10	146	7,35	9882	11,89
35	73	10	121	7,32	9967	12,15
36	74	10	150	7,36	10036	12,32
37	75	10	121	7,41	10187	12,74
38	76	10	143	7,52	10315	13,06
39	77	10	124	7,60	10491	13,55
40	78	10	131	7,72	10567	13,74
41	79	10	117	7,73	10570	13,77
42	80	10	130	7,75	10465	13,47
43	81	10	117	7,68	10398	13,31
44	82	10	135	7,68	10361	13,18
45	83	10	125	7,62	10355	13,17
46	84	10	133	7,61	10339	13,10
47	85	10	128	7,57	10366	13,18

продолжение таблицы

№	Искаж.вектор		C	L1 · 10 ⁶	L2	MB,%
	L	α				
1	2	3	4	5	6	7
48	86	10	139	7,59	10383	13,21
49	87	10	133	7,61	10440	13,37
50	88	10	144	7,69	10498	13,51
51	89	10	136	7,77	10585	13,75
52	90	10	141	7,83	10612	13,81
53	91	10	127	7,83	10629	13,88
54	92	10	136	7,86	10644	13,91
55	93	10	139	7,86	10676	14,00
56	94	10	147	7,87	10687	14,01
57	95	10	148	7,84	10677	13,99
58	96	10	155	7,84	10664	13,95
59	97	10	154	7,83	10675	13,99
60	98	10	156	7,89	10737	14,16
61	99	10	156	7,96	10813	14,37

Были выполнены 61 операция по восстановлению изображений. Графики статистических параметров показаны на рис. 6 и рис. 7.

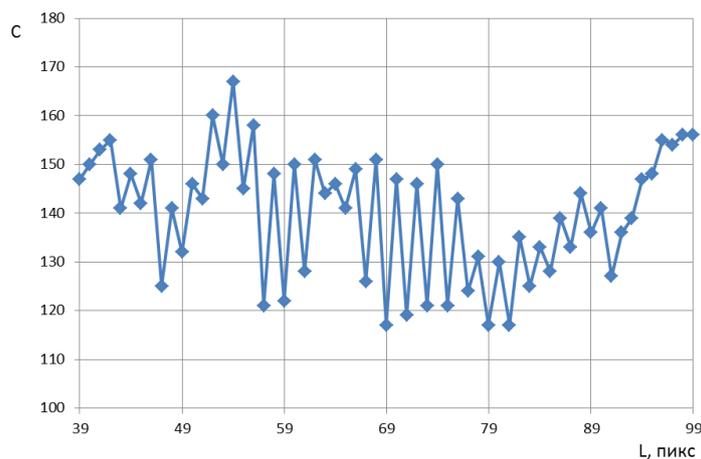


Рис. 6. Значения наибольшей абсолютной разности в зависимости от длины вектора искажения

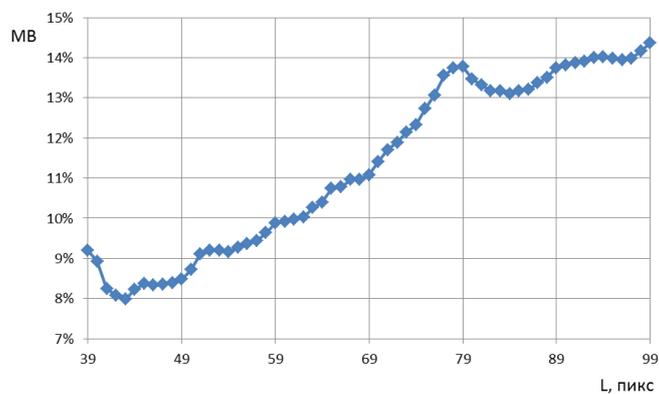


Рис. 7. Процент отличия в зависимости от длины вектора искажения

Из значений таблицы можно сделать следующие выводы: беря во внимание, что значения наибольшей абсолютной разности в зависимости от длины вектора искажения, находятся примерно в одном диапазоне, при том, что корень квадратный из суммы квадратов интенсивностей в зависимости от длины вектора искажения вырос в 1,4 раза, следует что восстановленные изображения имеют большое количество «мнимых» копий исследуемых предметов, смещенных по вектору, как в прямом, так и в обратном направлениях, на определенные расстояния. В следствие этого эффекта, растет коэффициент искажения, между эталонным изображением и восстановленными изображениями. При наибольшем векторе смаза процент отличия изображений равен 14,5%.

В последующей разработке конструкций конвейера следует позаботиться о максимальном снижении яркости (интенсивности) поверхности, на которой будут находиться контролируемые предметы. Это необходимо для наилучшего определения границы предмета и внешнего фона.

Литература

1. Денисов А.О. Контроль качества продукции на массовом производстве с помощью одноканальной системы технического зрения / А. О. Денисов // Альманах научных работ молодых учёных Университета ИТМО: Материалы XLIX научной и учебно-методической конференции, Санкт-Петербург, 29 января – 01 2020 года. Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет ИТМО", 2020. С. 48-50.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. / Гонсалес Р., Вудс Р. М.: Техносфера. 2012. 1104 с.

Дмитриева Ангелина Павловна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы № Т42505с

направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,
e-mail: angelinadmitrievap@gmail.com

Сергиенко Ольга Ивановна

Год рождения: 1957

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: oisergienko@corp.ifmo.ru

УДК 69.003

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ
СТРОИТЕЛЬСТВА БЮДЖЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

А.П. Дмитриева

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов циркулярной экономики».

Аннотация

Работа посвящена выбору методов повышения эколого-экономической эффективности строительства бюджетных объектов. Работа выполнена по заданию Службы государственного строительного надзора и экспертизы Санкт-Петербурга.

Ключевые слова

Жизненный цикл строительного объекта, углеродный след, экология, эколого-экономические эффекты, зеленые стандарты.

Современный экологический кризис, который затронул все страны мира, и неизбежная урбанизация ставят перед нами одну, но очень важную проблему – увеличение антропогенного воздействия на окружающую среду. Особенно она остро стоит в крупных промышленных регионах таких Санкт-Петербург и Ленинградская область, а значит, управление природоохранной деятельностью приобрело статус приоритетной и наиболее актуальной задачи.

Строительная отрасль всегда связана с негативным вмешательством в окружающую среду, так как воздействие на окружающую природную среду происходит как во время строительства, так и во время эксплуатации объекта. К прямым последствиям воздействия на окружающую среду при реализации проектов строительства относятся: загрязнение атмосферного воздуха, водных объектов, уничтожение плодородного слоя почвы, вырубка лесов, физическое загрязнение в виде шума и вибраций и другое. Данные экспертов показывают, что более 40% выбросов углекислого газа в атмосферу происходит из-за сжигания топлива, необходимого для

отопления зданий. Строительные объекты используют около 40% всей потребляемой первичной энергии, 40% сырья, 67% электричества и 14% питьевой воды [1].

В мировой строительной практике стимулируются инвестиции в экологически чистые технологии (cleantech), направленные на использование альтернативной энергии и повышение энергоэффективности, сокращение использования энергетических и материальных ресурсов в течение всего жизненного цикла объекта, включая строительство, эксплуатацию, демонтаж и утилизацию отходов в конце цикла жизни. Современные строительные технологии должны обеспечивать комфортную среду внутри здания.

Для оценки соответствия данным требованиям разработаны и находят применение признанные международные системы сертификации. В настоящее время активно используются в Европе и в других развитых странах следующие системы независимой добровольной экологической сертификации: английская BREEAM, американская LEED, немецкая DGNB, в которых выполняется ряд функций, таких как подтверждение качества и соответствия строительного объекта характеристикам, указанным проектировщиком, соблюдение безопасности строительного объекта с точки зрения влияния на окружающую среду [2, 3].

Для повышения эколого-экономической эффективности проекта строительства бюджетного объекта необходимо использовать новые энерго- и ресурсосберегающие технологии, которые были рассмотрены в п.1.3, а также и стандартные мероприятия по обеспечению энергосбережения и энергоэффективности зданий общеобразовательных учреждений [4]. К ним относятся сокращение энергопотребления на отопление зданий общеобразовательных учреждений, и для этого рекомендуется предусматривать максимально компактные объемно-планировочные решения.

Определение теплозащитных показателей, ограждающих строительные конструкции здания следует осуществлять в соответствии с требованиями СП 50.13330 по нормам приведенных сопротивлений теплопередачи ограждающих конструкций. Системы инженерного оборудования зданий общеобразовательных учреждений должны иметь автоматическое и (или) ручное регулирование температуры воздуха в помещениях.

В целях экономии электрической энергии, необходимой для обеспечения работы резервных источников горячего водоснабжения, отопления помещений и водоподготовки бассейна общеобразовательных учреждений рекомендуется использование тепловых насосов. Системы отопления должны быть оснащены приборами для регулирования теплового потока во вне учебного времени при отсутствии детей в помещениях общеобразовательного учреждения, при этом температура воздуха в учебных помещениях должна быть не ниже 15°C, в соответствии с СанПиНом 2.4.2.2821-10.

Проектирование индивидуальных тепловых пунктов должно осуществляться с учетом погодного регулирования теплоносителя по температуре наружного воздуха и коррекцией расходов тепла в системе отопления с установкой датчиков в наиболее характерных помещениях для доводки температуры теплоносителя. При оборудовании индивидуальных пунктов следует применять: пластинчатые теплообменники при независимой схеме присоединения, предусмотренной техническими условиями на присоединение тепловых сетей; насосы с частотным регулированием числа оборотов при зависимой схеме присоединения, предусмотренной техническими условиями на присоединение тепловых сетей; насосы с частотным регулированием числа оборотов для системы горячего водоснабжения; регулирующие клапаны со скоростными электроприводами, с возвратными пружинами (в случае аварийного отключения электроэнергии).

Для закрытых систем горячего водоснабжения необходимо предусматривать мероприятия по уничтожению аэробных бактерий с применением установок с ультрафиолетовым излучением. Теплоизоляция всех трубопроводов, оборудования и арматуры в целях экономии энергоресурсов должна осуществляться по нормам, установленным для не отапливаемых помещений [5].

Технологии, направленные на сохранение тепла за счет герметичности здания, могут негативно сказаться на качестве воздуха в помещениях (снижается уровень кислорода, повышается содержание углекислого газа, радона и пр.). Это негативно сказывается на текущем самочувствии и на общем состоянии здоровья людей. Предельно допустимые значения содержания углекислого газа для взрослых – 1000 – 1500 ppm. Для детей требования еще строже. Желательно, чтобы уровни углекислого газа в помещении и на улице были одинаковыми – 500 – 600 ppm. Из-за высокого содержания CO₂ снижается концентрация, люди хуже воспринимают информацию при постоянном нахождении в душном помещении формируется синдром хронической усталости. Строительство современного энергоэффективного здания невозможно без современной принудительной системы вентиляции на базе приточно-вытяжной установки (ПВУ) с рекуперацией тепла (КПД рекуперации более 75%). Вентиляция с рекуперацией дает возврат до 82% тепла и 50% влаги.

Одним из способов повышения эколого-экономической эффективности при реализации проектов строительства является использование новых строительных материалов. Рекомендуется применять современные композитные материалы и конструктивно-теплоизоляционные строительные материалы, которые повышают энергоэффективность зданий. Они обладают более высокой прочностью и устойчивостью к деформациям, разрывам, сжатиям, срезам и скручиваниям. Помимо этого, полимерные синтетические материалы являются более легкими по массе, удобными для транспортировки и установки [4, 6]. Также они устойчивы к химическому воздействию агрессивной среды, не боятся резких перепадов температур, безопасны для окружающей среды и полностью соответствуют всем экологическим требованиям. Для производства таких строительных материалов можно использовать промышленные или строительные отходы, что уменьшит экологическую нагрузку и сократит энергоемкость жизненного цикла материала. Строительные материалы имеют повышенный срок эксплуатации и способны к рециклингу.

Современные разработки направлены на сохранение тепла в зданиях и сооружениях. Производство строительных материалов из полистирола является одной из современных тенденций развития строительной индустрии. Это экологически чистый и прочный материал с высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами.

В работе проведены расчеты и сравнение жизненных циклов двух зданий школ, с применением монолитных железобетонных конструкций и 3D-панелей из пенополистирола.

На основе моделей ReCiPe (2016), IPCC (2017), EPD (2018) программного продукта SimaPro 9.1.1.1 был рассчитан углеродный след по стадиям жизненного цикла здания школы с применением 3D-панелей из пенополистирола и здания школы из монолитных железобетонных конструкций. Как видно из рис. 1, результаты моделирования углеродного следа практически идентичны при вычислениях на основе данных моделей.

Здание школы из традиционных материалов требует большего потребления энергии и образует углеродный след 14,5 Мт-экв CO₂, превышающий углеродный след инновационного здания в 1,5 раза здания из 3D-панелей (9,75 Мт-экв CO₂).

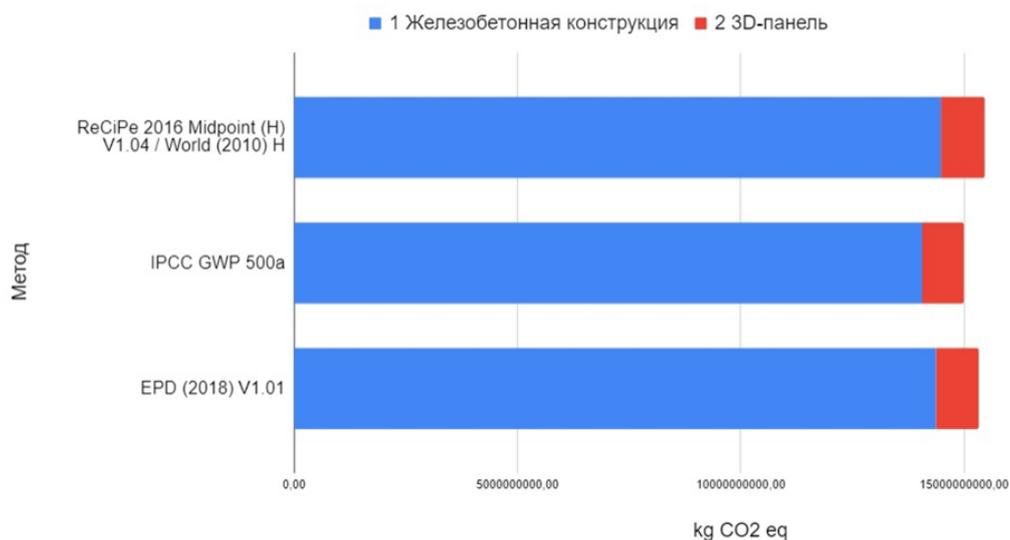


Рис. 1. Сравнительная оценка углеродного следа, рассчитанного на основе ReCiPe, IPCC, EPD для здания школы с применением 3D-панелей из пенополистирола и здания школы из монолитных железобетонных конструкций

Программа SimaPro позволяет показать графически влияние неопределенности исходных данных на результаты моделирования сравниваемых объектов. Оценка чувствительности проводится путем сравнения неопределенности по категориям воздействия при варьировании исходных данных. Если разница полностью положительная или отрицательная, очевидно, что существует значительная разница между ними.

На рис. 2 показано сравнение влияния неопределенностей по всем категориям воздействия двух зданий школ. Как видно, школа из пенополистирольных плит оказывает наименьшее воздействие на окружающую среду по всем категориям воздействия и разница значительна (100%) в отличие от школы с железобетонной конструкцией, что подтверждает нечувствительность полученных результатов к неопределенностям в исходных данных.

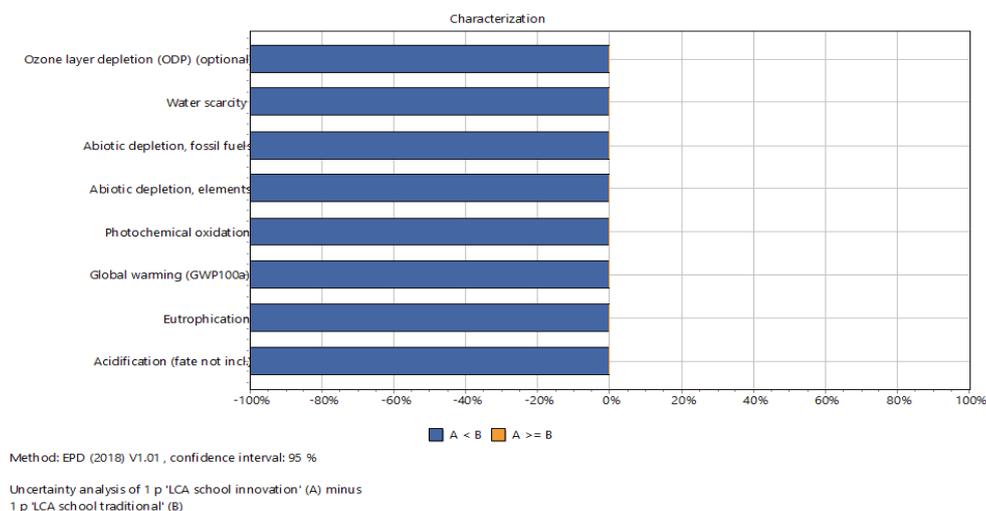


Рис. 2. Сравнительная оценка экологического воздействия в жизненном цикле зданий школ: здание школы из монолитных железобетонных конструкций и здание школы с применением 3D-панелей из пенополистирола

Предложена методика расчета стоимости жизненного цикла зданий с учетом совокупных затрат. Последовательность действий для оценки жизненного цикла объектов включает в себя рассмотрение этапов жизненного цикла: строительство, эксплуатация и снос, с учетом особенностей каждого этапа. Первоначально определяются строительные материалы для объектов оценки и плановый срок их эксплуатации. Затем производится расчет воздействия каждого этапа на окружающую среду и сравнение этих расчетов для каждого объекта.

Элементы затрат в жизненном цикле СЗЖЦ по каждому из сравниваемых вариантов определяются уравнением:

$$\text{СЗЖЦ} = (C_m + C_{\text{обор.}} + C_{\text{тр.}} + C_{\text{монт.}}) \times K_{di} + (\sum_i (C_{\text{эн.}} + C_{\text{тех.}})) \times K_{di} + C_{\text{дем.}} \times K_{di},$$

где i – порядковый номер года в течение срока службы здания;

K_{di} – коэффициент дисконтирования.

Последовательность действий для оценки жизненного цикла объектов включала в себя рассмотрение этапов жизненного цикла: строительство, эксплуатация и снос, с учетом особенностей каждого этапа. Первоначально определялись строительные материалы для объектов оценки и плановый срок их эксплуатации. Затем проводился расчет воздействия каждого этапа на окружающую среду и сравнение этих расчетов для каждого объекта.

Сравнение результатов ОЖЦ по категориям воздействия при реализации двух проектов позволяет сделать вывод, что воздействие здания из 3D-панелей практически незначимо по всем категориям воздействия.

При рассмотрении углеродного следа зданий было получено, что на этапе строительства воздействие значительно превышает углеродный след этапа эксплуатации для каждого из строительных объектов.

Рассчитана дисконтированная стоимость жизненного цикла сравниваемых объектов. Для здания из 3D-панелей стоимость во всем жизненном цикле на 11,9 млрд. руб. меньше, чем у традиционного здания, что составляет 238 млн руб. в год.

По итогу расчетов можно сделать вывод, что строительство школы с инновационными материалами имеет преимущество: затраты на строительство и эксплуатацию меньше, чем у школы с традиционными строительными материалами, и соответственно стоимость жизненного цикла у данного объекта снижается в 2,5 раза.

Использование пенополистирольных плит в строительстве позволяет снизить нагрузку на окружающую среду и повысить эколого-экономическую эффективность строительства. Предложенный для сравнения зданий коэффициент эффективности дисконтированных затрат в жизненном цикле для здания из 3D-панелей на 33% превышает соответствующий показатель для здания из монолитных железобетонных конструкций. Однако с учетом более продолжительного жизненного цикла инновационного здания (100 лет) можно утверждать, что инновационное здание является более экологически и экономически эффективным.

Предложенная оценка эколого-экономической эффективности строительных объектов бюджетной сферы в жизненном цикле здания может стать неотъемлемой частью тендерной документации по линии госзакупок.

Литература

1. Зиновьева В.А. «Зеленые» стандарты в планировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений // Международный студенческий научный вестник. 2015. №2. С. 289–291.

2. Бадьин Г.М., Сычев С.А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий // СПб.: БХВ–Петербург. 2013. 288 с.
3. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто. 2016. 276 с.
4. Новые правила применения типовых проектов [Электронный ресурс]. URL: https://ceur.ru/library/articles/stroitel'naja_jekspertiza/item239216/. (дата обращения 10.03.2021).
5. Wang Yang, Zhao Fu–Yun, Kuckelkorn Jens, Spliethoff Hartmut, Rank Ernst School building energy performance and classroom air environment implemented with the heat recovery heat pump and displacement ventilation system // Applied Energy, Elsevier. Vol. 114. pp 58–68.
6. Goedkoop M., Oele M., Vieira M., Leijting J., Ponsioen T., Meijer E. SimaPro Tutorial. 2016. №86. URL: <http://www.pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8Tutorial.pdf>. (дата обращения 10.03.2021).

Долженкова Александра Витальевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42293с,

направление подготовки: 27.04.02 – Компьютерные

системы управления качеством,

e-mail: xp-26@ya.ru

Варламова Дарья Вадимовна

Год рождения: 1979

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: varlamova@limtu.ru

УДК 004.056

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ IT-КОМПАНИИ**

А.В. Долженкова

Научный руководитель – к.э.н., доцент Д.В. Варламова

Аннотация

В работе рассмотрены процессы проведения внутренних аудитов информационной безопасности IT-компаний. Проведен анализ интегрированной системы менеджмента компании и текущих аудитов информационной безопасности. Разработаны предложения по совершенствованию внутренних аудитов, меры по повышению уровня информационной безопасности с использованием тестирования политик DLP, показатели защищенности информации. В результате проведения предложенных мероприятий повышен уровень зрелости информационной безопасности исследуемой компании.

Ключевые слова

Аудит информационной безопасности, внутренний аудит, DLP, защита информации, интегрированная система менеджмента, модель зрелости процесса, показатели защищенности информации.

Обеспечение информационной безопасности является достаточно проработанной темой как в научных исследованиях и литературе, так и на практике, но аудит информационной безопасности, в свою очередь, всё еще не имеет фундаментальной теоретической базы, и исследования вокруг него строятся на основании существующих стандартов, требований внешних регуляторов и опыта передовых компаний, в том числе и зарубежных. Опираясь на определения аудита, приведённые в литературе, и руководящие указания по аудиту систем менеджмента, следует рассматривать аудит не просто как вид деятельности, а как процесс [1].

Среди проблем, связанных с проведением аудитов информационной безопасности, специалисты выделяют их неоднозначность и односторонность. Например, упор в аудитах делается только на этапы аудита или только на модель нарушителя или угроз. Зачастую аудиты информационной безопасности (ИБ) проводятся на основе одного

лишь анализа стандартов. В рассматриваемом подходе предлагается сделать аудит ИБ системным и представляющим собой совокупность мероприятий, основанных на получении различных артефактов ИБ и их качественной и количественной оценки в компании, с целью определения соответствия требованиям ИБ и дальнейшего поддержания уровня ИБ на необходимом уровне. Требования, в таком случае, необходимо определять не только при помощи международных стандартов. Стандарты – скорее инструмент, помогающий выстроить процессы проведения внутренних аудитов ИБ. Требования, выдвигаемые в каждой компании будут индивидуальны, хоть и в некотором схожи, так как вряд ли найдутся компании с одинаковыми информационными инфраструктурами.

На этапе создания системы менеджмента информационной безопасности в компании очень важно уделить особое внимание организационным мероприятиям, для реализации которых понадобится назначение ответственных специалистов. Менеджмент должен быть направлен не просто на обеспечение защиты отдельных информационных активов компании, он должен быть комплексным и поддерживать все элементы информационной инфраструктуры предприятия. Информационная безопасность в свою очередь должна достигаться путем реализации соответствующего комплекса мер, включая политики, процедуры, а также функции программного и аппаратного обеспечения, а также создания средств управления информационной безопасностью за счет внедрения этих мер [2].

Объектом исследования является ИТ-компания Digital Design - разработчик и интегратор программного обеспечения и информационных систем. В компании внедрена и сертифицирована интегрированная система менеджмента (ИСМ). Основным документом, определяющим её содержание и описание является руководство по качеству и информационной безопасности. Согласно руководству ИСМ объединяет в себе систему менеджмента качества, систему менеджмента информационной безопасности и систему менеджмента ИТ-сервисов. Не смотря на то, что интегрированные системы менеджмента считаются перспективным направлением развития, многие специалисты по качеству считают, что безответственный подход руководства и недостаточная проработанность вопроса, отрицательно влияют на системы менеджмента предприятий [3].

В ходе анализа ИСМ было установлено, что одной из основных проблем компании является отсутствие как такового закреплённого процесса проведения внутреннего аудита. Внутренние аудиты являются довольно формальным явлением в компании и проводятся как поиск несоответствий в каком-либо процессе, регламентированном внутренним нормативным документом. Поэтому был сделан вывод о необходимости разработать нормативный внутренний документ по процедуре внутреннего аудита. Документ был разработан в рамках исследования и внедрен в компании.

Для того чтобы предоставить компании дальнейшие рекомендации по совершенствованию процессов внутреннего аудита, разработанные предложения были рассмотрены в двух плоскостях:

1. Организационно-методологическом – показывает каким образом может и должна выглядеть процедура внутреннего аудита, а также представляет возможную годовую программу внутренних аудитов ИБ.

2. Программно-технологическом – состоит из разработки технологий защиты ИС и показывает возможности реализации уже существующих, но неиспользуемых в силу отсутствия образовательных и человеческих ресурсов программных средств защиты.

Первый шаг на пути к совершенствованию, относящийся к организационно-методологическим мероприятиям - проведение комплекса аудитов ИБ по подразделениям. В табл. 1 представлен комплекс ежегодных внутренних аудитов по ИБ, который может дополняться и редактироваться с указаний генерального директора или

директора по качеству. В ходе исследования также была разработана возможная программа аудита по структурному подразделению «производственная дирекция».

Таблица 1

Комплекс аудитов информационной безопасности

Наименование аудита (предмет проверки)	Подразделения, где необходимо провести аудит
Управление доступом к информационным системам	Служба информационных технологий
Анализ защищенности ИС и поиск уязвимостей	Производственная дирекция, финансово-экономический департамент, отдел кадров
Организация резервного копирования и восстановления данных	Служба информационных технологий
Реагирование и управление инцидентами ИБ	Служба информационных технологий
Соблюдение парольной политики	Все подразделения
Хранение КИ на физических носителях	Производственная дирекция, финансово-экономический департамент, отдел кадров, маркетинг, юридический отдел
Обеспечение ИБ при работе с третьими лицами	Производственная дирекция, финансово-экономический департамент, юридический отдел
Инвентаризация компьютерной техники, сетевого оборудования и комплектующих	Служба информационных технологий
Организация работы с документами, включая организацию разработки и использования документов (в т.ч. работа с КИ)	Производственная дирекция, финансово-экономический департамент, отдел кадров, маркетинг, юридический отдел
Обеспечение безопасности информации при ее обработке в информационных системах, компьютерах и локальных сетях	Служба информационных технологий
Определение защиты серверов, шлюзов и других устройств сети, порядка внесения изменений в программное обеспечение	Служба информационных технологий
Организация работы по анализу внутренних и внешних угроз информационным активам и выработке мер по обеспечению их защиты	Департамент управления качеством, производственная дирекция
Обеспечение ИБ при использовании ресурсов интернета и корпоративной электронной почты	Служба информационных технологий
Обеспечение сетевой безопасности	Служба информационных технологий

Второй шаг – это проведение аудитов ИС, в рамках исследования был разработан план по проведению подобного рода аудитов, состоящий из оценки критичности ресурсов ИС, анализа рисков, связанных с осуществлением угроз безопасности в отношении ресурсов, выводов и рекомендаций по обследованию.

Что касается программно-технологического аспекта, предлагается в аудитах ИБ и для обеспечения защиты информации использовать DLP (Data loss prevention - технологии защиты от потери данных). Методом проведения таких аудитов будет тестирование. При помощи тестирования определяются параметры информационных процессов, характеризующие категории ИБ (целостность, доступность, конфиденциальность). В исследовании представлена в виде отчета о тестировании возможность использовать данную технологию для защиты информации и при проведении аудитов на примере приложений Microsoft 365.

Убедившись в отчете о тестировании в том, что настроенные политики DLP срабатывают на документы с необходимыми отметками или фразами/терминами, настраиваются политики DLP для каждого вида защищаемой информации в каждом приложении. При помощи настроенных правил администратор безопасности сможет отслеживать хранение и передачу конфиденциальной информации (КИ), и применять необходимые санкции, что остановит попадание конфиденциальной информации к третьим лицам и сотрудникам, которым доступ к данной информации ограничен.

При настройке необходимых параметров DLP удастся повысить различные показатели ИБ. Показатели ИБ были разработаны в рамках исследования по трем характеристикам: целостность, доступность, конфиденциальность (далее представлено краткое описание). При помощи данных показателей можно отслеживать уровень защищенности информационных ресурсов и выявлять слабые места в информационной инфраструктуре, посредством их мониторинга.

Показатели *целостности* информационных активов отвечают за сохранность, правильность и полноту информационных активов.

1. Проведение аудитов ИБ - А_{ИБ}. Процентный показатель, показывающий отношение проведенных аудитов в текущем календарном году к количеству проведенных аудитов за прошлый год.

2. Обновление программного обеспечения на серверах. Процентный показатель ОПО_С, равный отношению количества серверов с полностью установленными обновлениями (обновления установлены на 100%) к общему количеству серверов.

3. Обновление программного обеспечения на рабочих станциях. Процентный показатель ОПО_{ПК}, равен отношению количества персональных компьютеров с полностью установленными обновлениями (обновления установлены на 100%) к общему количеству ПК.

4. Обновление антивирусной защиты на серверах. Процентный показатель ОАЗ_С, равен отношению количества серверов с полностью установленными обновлениями (обновления установлены на 100%) к общему количеству серверов с установленным антивирусом.

5. Обновление антивирусной защиты на рабочих станциях. Процентный показатель ОАЗ_{ПК}, равен отношению количества персональных компьютеров с полностью установленными обновлениями (обновления установлены на 100%) к общему количеству ПК с установленным антивирусом.

6. Регулярное создание резервных копий. Процентный показатель (РК), равный отношению фактических созданных резервных копий за период к количеству резервных копий, отраженных в графике резервного копирования, за период.

7. Проверка восстановления данных файловой системы. Показатель (ВД), показывающий отношение ошибок регулярного бэкапирования резервных копий с восстановлением к общему количеству создаваемых резервных копий.

Показатели *доступности*, отражают готовность и возможность использования информации:

1. Выполнение заявок службой ИТ. Процентный показатель равный отношению выполненных заявок к числу всех заявок.

2. Безотказность работы файловой системы. Количество остановок работы файловой системы более чем на 10 минут.

3. Нарушения по предоставлению прав доступа к файлам (НПД). Количество нарушений по выдаче прав доступа (не выданы вовремя необходимые права пользователю). Права должны выдаваться согласно политике разграничения доступа и политике доступа RMS (Rights Management Services – службы управления правами).

Показатели *конфиденциальности* показывают насколько информация защищена от несанкционированного доступа:

1. Подписание NDA (non-disclosure agreement - соглашение о неразглашении конфиденциальной информации). Процентный показатель NDA - соотношение подписанных NDA на момент заключения договора, к общему количеству заключенных договоров.

2. Нарушения по предоставлению прав доступа к файлам. Количество нарушений по выдаче прав доступа (права выданы неправильно и доступ есть у тех, у кого его не должно быть). Права должны выдаваться согласно политике разграничения доступа и политике доступа RMS.

3. Зафиксированный факт нарушения конфиденциальности ПКИ (передача КИ третьим лицам). Целевой показатель должен быть равен 1. По всем зафиксированным нарушениям должны быть проведены расследования, и использование КИ третьими лицами по возможности ограничено.

Улучшения после проведения мероприятий можно рассмотреть на примере одного из разработанных показателей – зафиксированный факт нарушения конфиденциальности ПКИ.

$$\text{ПКИ} = \frac{H_p}{H_\phi}, \quad (1)$$

где H_p – расследованные нарушения, H_ϕ – зафиксированные нарушения. При этом не все нарушения могут быть зафиксированы, поэтому увеличение показателя H_ϕ может говорить и об увеличении результативности мер по обнаружению нарушений.

После настройки политик DLP в приложениях Microsoft 365 в течение месяца политика сработала 25 раз в Microsoft Teams, 12 раз в Microsoft Exchange и 8 раз в OneDrive. Все срабатывания были истинными, то есть сотрудники действительно пытались переслать КИ третьим лицам. При отсутствии настроенной политики, данная КИ беспрепятственно попала бы в лишние руки. H_ϕ – зафиксированных нарушений после применения DLP стало 60, до применения DLP – 15 (см. рисунок). Если взять в расчет зафиксированные нарушения, то согласно формуле (1) ПКИ до = 15/60 = 0,25, ПКИ после = 60/60 = 1. То есть в процентном значении показатель удалось повысить на 75% благодаря введению и использованию политик DLP.

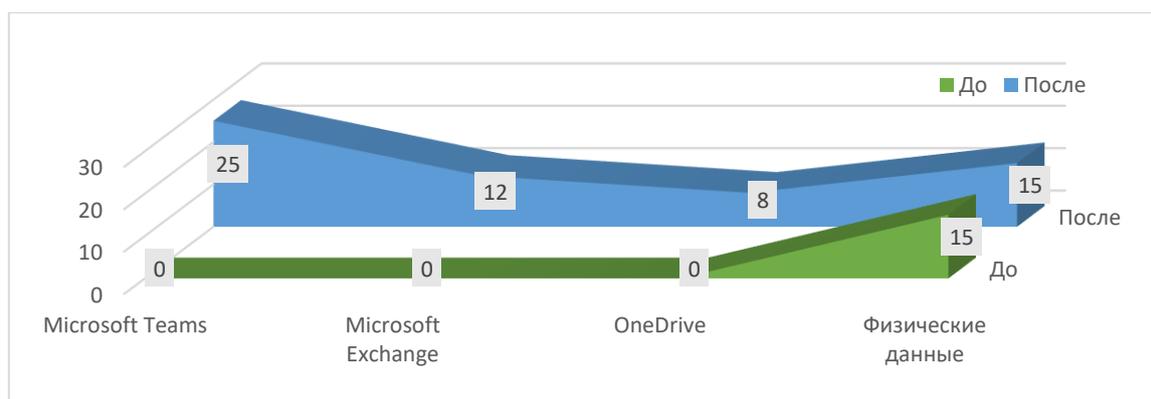


Рисунок. Рост обнаруженных нарушений конфиденциальности после проведения мероприятий по совершенствованию

В исследовании был проведен анализ зрелости процесса обеспечения информационной безопасности по модели SSE-CMM (Systems Security Engineering - Capability Maturity Model), описываемой ГОСТ Р ИСО/МЭК 21827-2010 «Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности.

Проектирование систем безопасности. Модель зрелости процесса». На момент проведения анализа деятельности рассматриваемой компании она находилась на закреплении 3-го уровня, то есть перешла на него, но имела некоторые недостатки, которые подтверждали шаткость её позиции на данном уровне. После проведения рекомендуемых мероприятий и закрепления их на уровне компании, уровень зрелости ИБ компании повышается до 4-го (см. табл. 2).

Таблица 2

Уровень зрелости информационной безопасности компании до и после мероприятий по совершенствованию

	Маркер 3 уровня	Маркер 4 уровня	До	После
Процессы ИБ определены	•		•	•
Процессы ИБ документально оформлены и доведены до сведения заинтересованных лиц	•		•	•
Процессы ИБ адаптированы	•		◦	•
Процессы ИБ выполняются	•		◦	•
Установлены измеримые цели качества ИБ		•		•
Определены возможности процессов для достижения целей		•		•
Возможности используются для достижения целей		•		•
Процессы ИБ контролируются и оцениваются		•		•

Из табл. 2 видно, что после проведения рекомендованных мероприятий компания повысит свой уровень зрелости процессов ИБ, так как все задачи 4-го уровня будут выполняться.

Разработанные рекомендации по проведению внутренних аудитов информационной безопасности помогут реализовать большее количество проверок, направленных на защиту информации, и создать нормативно-документационную базу компании по обеспечению информационной безопасности, что в дальнейшем облегчит прохождение различных проверок внешними структурами и обеспечит успех при прохождении внешних аудитов, так как требования внешних регламентирующих нормативно-правовых актов и стандартов будут соблюдены. Использование уже имеющихся возможностей, предоставляемых внутренними сервисами и ресурсами также может дать значительные преимущества в защите информации. Разработанные показатели защищенности информации позволят держать на контроле главные показатели, обеспечивающие функционирование информационной инфраструктуры компании. Использование новых методов при проведении аудитов, таких как тестирование, позволит своевременно ограничивать доступы к конфиденциальной информации и незамедлительно обнаруживать уязвимости и инциденты в информационных системах и процессах обеспечения информацией.

В дальнейшей работе планируется разработка концепции обеспечения ИБ. Для каждой информационной системы предполагается разработка модели угроз и нарушителя безопасности.

Литература

1. Кузьмина Л.В., Хорошильцева Т.А. Внутренние аудиты систем менеджмента как инструмент совершенствования процессов управления // Водоснабжение и санитарная техника. М.: Союзводоканалпроект, ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО, ЦНИИЭП

- инженерного оборудования, ГПКНИИ Сантехниипроект. МГП "Мосводоканал". №1. 2019. С.12-16.
2. Федотова Л.Л., Невский А.Ю. Управление информационной безопасностью организации с использованием механизмов системы менеджмента качества // Труды Международной научно-практической конференции – ИНФОРИНО. М.: Издательский дом МЭИ. 2016. С. 229-233.
 3. Недбайлюк Б.Е. Аудит качества: учебник / Недбайлюк Б.Е. М.: КНОРУС. 2019. 200 с.

Елисеев Кирилл Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

студент группы №L42173,

направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии,

e-mail: eliseev_kirill@bk.ru

Петров Андрей Анатольевич

Год рождения: 1979

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

к.т.н., доцент,

e-mail: aapetrov@itmo.ru

УДК 537.312.52:544.537

**СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ
ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КВАРЦЕВОГО
СТЕКЛА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ В МИКРООБРАБОТКЕ**

К.В. Елисеев

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Петров

Аннотация

В ходе работы рассмотрены устройства генерации вихревых пучков. Рассмотрен принцип работы спиральных фазовых пластин и бинарных фазовых пластин. Изготовлены бинарные фазовые пластины с применением метода лазерно-индуцированной микроплазмы. Проведено тестирование изготовленных элементов с применением контактного профилометра, оптического микроскопа и экспериментальной установки с иттербиевым лазером.

Ключевые слова

ЛИМП, СФП, БФП, мультиплексирование.

В настоящее время все больше внимания уделяется оптическим элементам, способным преобразовывать Гауссов пучок в вихревой пучок, поскольку это направление имеет серьезную перспективу во многих областях, как научных, так и технологических. Основными типами элементов, способных на подобное действие являются жидкокристаллические пространственные модуляторы света (ПМС), фазовые элементы, изготовленные из плавленного кварца - бинарные фазовые пластины (БФП), которые являются разновидностью спиральных фазовых пластин (СФП) и q-пластины, управляемые подводимым к ним напряжением, которые являются разновидностью ПМС.

СФП – это оптический элемент, который задерживает оптическое поле в зависимости от азимутального распределения. Как правило, это прозрачный оптический элемент с показателем преломления n , высота которого пропорциональна азимутальному углу

При установке СФП либо в перетяжку Гауссова пучка, либо в коллимированный Гауссов пучок, он преобразуется в вихревой пучок

Для преобразования лазерных пучков видимого и ближнего ИК диапазонов в вихревые пучки СФП, как правило, изготавливают из плавленного кварца.

Бинарные фазовые пластины, в основном, используются для преобразования

Гауссовых пучков в суперпозицию пучков несущие орбитальный угловой момент (ОУМ) противоположных знаков. По своему строению они близки к СФП, но, в отличие от СФП, сектора бинарных фазовых пластин травятся на одинаковую глубину, что значительно упрощает их изготовление БФП можно рассматривать как упрощенный вариант СФП.

Принцип работы БФП заключается в том, что половина ее секторов осуществляет задержку фазы излучения, благодаря чему осуществляется мультиплексирование пучков, а центральное темное пятно образуется вследствие интерференции от вытравленных и невытравленных секторов. Как правило картину с центральным темным пятном можно увидеть на некотором расстоянии от фокальной плоскости линзы при условии, что БФП будет установлена в область существования плоского волнового фронта, реализуемую в широком коллимированном пучке.

Основными методами изготовления СФП БФП являются электронно-лучевая литография, фотолитография, характеризующиеся высоким качеством изготовления, длительностью процесса и ограничением на размер БФП. Кроме того, сравнительно недавно, для изготовления БФП была применена прямая лазерная запись фемтосекундным лазерным излучением. В работе, посвященной этой записи сообщалось о высокой шероховатости записанных элементов, которая незначительно уменьшается даже в ходе отжига излучением CO₂ лазера [1].

В настоящей работе для записи БФП был использован метод лазерно-индуцированной микроплазмы (ЛИМП) (разработанный в лаборатории микро- и нанотехнологий), суть которого заключается в создании структуры плазменным факелом, образованным от графитовой подложки. Этот метод хорошо зарекомендовал себя и при записи более сложных фазовых элементов, чем БФП, в частности, СФП и спиральных фазовых задерживателей [2].

Для изготовления фазового элемента технологией ЛИМП, реализуемой на установке «МиниМаркер», необходимо рассчитать глубины травления отдельных частей фазового элемента, обеспечивающих его качественное функционирование.

Расчет глубины травления, обеспечивающий сдвиг фазы на π на выходе элемента (1)

$$h = \frac{\lambda}{2*(n-1)}, \quad (1)$$

где λ – длина волны, на которой будет работать фазовая пластина, n – показатель преломления материала, в нашем случае плавленого кварца (для $\lambda=1064$ равен 1.4496).

В случае с расчетом БФП, вытравленной с двумя уровнями фазы (0 и $\pi/2$) для длины волны 1064 нм необходимая глубина травления составляет (2):

$$h = \frac{\lambda}{4*(n-1)}. \quad (2)$$

В случае с расчетом БФП, вытравленной с двумя уровнями фазы (0 и π) для длины волны 1064 нм необходимая глубина травления составляет:

$$h = \frac{1,064*10^{-6}}{2*0,4496} = 1,183 * 10^{-6}(\text{м}). \quad (3)$$

В случае с расчетом БФП, вытравленной с двумя уровнями фазы (0 и $\pi/2$) для длины волны 1064 нм необходимая глубина травления составляет:

$$h = \frac{1,064*10^{-6}}{4*0,4496} = 0,592 * 10^{-6}(\text{м}). \quad (4)$$

Качество изготовления БФП, и, следовательно, качество преобразования, выполняемое ею принято характеризовать двумя характеристиками – шероховатостью вытравленной поверхности в пределах сектора и геометрией формы сектора.

На рис. 1 представлена фотография БФП, изготовленной методом ЛИМП, на 20 секторов. Фотография выполнена в макросъемке.



Рис. 1. Фотография 20-секторной БФП, выполненная в макросъемке

Для определения качества поверхности БФП, выполненных на плавленном кварце, использовался оптический микроскоп «Zeiss AXIO Imager.A1m». Изображения, полученные с микроскопа, позволяли представить общий вид оптического элемента и выявить наличие дефектов.

Изображения получены в дифференциально интерференционно-контрастном режиме (ДИК).

На рис. 2 представлено изображение фрагмента одного из секторов 8-секторной БФП, выполненной с двумя уровнями фазы (0 и π) в режиме ДИК при отсутствии дефектов.



Рис. 2. Изображение фрагмента одного из секторов 8-секторной БФП, выполненной с двумя уровнями фазы (0 и π) в режиме ДИК

Для определения качества поверхности СФП и БФП, выполненных на плавленном кварце, использовался профилометр контактный «Hommel Werke T8000», обеспечивающий разрешение по оси $z \pm 10$ нм.

Из полученных значений, представленных на рис. 3 видно, что полученная глубина травления близка к теоретически рассчитанной.

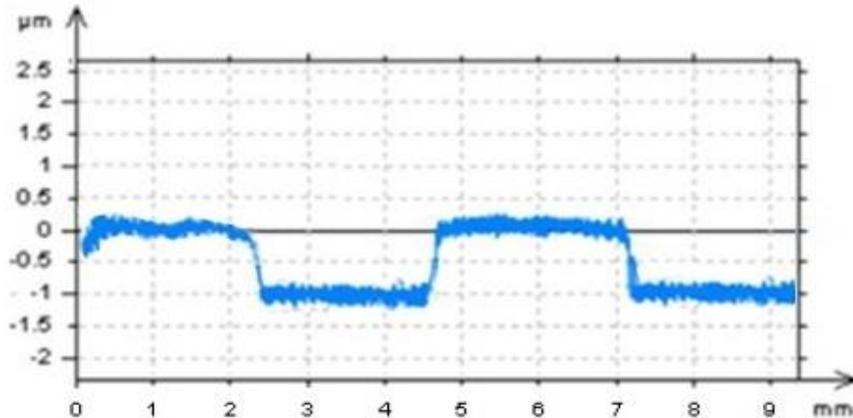


Рис. 3. Данные по глубине травления изготовленной пластины

Тестирование полученных фазовых элементов выполнялось в фокусирующей оптической системе с применением иттербиевого волоконного лазера «IPG» с длиной волны 1.064 мкм. Схематическое изображение оптической системы представлено на рис. 4.

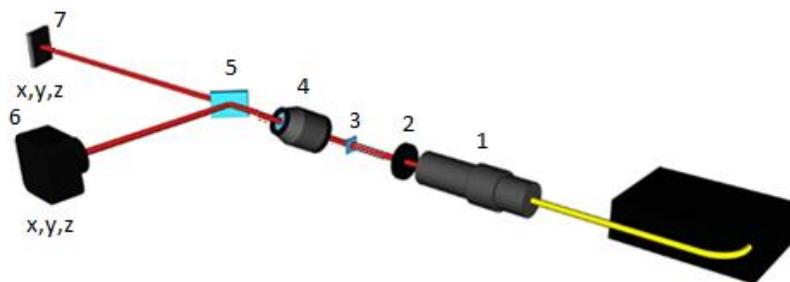


Рис. 4. Оптическая схема для исследования свойств СФП и БФП.

В настоящую оптическую установку входят:

1. Волоконный иттербиевый лазер «IPG» (1.064 мкм.).
2. Нейтральный фильтр.
3. Исследуемый элемент.
4. Объектив (750 мм).
5. Светоделительная пластина.
6. ССД камера.
7. Образец полированной стали.

На рис. 5 представлены результаты тестирования 4, 6, 10 и 20 секторных БФП с уровнями фаз 0 и π , изготовленных методом ЛИМП, с применением волоконного лазера с 1.064. Изображения получены не в фокальной плоскости. На всех изображениях наблюдается темный центр. Достижение темного центра является крайне сложной задачей. Количество мультиплексированных пучков отвечает полному числу секторов пластины. С увеличением количества секторов пластины формы мультиплексированных пучков изменяется от круглой к эллиптической. Из всех известных работ по тестированию БФП, изготовленных различными методами, наблюдается эта тенденция. Поэтому, как правило, БФП содержит не более 8-10 секторов [3].

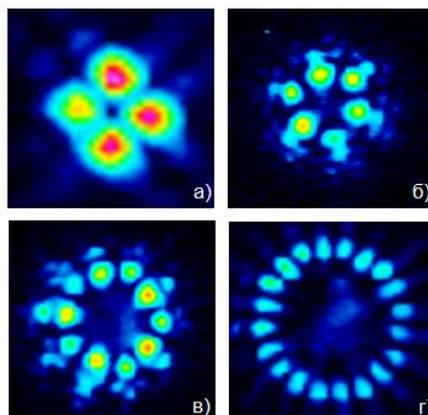


Рис. 5. Результаты тестирования а) 4-секторной БФП; б) 6-секторной БФП; в) 10-секторной БФП; г) 20-секторной БФП

На рис. 6 представлены результаты тестирования 10 секторной БФП с уровнями фаз 0 и $\pi/2$. Как и ожидалось, число дифракционно-ограниченных пучков в 2 раза меньше общего числа секторов пластины, что соответствует теоретическим представлениям.

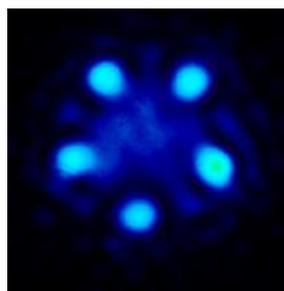


Рис. 6. результаты тестирования 10-секторной БФП с уровнями фаз 0 и $\pi/2$

В ходе работы был рассмотрен и обоснован принцип работы СФП и БФП, изготовлены БФП с применением метода ЛИМП, выполнено исследование изготовленных элементов с применением оптического микроскопа и контактного профилометра. Выполнено тестирование с применением иттербиевого лазера. Работа изготовленных элементов соответствует теоретическим представлениям.

Литература

1. Li Zhou, Youen Jiang, Peng Zhang, Wei Fan, and Xuechun Li “Directly writing binary multi-sector phase plates on fused silica using femtosecond laser”, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800. China. 2018.
2. Victoria Shkuratova, Vladimir Rymkevich, Galina Kostyuk, Maksim Sergeev, “Laser-induced Microplasma as Effective Tool for Phase Elements Fabrication on Amorphous and Crystalline Materials”, JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering Vol. 13, No. 3. 2018.
3. Kuchmizhak A.A., Porfirev A.P., Syubaev S.A., Danilov P.A., Ionin A.A., Vitrik O.B., Kulchin YU.N., Khonina S.N., AND Kudryashov S.I., “Multi-beam pulsed-laser patterning of plasmonic films using broadband diffractive optical elements”, Opt. letters, Vol. 42. No. 14. 2017.

Жданов Игорь Дмитриевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,

студент группы №L42712,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: schdanchik.ighor@gmail.com

Дейнека Иван Геннадьевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,

к.т.н., доцент,

e-mail: igdeyneka@itmo.ru

УДК 35.24.12

**РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ
КВАДРУПОЛЬНОЙ НАМОТКИ ВОЛОКОННОГО КОНТУРА ВОГ**

И.Д. Жданов

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.Г. Дейнека

«Работа выполнена в Университете ИТМО при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, название проекта – «Создание производства волоконно-оптических гироскопов для контрольно-измерительных устройств и наземных транспортных систем», Соглашение №075-11-2019-026 от 27.11.2019».

Аннотация

В работе рассмотрен процесс регулировки величины натяжения, при помощи добавления определенных элементов станка намотки, а также опережающих алгоритмов управления. Предложена упрощенная модель станка намотки в Matlab Simulink. Промоделирован процесс задания частоты вращения подающих катушек станка.

Ключевые слова

Натяжение, регулировка натяжения, PI- регулятор, ВОК.

Введение

Работа волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) основана на эффекте Саньяка. Данный эффект заключается в следующем. В замкнутый оптический контур во встречных направлениях запускают две световых волны. Если он неподвижен, фазовый набег обеих волн одинаков. В случае вращения контура вокруг оси, нормальной к его плоскости, время прохождения оптического пути обеих волн будет разным, вследствие чего между ними будет возникать разность фаз, пропорциональная угловой скорости вращения контура. В качестве оптического контура в ВОГ используется волоконный контур, представляющий собой многослойную и многовитковую катушку, намотанную квадрупольным способом и состоящую из анизотропного волокна, что обусловлено оптической схемой гироскопа, поддерживающей одно состояние поляризации оптического сигнала.

Волоконно- оптическая катушка содержит множество дефектов, обусловленных конструкцией каркаса катушки и способом укладки оптоволокна [2], которые приводят к ухудшению характеристик волоконно- оптического тракта, в котором

распространяется излучение. Значительное влияние, на оптические характеристики световода оказывает натяжение, возникающее в процессе изготовления ВОК. Переменное натяжение может привести к деформации поперечного сечения волокна в различных частях, следовательно к изменению показателя преломления волокна, что приводит к уменьшению N-параметра и увеличению эластооптического эффекта [1].

Так как натяжение напрямую влияет на качество намотанных катушек, контроль натяжения волокна является одним из ключевых процессов, при намотке чувствительного элемента ВОГ. Для намотки чувствительного элемента ВОГ навигационного класса точности необходимо использовать устройство для специализированной намотки оптического волокна (рис. 1).

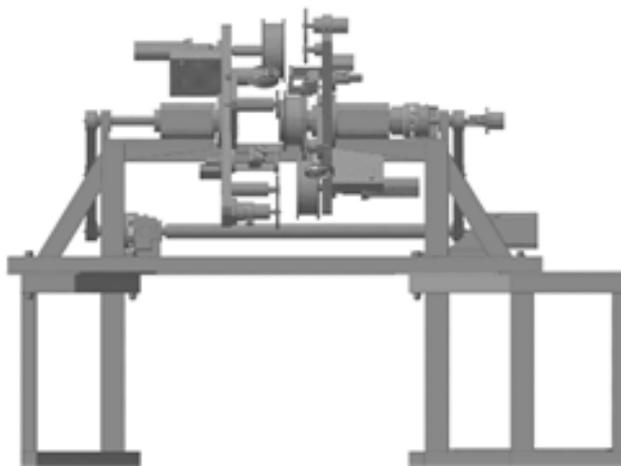


Рис. 1. Технологическое оборудование намотки чувствительного элемента ВОГ

Намотка оптического волокна (рис. 2) осуществляется квадрупольным способом, один квадруполь- 4 слоя волокна, поэтому волокно поступает с подающих катушек (2, 3) на приемную (1) попеременно, два слоя с одной катушки, два слоя с другой. Частота вращения задается асинхронным сервоприводом (7) и, посредством электромагнитных муфт (8, 9), передается катушкам.

В силу того, что моменты подающей и приемной катушек различаются, возникает величина натяжения оптического волокна, на участке между приемной катушкой и подающей (6). Величина натяжения измеряется тензометром (4,5).

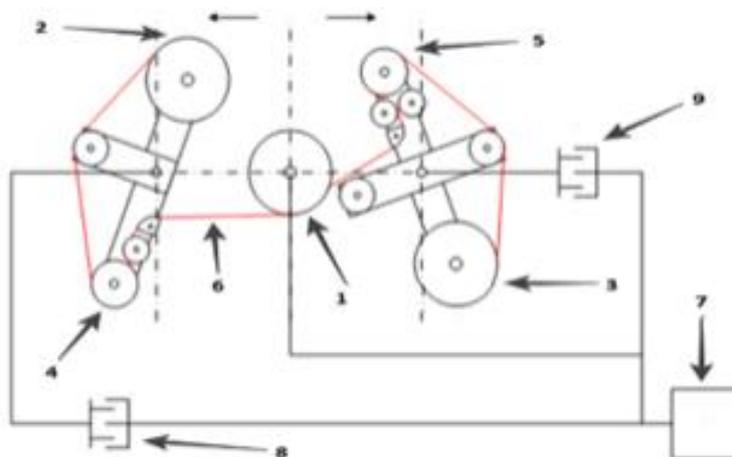


Рис. 2. Процесс перематки оптического волокна

Модель управления частотой вращения ротора

Для управления моментами катушек необходимо выбрать алгоритм управления, способный своевременно обрабатывать изменения натяжения волокна, полностью исключая возможность возникновения рывков.

Для управления моментами двигателей был выбран алгоритм векторного регулирования асинхронного электродвигателя. В рамках разработки модели управления величиной натяжения, было предложено упростить модель выбранного алгоритма, до модели регулирования частоты вращения ротора, абстрагируясь от блоков координатных и фазных преобразований (рис. 3).



Рис. 3. Модель управления частотой вращения ротора

В модели технологического оборудования намотки принято рассматривать расположение приемной катушки и подающей в одной плоскости. Катушки соединены оптоволоконном и приводятся во вращения двигателями. Асинхронный двигатель задает момент приемной катушки, серводвигатель задает момент подающей.

В качестве среды разработки была использована библиотека Simulink математического пакета MATLAB.

Модель содержит следующие блоки: блок задания скорости оператором, блок асинхронного двигателя, блок тензотметра, блок управляющего сигнал и блок серводвигателя. Так же присутствуют блоки параметров катушек.

Задание скорости оператором представляет собой ступенчатое изменение, требуемого оператором уровня, что отображено в результатах моделирования.

После задания скорости оператором асинхронный двигатель вырабатывает необходимый электромагнитный момент, для выхода и поддержания на заданный оператором уровень скорости. Электромагнитный момент двигателя зависит от массы закрепленной на валу катушки (рис. 4).

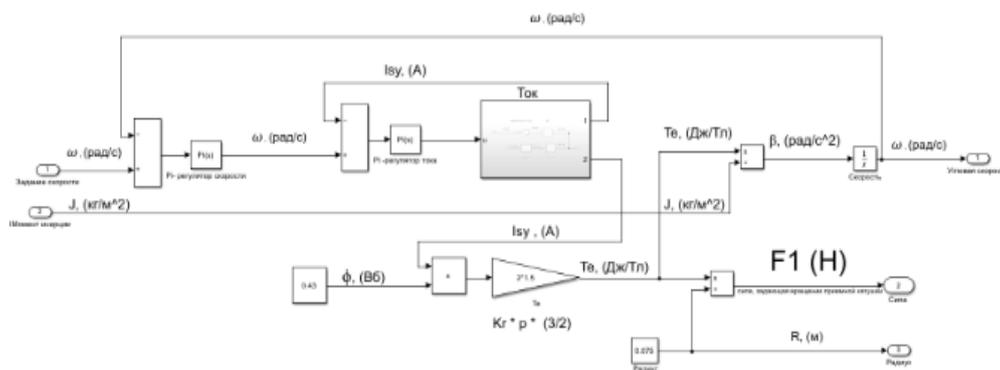


Рис. 4. Асинхронный двигатель

Масса приемной катушки и масса подающей катушки различаются, поэтому моменты, вырабатываемые асинхронным двигателем и серводвигателем, различаются. Следовательно, силы, приложенные к концам волокна на приемной и подающей катушках, также различны.

На вход тензометра поступает разность сил, приложенных к волокну. После пересчета разности сил в относительную деформацию, сигнал поступает на измерительный мост Уинстона (рис. 5).

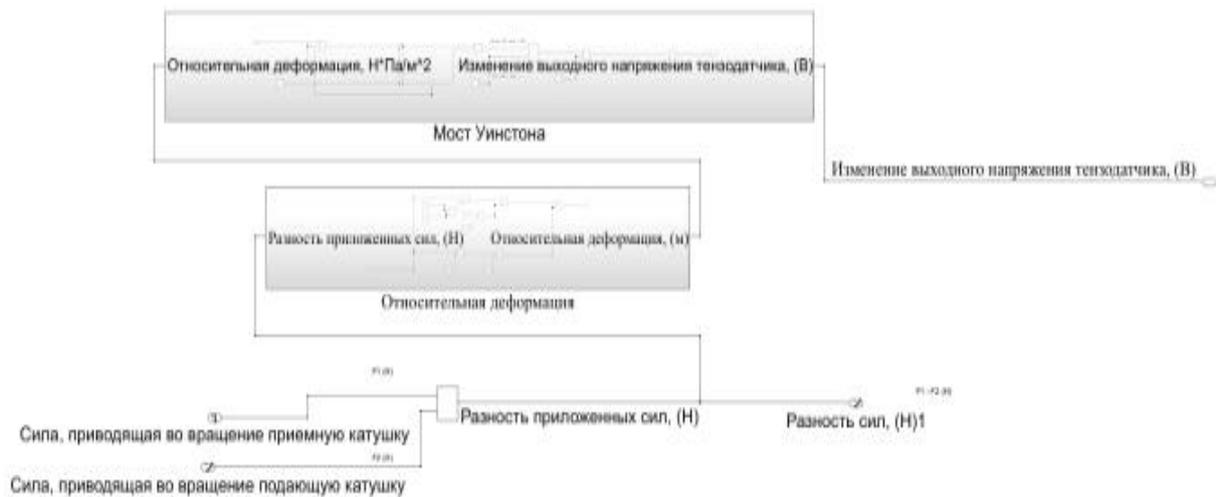


Рис. 5. Тензометр

На вход блока, формирующего управляющий сигнал, поступает выходное напряжение моста Уинстона. Значение выходного напряжения принято за фактическое значение силы натяжения оптоволокна. В блоке расположен пропорционально-интегральный регулятор, обрабатывающий изменение натяжения, относительно установленной величины. Установленная величина натяжения равна 0.52Н.

Выходной сигнал блока является управляющим для серводвигателя (рис. 6).

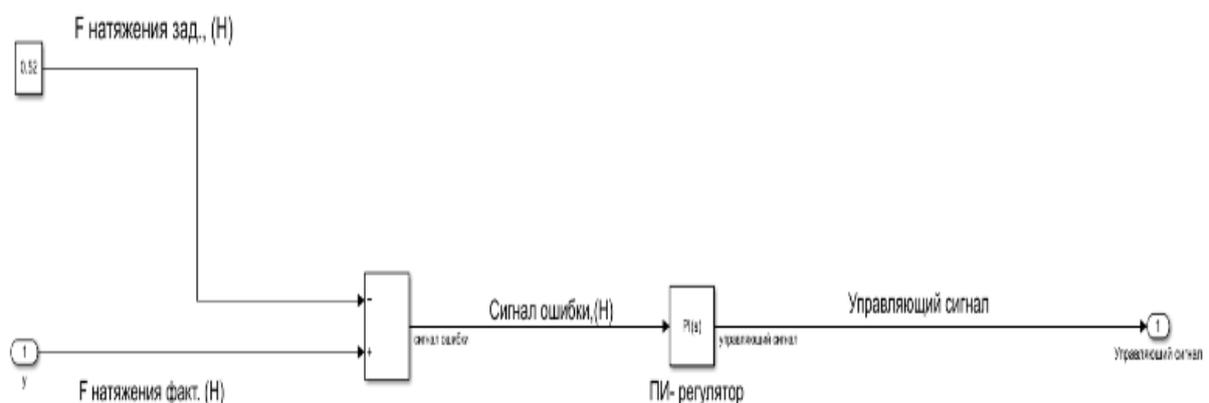


Рис. 6. Управляющий сигнал

В данной модели, структура блока серводвигателя не отличается от структуры блока асинхронного двигателя. Разница состоит в том, что серводвигатель должен преодолевать момент, возникающий от натяжения на волокне, а на асинхронном нет, так как он подключен через редуктор (рис. 7).

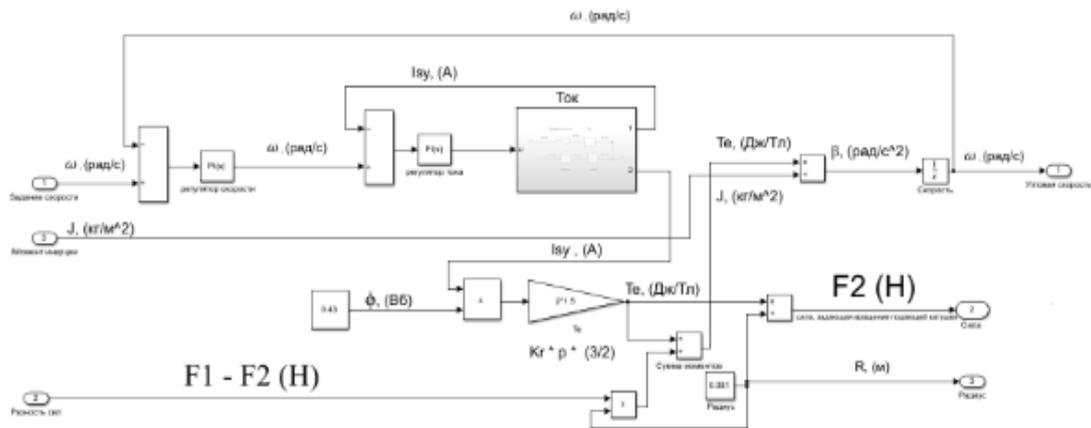


Рис. 7. Серводвигатель

Результаты моделирования

На графике видно, что катушка вращается таким образом, чтобы скомпенсировать возникающее натяжение. Скорость подающей катушки выделена синим цветом (рис. 8).



Рис. 8. Задание частоты вращения катушек

При этом, рывки натяжения возникают, в момент резкого изменения скорости, устанавливаемой оператором. Стоит отметить, что колебания натяжения, в процессе моделирования составили 0.0674Н, что превышает заданный диапазон величин $\pm 0.001\text{Н}$ (рис. 9).

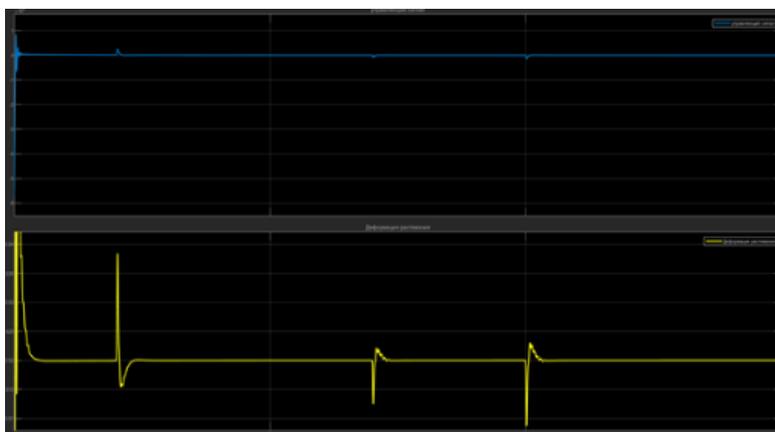


Рис. 9. Натяжение оптоволокна

Заключение

В процессе выполнения работы было произведено моделирование алгоритма векторного управления асинхронным двигателем, а также моделирование скорости вращения ротора, в упрощенном варианте представления векторного алгоритма управления асинхронным двигателем. Полученные в процессе моделирования коэффициенты PI- регулятора позволят ускорить процесс пусконаладочных работ реального оборудования. Необходимо доработать модель в виду ряда особенностей, связанных с отдельными элементами намоточного оборудования, а также с более точной калибровкой величины натяжения.

Выводы

Применение векторного алгоритма управления асинхронным и серво двигателями, в данной модели позволили исключить провисание и рывки волокна, плавно выводя величину натяжения на заданный уровень. Результаты моделирования показали, что в текущем варианте реализации станка, без дополнительных модификаций, рывки натяжения, возникающие при резком изменении скорости, будут превышать максимально- допустимое значение.

Возможным решением может быть уменьшение момента инерции, подающей катушки, увеличение частоты системы регулирования.

Литература

1. Новиков Р.Л. Технологическое оборудование и методы повышения качества намотки волоконного контура волоконно-оптического гироскопа: дис. канд. техн. наук. Университет ИТМО. 2014.
2. Мешковский И.К., Унтилов А.А., Киселев С.С., Куликов А.В., Новиков Р.Л. Качество намотки чувствительного элемента волоконно- оптического гироскопа. Изв. Вузов. Приборостроение. СПб. 2011. Т. 54. № 7. С. 76- 80.

Жигульский Владислав Евгеньевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р41072,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: urachko@gmail.com

Готская Ирина Борисовна

Год рождения: 1957

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

д.пед.н., профессор,

e-mail: iringot@yandex.ru

УДК 004

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ САЙТОВ-САТЕЛЛИТОВ**

В.Е. Жигульский

Научный руководитель – д.пед.н., профессор И.Б. Готская

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование проблем разработки и поддержки сайтов-сателлитов».

Аннотация

В работе рассмотрена область коммерческой недвижимости и проведен анализ и выбор современных технологий, как контейнеризация, оркестрация, системы автоматизированного сбора ошибок, конвейеризация, брокеры очередей и др. с целью разработки архитектуры и прототипа системы автоматизированного создания сайтов-сателлитов.

Ключевые слова

Сайты-сателлиты, автоматизация, коммерческая недвижимость, контейнеризация, оркестрация, микросервисная архитектура

Для крупных организаций требуется предоставлять свою информацию разбитую по различным отраслям деятельности. В сфере аренды коммерческой недвижимости критериями могут выступать территориальное расположение (склады на севере или определенная площадка), тип помещений (офисы, склады, производство), тип объекта (существующий или строящийся) или специальные условия аренды. Такое разбиение информации от головного сайта называется создание сайтов-сателлитов. В среднем у крупной компании по продаже и аренде недвижимости может быть от тридцати сайтов-сателлитов. Поддержка такого количества сайтов, некоторые из которых являются копиями одного из них с небольшими изменениями, требует много ресурсов и времени. Очевидно, что со временем данные сайты начинают «обрастать» своими собственными уникальными изменениями и количество ошибок, которое пропускают тестировщики увеличивается, умножаясь на общее количество сайтов и типов браузеров [1]. Очевидна необходимость проведения дополнительного исследования сайтов-сателлитов для определения требований и создания прототипа системы создания и управления шаблонными сайтами в рамках предметной области коммерческой недвижимости, что является целью исследования.

Грамотное управление сайтами-сателлитами позволяет увеличивать все показатели, важные для бизнеса, как просмотры, продажи, количество лидов и др. Создание узконаправленных сателлитов помогает увеличить количества лидов за счет конкретизации определенных требований и агрегация подходящих предложений в одном месте. Оптимальным подходом развития компании в рамках области коммерческой недвижимости это развертывание быстрых небольших сателлитов в рамках одной CRM-системы и разработка собственной системы управления сателлитами. Такой подход позволит достаточно быстро начать получать узконаправленный специализированный трафик на сателлиты и основной сайт, что приведет к повышению ключевых показателей компании, в частности лидов и прибыли. По результату анализа и сравнения технологий было выявлено, что технологически сложные проекты, к которым относится система автоматизированного создания сайтов-сателлитов, лучше всего реализовывать основываясь на микросервисной архитектуре с использованием технологии оркестрации контейнеров.

Микросервисная архитектура была выбрана по следующим преимуществам:

1. Через микросервисы можно объединять разные технологии, выбирая лучшие из возможных решений. А использование стандартных протоколов взаимодействия (HTTP-вызовы через API, брокеры сообщений) позволяет писать микросервисы на разных языках программирования и использовать разные технологии хранения данных.
2. Масштабируемость. Каждый сервис можно контейнеризировать и увеличивать пропускную способность при нагрузках, масштабируя контейнеры.
3. Стабильность системы. Сбои и дефекты в одном микросервисе не повлияют на работу остальных, поэтому сама система будет функционировать с минимальными простоями.

Для минимальной работоспособной системы нужны следующие приложения: веб-приложение для взаимодействия с пользователем, backend-приложение для взаимодействия с веб-приложением и остальными модулями, база данных для хранения информации, брокер очередей для создания персистентной очереди на работу с сайтами-сателлитами, WebSocket server для обмена сообщениями в реальном времени, приложение для создания сайтов по шаблонам, также выполняющее функцию по предпросмотру контента шаблонов. В связи с тем, что микросервисная архитектура предполагает использование разных методов решения узких задач, то было принято решение использовать подходящие языки программирования и стек библиотек для работы с ними в конкретных микросервисах.

Так, например, сборка шаблонных сайтов и предпросмотр страниц необходимо разрабатывать на PHP 7 версии, связи с тем, что этот язык программирования лучше приспособлен под динамическую работу с HTML. Интерфейсная часть приложения должна быть разработана с использованием фреймворка Vue.js 2 версии, реализующая SPA. Остальные микросервисы необходимо разрабатывать на программной платформе Node.js версии 15 в связи с ее асинхронностью, скоростью работы и обширным набором встраиваемых модулей.

Модель взаимодействия микросервисов друг с другом демонстрируется на рис. 1. Клиентское приложение используется для управления контентом и мониторингом сайтов-сателлитов. Серверное приложение «общается» с базой данных сохраняя данные от клиентского приложения, а также при таких условиях, как изменение сайта, отправляет соответствующее уведомление в брокер очередей. Приложение процессора читает брокер очередей запускает новые контейнеры с сайтами-сателлитами при их создании. Также при получении уведомления о изменении сайта\помещений инициализирует пересборку контейнера в первом случае или отправку актуальных данных во втором. Сайты-сателлиты содержат основной информационный контент и взаимодействуют с клиентами. При создании инициализируют первичную загрузку

данных в локальную базу данных, а при поступлении данных о помещениях – обновление этих данных.

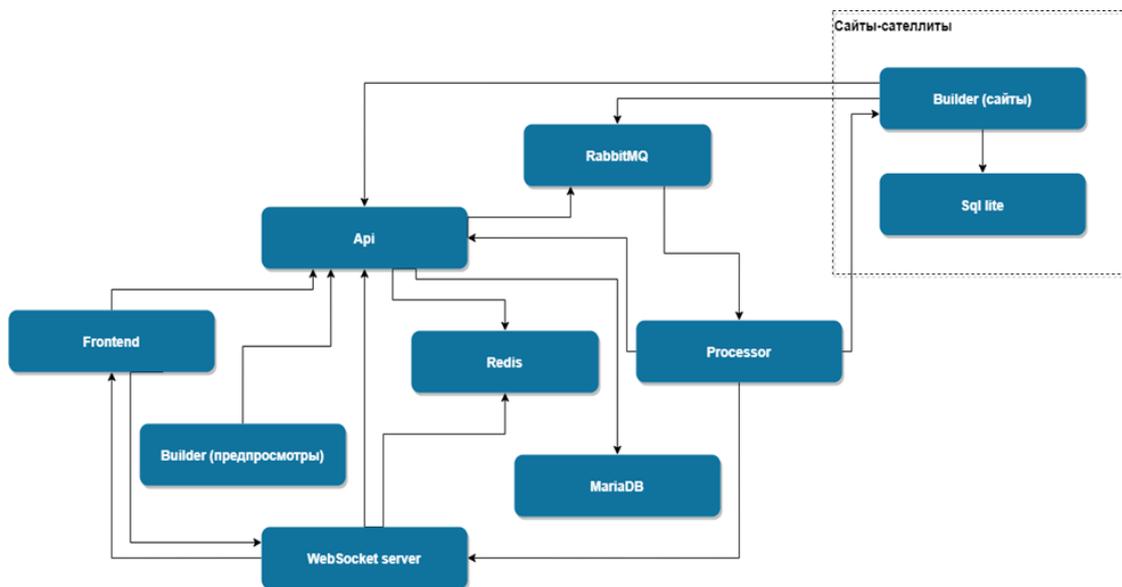


Рис. 1. Модель взаимодействия микросервисов

Исходя из модели видно, что сервисы взаимодействуют как напрямую, так и через посредников, как брокер очередей RabbitMQ и WebSocket сервер. Конфигурирование взаимодействия сервисов между собой, а также масштабирование их при нагрузках, представляет собой отдельную сложную задачу, решаемую в рамках исследования с помощью использования Kubernetes и Docker.

Для определения переменных окружения, зависимостей, масштабирования и быстрого деплоя приложений в работе используется оркестратор контейнеризированных приложений – Kubernetes. Он группирует контейнеры, составляющие приложение, в логические единицы для более простого управления. Для масштабирования кластера к нему могут подключаться другие ноды. Нагрузка между нодами будет распределена автоматически, исходя из потребляемых микросервисами ресурсов, но также присутствует возможность однозначного определения ноды для деплоя определенных приложений.

Важной особенностью использования оркестратора контейнеров в том, что каждый микросервис (приложение) должно быть контейнеризировано. Для контейнеризации в работе используется Docker. Он устраняет повторяющиеся рутинные задачи настройки и используется на протяжении всего жизненного цикла разработки для быстрой, простой и переносимой разработки приложений. Важно подчеркнуть потенциальную полезность и преимущества Docker в процессе разработки программного обеспечения, которые он может принести, в том числе [2]:

- быстрое развертывание приложений,
- переносимость между машинами,
- контроль версий и повторное использование компонентов,
- совместное использование изображений и файлов докеров,
- малый вес образов и минимальные накладные расходы,
- упрощенное обслуживание.

Контейнеризация приложения подразумевает под собой использование образов [3]. Для создания образа необходимо написать Docker файл – пошаговую инструкцию для настройки системы. При воспроизведении Docker`ом инструкции создается образ.

Модель взаимодействия микросервисов в рамках среды Kubernetes демонстрируется на рис. 2.

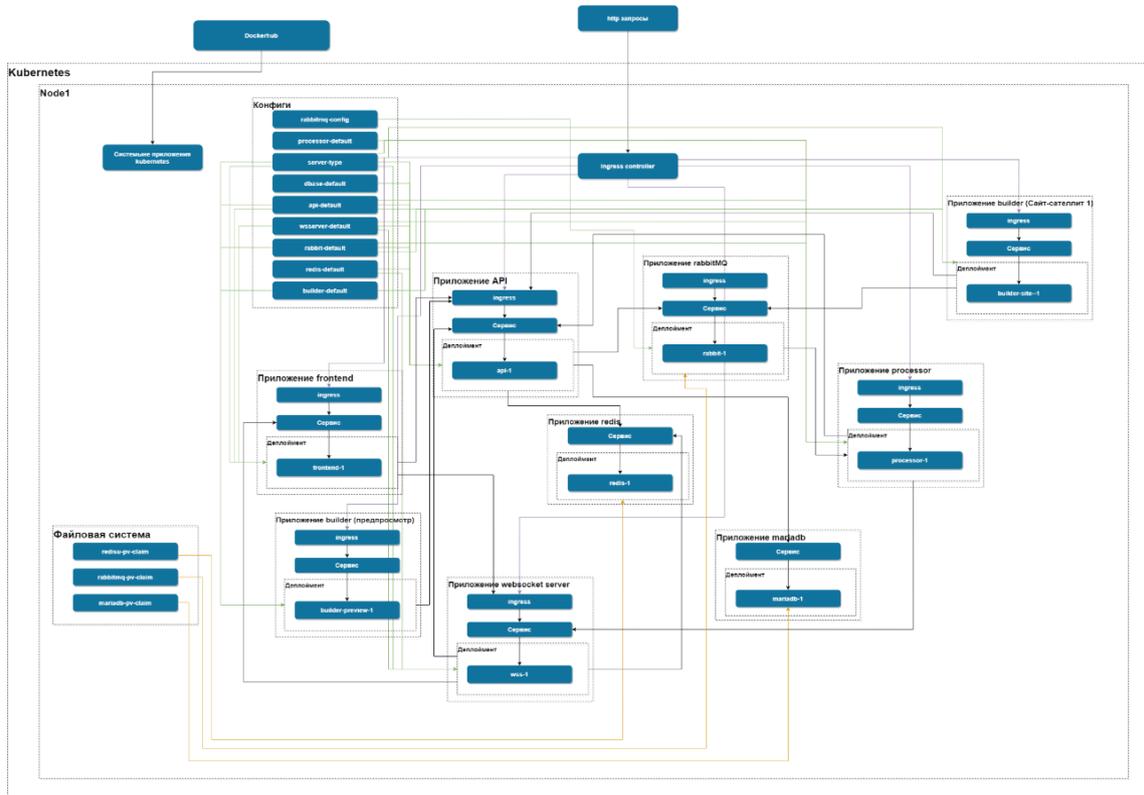


Рис. 2. Модель взаимодействия микросервисов в рамках среды Kubernetes

На примере сравнения взаимодействия приложения frontend с API и processor с API (рис. 3) наглядно видны отличия взаимодействия приложений по сервису и по доменному имени. При обращении к приложению со стороны серверной части обращение организовано к сервису, который выступает балансировщиком нагрузки, т. к. в таком случае приложению не открывается доступ вне кластера, а при обращении по доменному имени балансировщиком нагрузки является ingress controller, который выступает веб-сервером Nginx и преобразует DNS имена. DNS имена присваиваются сервисам приложения с помощью конфигурации типа ingress.

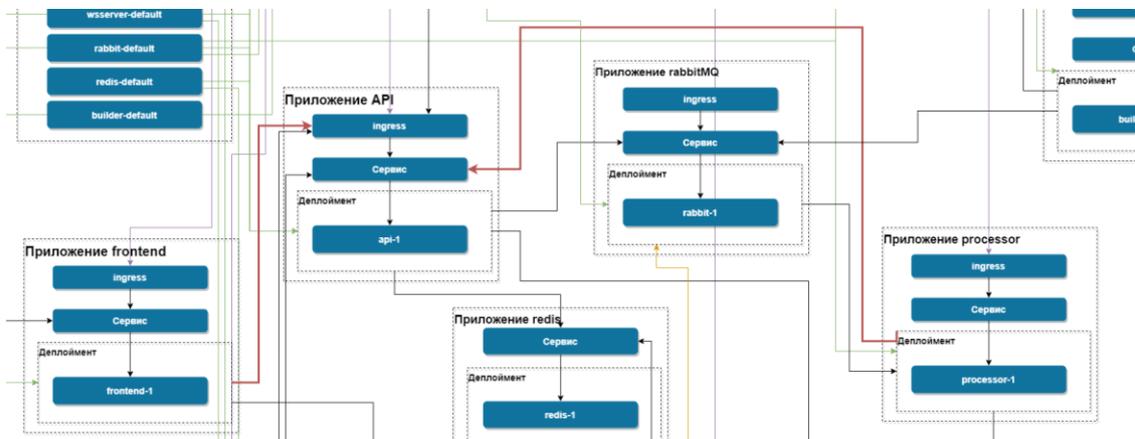


Рис. 3. Сравнение сервисного и доменного взаимодействия

Немаловажным в системе автоматизированного создания сайтов-сателлитов является использование сервиса автоматизированного сбора ошибок. В своем труде «Exit, Voice and Loyalty» [4] Альберт Хиршман указывает, что у пользователей, которые недовольны продуктом есть лишь два выхода: «уйти и не пользоваться продуктом или сообщить о возникших проблемах». Хиршман описывает, что тот, кто отказался использовать наш продукт, вряд ли сообщит о проблемах, а более заинтересованный человек может сообщить о проблеме и с меньшей вероятностью откажется от дальнейшего использования. Получается два исхода: или останутся лояльные пользователи, сообщающие о возникших проблемах, или все пользователи уйдут. Бизнесу важно собирать информацию об ошибках от пользователей, а собирать информацию, когда на руках имеется больше 15-и самостоятельных проектов (в т.ч. сайтов и микросервисов) становится крайне сложно. Для решения этой проблемы можно добавить на каждый сайт форму обратной связи для отправления подробностей об возникших ошибках, что покрывает ту часть ошибок, которая легко описывается обычными клиентами без необходимости вникать в бизнес-процессы или исходный код. По большей части это ошибки связанные с недостоверной информацией или структурой приложений (сайтов). Для сбора второй части ошибок, которые описывают поведение кода на стороне клиента (frontend) или на стороне сервера (backend) в данном исследовании предлагается интегрирование одного из веб-сервисов по автоматизированному сбору и мониторингу ошибок. Такие сервисы позволяют вести мониторинг в реальном времени, отслеживать цепочку вызовов, контекст, а главное – система позволяет опережать клиентов и устранять проблемы, прежде чем они узнают, что что-то не так.

В данной работе для использования была выбрана система автоматизированного сбора ошибок Sentry.io. Данная система в бесплатной версии имеет наиболее полный функционал, необходимый для отслеживания возникающих ошибок начиная от коммита в репозиторий, заканчивая полным путем прохождения ошибки по коду. Также основным преимуществом является возможность создания локального сервиса Sentry, что еще больше расширяет функционал. Для внедрения Sentry.io необходимо создать проект под каждый сайт\группу сайтов, добавить соответствующую библиотеку в кодую базу и указать авторизационный токен проекта.

Написание интеграционных и unit-тестов является методом превентивного обнаружения и устранения ошибок до этапа деплоя в среду выполнения. В данном исследовании тестирование реализовано на примере микросервиса API, написанного на Node.js. Данное приложение является Http сервером и отдает информацию по API. За тестирование отвечают в основном два модуля: Mocha и Chai.

Тестирование и деплой всех приложений реализовано через CI/CD конвейер на базе Gitlab. Непрерывная интеграция (CI) работает, отправляя небольшие фрагменты кода в базу кода приложения, размещенную в репозитории Git [49], и при каждом получении запускает конвейер сценариев для сборки, тестирования и проверки изменений кода перед их объединением в основную ветвь. Непрерывная доставка и развертывание (CD) состоят из запуска конвейера, который по шагам производит тестирование, создание документации, развертывания приложения в производственной среде и другие описанные действия при каждом слиянии кода в заранее определенной ветви (или для всех).

Эти методологии позволяют выявлять ошибки на ранних этапах цикла разработки, гарантируя, что весь код, развернутый в производственной среде, соответствует стандартам кода, установленным для приложения.

Рассмотрим конвейер для микросервиса API. Первым этапом конвейера является тестирование. На этом этапе происходит подключение к кластеру, в конфигурации задачи подставляются уникальные значения, чтобы тест был независим от разных

конвейеров, далее происходит ожидание выполнения задачи. При условии, что задача была выполнена успешно, происходит вывод результата на экран и удаление теста из кластера и запустится второй шаг – деплой в кластер. Если тестирование прошло неудачно, то конвейер завершится неудачей, а в кластере останется неудачно выполненная работа по тестированию. В логах конвейера можно посмотреть название работы и по названию вывести лог на экран командой «`kubectl logs -n default $(kubectl get pods -n default --selector=job-name=название задачи --output=jsonpath='{.items[*].metadata.name}')`»).

После деплоя всех сервисов имеется полностью готовая к работе система автоматизированного создания сайтов-сателлитов. Интерфейс системы демонстрируется на рис. 5. Сверху располагается кнопка отправки на публикацию. Она активна только при определенных условиях, как: выбран шаблон, указано доменное имя и др. На экране редактирования информации изменяются все настройки сайта, контактная информация, шаблон и публикации. Контактная информация выводится в специально отведенных элементах шаблона, например, в блоке «карта с контактами». Шаблон является основной для уникальности сайта-сателлита. Шаблон состоит из трех основных компонент: описание стилей, страниц и информации о сайте. Комбинация страниц с блоками, а также стилевые решения шаблона, позволяют добиться высокой уникальности как разных шаблонов, так и разных сайтов на одном шаблоне. Функция редактирования списка публикаций позволяет добавлять на сайт публикации с возможностью их фильтрации по площадкам и характеристикам. При сборке сайта публикации выгружаются в локальную базу данных и хранятся там до следующего обновления.

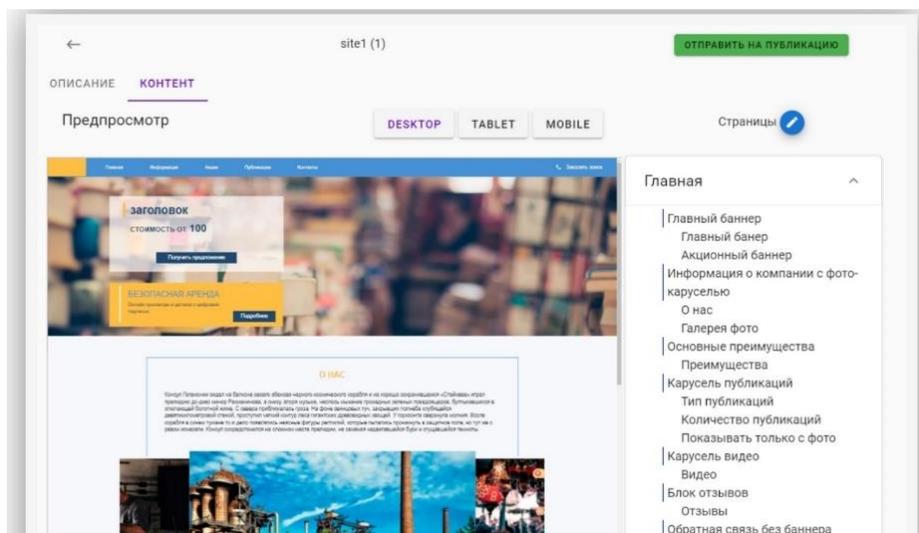


Рис. 5. Страница предпросмотра контента

В ходе работы были решены следующие задачи: разработана архитектура системы по автоматизированному созданию сайтов-сателлитов, модели взаимодействия, модель базы данных; разработаны работающие прототипы микросервисов и интерфейс веб-сервиса; прототип системы поставлен на конвейер CI/CD на базе оркестратора контейнеров Kubernetes; в прототип системы внедрен сервис автоматизированного сбора ошибок и модули тестирования. Разработанная архитектура и прототип соответствуют требованиям к системе создания и управления шаблонными сайтами в рамках предметной области коммерческой недвижимости.

В дальнейшей работе планируется улучшение прототипа системы и периодическая актуализация используемых технологий в системе в целях облегчения процесса разработки и поддержки большого количества сайтов-сателлитов.

Литература

1. Жигульский В.Е. Влияние веб-сервиса автоматизированного сбора данных об ошибках на показатели компании по аренде коммерческой недвижимости // Научный журнал «Инновации. Наука. Образование». 2021. №31. С.400 – 406.
2. Васильев П.А. Развертывание сервера с помощью технологии docker // Вестник науки и образования. 2016. №12. С.23 – 28.
3. Баранов А.В., Николаев Д.С. Использование контейнерной виртуализации в организации высокопроизводительных вычислений // Программные системы: теория и приложения. 2016. №1. С.164 – 170.
4. Hirschman A. Exit, Voice, and Loyalty: Responses to Decline in Firms, Organizations, and States. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1970.

Жолобов Сергей Анатольевич

Год рождения: 1985

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В42652,

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

e-mail: zholobovsergey@yandex.ru

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 66.021.2.063.8

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ СМЕСИ
НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ
ПЕРЕКАЧКЕ ПО НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДУ**

С.А. Жолобов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Р.О. Олехнович

Аннотация

В работе рассмотрены метод последовательной перекачки нефтепродуктов, основные показатели их качества. Установлены посредством инфракрасной (ИК) спектроскопии значения концентраций различных марок автомобильных топлив (бензинов, дизельного топлива, керосина) в их смесях при различном соотношении компонентов. Применен регрессионный метод расчета. Подобраны поточные анализаторы. Эксперимент проводился на ИК спектрометре TENSOR 37 фирмы «Bruker Optik GmbH» (Германия).

Ключевые слова

Нефтепродукты, нефтепродуктопровод, последовательная перекачка, смесеобразование, показатели качества, ИК спектроскопия, метод проекции на латентные структуры, поточные анализаторы.

Под последовательной перекачкой понимается процесс транспортировки на дальние расстояния различных по свойствам нефтепродуктов по одному трубопроводу с установленной скоростью.

В настоящее время протяжённость магистральных нефтепродуктопроводов в России составляет порядка 19 тыс. км.

Механизм смесеобразования заключается в том, что при перекачке в турбулентном режиме позади идущий продукт вклинивается во впереди идущий продукт, и в результате конвективной диффузии и пульсации потока происходит их перемешивание между собой в контактной зоне.

На рис. 1 представлен механизм смесеобразования нефтепродуктов при их последовательной перекачке по нефтепродуктопроводу.



Рис. 1. Смесеобразование нефтепродуктов, перекачиваемых последовательно друг за другом

Смесь отличается от исходных («чистых») продуктов по физико-химическим свойствам и не может быть реализована как товарный продукт, не является новой маркой топлива.

Применяются два основных способа раскладки смеси для её исправления и получения товарного продукта [1]:

- 1) с равномерной подачей смеси одновременно в несколько резервуаров;
- 2) со строго определённой (дифференцированной) подачей смеси в каждый из таких резервуаров.

Смесь рассчитывается таким образом, чтобы обеспечивался запас качества.

На рис. 2 и рис. 3 представлены основные способы раскладки смеси сходу.

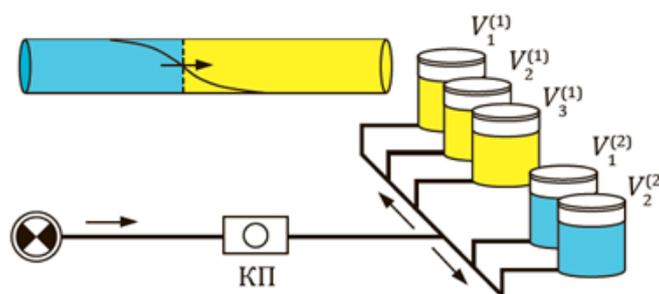


Рис. 2. Раскладка смесей нефтепродуктов в конечном пункте (КП) приёма-сдачи нефтепродуктопровода

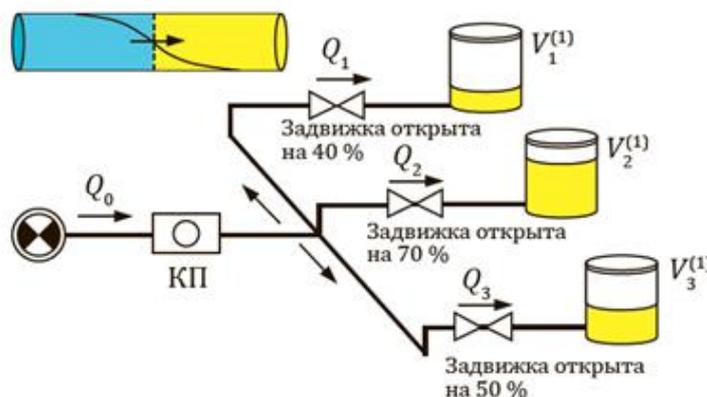


Рис. 3. Раскладка смесей нефтепродуктов в конечном пункте (КП) с дифференцированной подачей смеси в резервуары

Для уменьшения смесеобразования используются следующие мероприятия:

1. Оптимальные параметры транспортировки (безостановочно, режим «из насоса в насос», максимальные скорости транспортировки).
2. Контроль качества, осуществляемый, как правило, за 10-15 км до конечного пункта приёма смеси.
3. Противотурбулентные присадки (разделители): механические и жидкостные – полимерные добавки.
4. Риски оценки качества (недостоверное определение границ зоны смесеобразования, прием некондиционного топлива в резервуар с товарным продуктом, завышение объёмов смеси, принимаемых в смесевой резервуар).

При последовательной перекачке возможно изменение значений показателей качества нефтепродуктов [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее подходящими являются методики ИК спектроскопии и хеометрики.

При этом необходимо учесть, чтобы анализ производился дистанционно и при этом непосредственно в трубе без применения байпасов и запорно-регулирующей арматуры.

Для проведения эксперимента были взяты бензины различных марок: АИ-92-К5 (Экто), АИ-95-К5 (Экто Plus) и АИ-100-К5 (Экто 100), ДТ марки ДТ-3-К5 (Экто Diesel), приобретенные на автозаправочной станции ПАО «Лукойл» по адресу: Санкт-Петербург, Свердловская наб., 9, а также керосин марки ТС-1 (изготовитель: ПАО «Кинеша», расфасовано: ОАО «Химик»), приобретенный в автомагазине «Piteroils» (пр. Науки, д. 10к1).

Были приготовлены вручную с помощью пипетки парные смеси исходных указанных топлив в стеклянных пробирках.

В табл. 1 представлен состав наборов смесей, используемых при многомерной калибровке.

Таблица 1

Состав парных смесей автомобильных топлив

Наименование топлива	Парные смеси топлив
Дизельное топливо марки ДТ-3-К5	ДТ-3-К5 и АИ-92-К5
Керосин марки ТС-1	ТС-1 и ДТ-3-К5
Бензин марки АИ-92-К5	АИ-92-К5 и АИ-95-К5
Бензин марки АИ-95-К5	АИ-95-К5 и АИ-100-К5
Бензин марки АИ-100-К5	ТС-1 и АИ-100-К5

Десять смесей для каждой пары топлив были подготовлены для изучения ИК спектров для каждой смеси.

Указанные образцы были использованы для подготовки калибровочного набора (смеси 25, 28,5, 62,5, 71,4 и 75 об.% для каждой пары топлив).

Далее образцы исходных топлив и их смесей исследовались на ИК спектрометре TENSOR 37, с помощью которого снимался фон.

Все спектры были записаны в диапазоне от 4000 до 600 см⁻¹, представленные на рис. 4.

При расшифровке спектров следует обратить внимание на хорошо разрешенные пики, поглощение которых больше 10 %, в областях 3600-3100, 3100-2850, 2850-1850 и 1850-1400 см⁻¹.

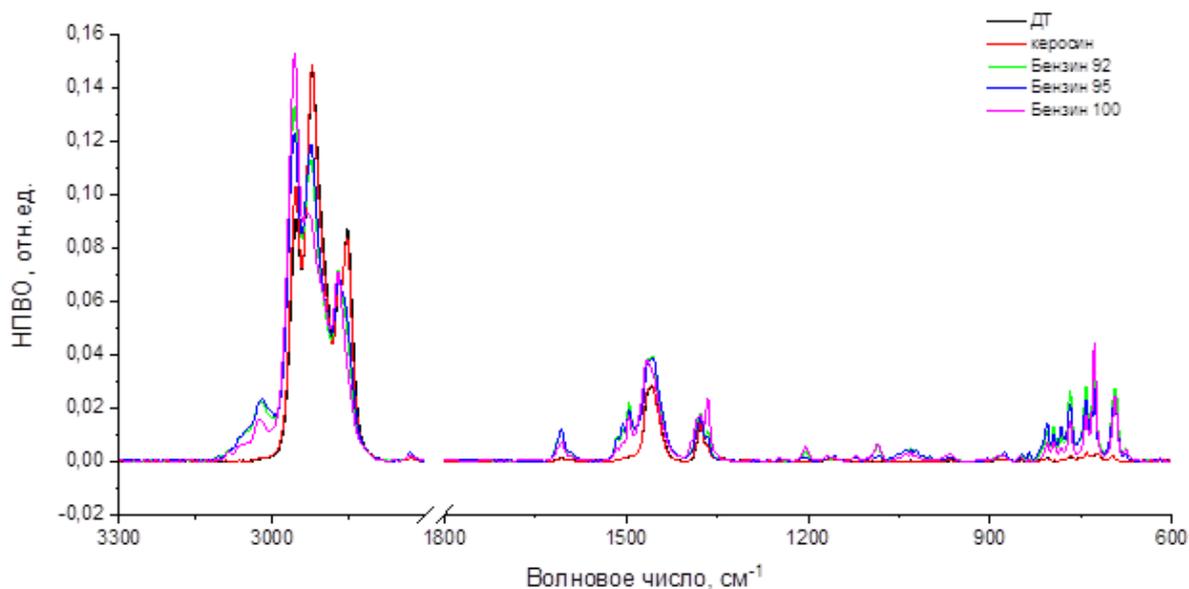


Рис. 4. ИК спектры 5-ти различных топлив

При расшифровке спектров следует обратить внимание на хорошо разрешенные пики, поглощение которых больше 10 %, в областях 3600-3100, 3100-2850, 2850-1850 и 1850-1400 см^{-1} .

Для смеси ДТ и керосина наблюдаются незначительные различия в интенсивности (полосы поглощения 2955 см^{-1} – валентные асимметричные колебания CH_3 групп), 2852 см^{-1} – валентные симметричные колебания CH_2 групп, в области деформационных колебаний 814, 766, 740 и 697 см^{-1} соответственно).

Смеси ДТ и АИ-92 на рис. 5 различаются значительно (полосы поглощения 3024 см^{-1} – валентные колебания $=\text{C}-\text{H}$, 2956, 2920, 2870 и 2852 см^{-1} – валентные асимметричные и симметричные колебания CH_3 и CH_2 групп соответственно, 1605 см^{-1} – колебание ароматического кольца, 1495, 1457 и 1366 см^{-1} – деформационные колебания групп CH_3 и CH_2 , и ряд полос в области «отпечатков пальцев»).

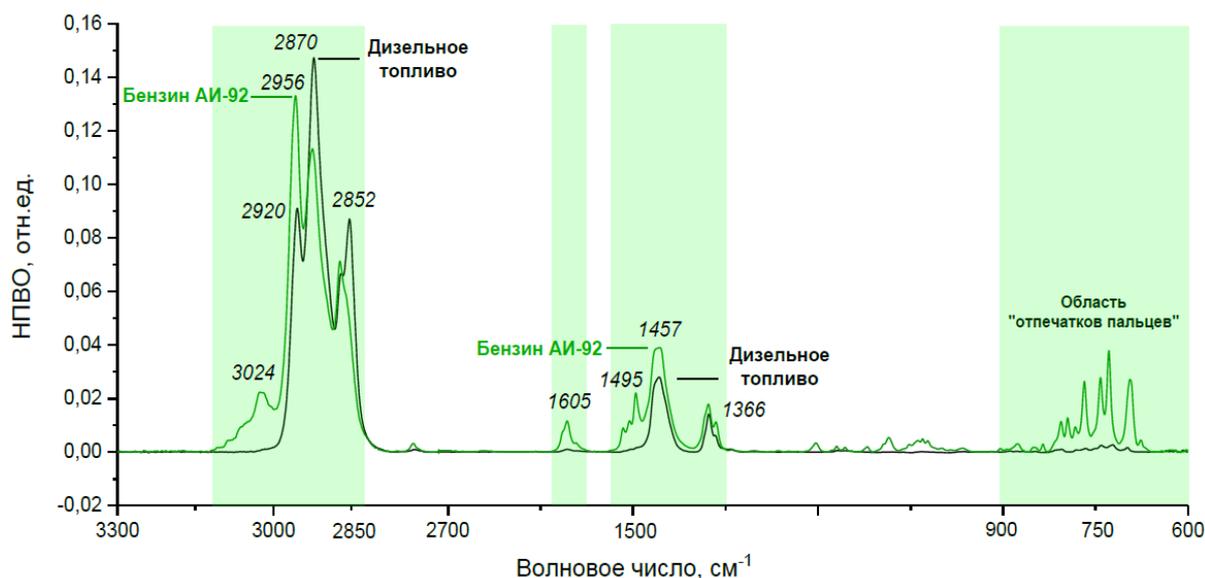


Рис. 5. ИК спектры ДТ и бензина АИ-92

При сравнении АИ-92 и АИ-95 можно наблюдать лишь незначительные различия в интенсивности полос 2950 и 2920 см^{-1} , и на частотах 1202, 1084 и 693 см^{-1} , небольшое различие в соотношении полос 780/770 и 740/730 см^{-1} соответственно.

Наибольшее отличие между АИ-95 и АИ-100 наблюдается на волновых числах 3020, 2955, 2925, 1366, 1203, 1084 см^{-1} и в соотношении интенсивности полос 740/730 см^{-1} .

Керосин и АИ-100 различаются также значительно, как и ДТ с АИ-92 (области валентных колебаний =C-H, CH₃ и CH₂ групп, колебаний ароматического кольца, в области деформационных колебаний CH₃ и CH₂ групп).

Эти спектры указывают на то, что обычные процедуры калибровки могут иметь ограниченное применение для количественного определения компонентов топлив в смеси. Следовательно, одновременное определение этих перекрывающихся топлив требует применения метода многомерной калибровки для решения данной задачи.

На рис. 6 представлены ИК спектры ДТ и АИ-92 и их смесей с указанием доли ДТ в смеси в диапазоне 3100-2800 см^{-1} , представляющий наибольшую информативность.

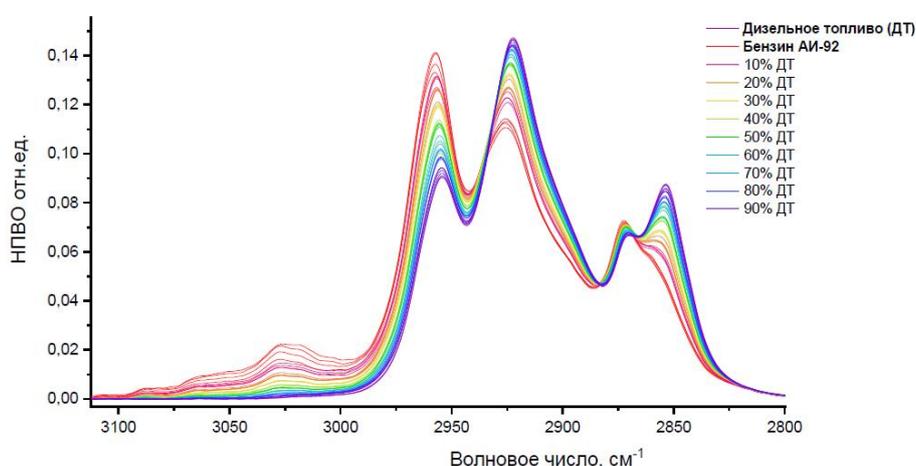


Рис. 6. ИК спектры ДТ и АИ-92 и их смесей с указанием доли ДТ в диапазоне 3100-2800 см^{-1}

Концентрация топлива в их смесях оценивалась популярным многомерным методом проекции на латентные структуры [3].

Для смеси ДТ с бензином АИ-92 наибольшую значимость представляет спектральный диапазон 3000-2800 см^{-1} .

На рис. 7 показан график зависимости между концентрациями ДТ с АИ-92 в калибровочной и тестовой смесях в указанном диапазоне.

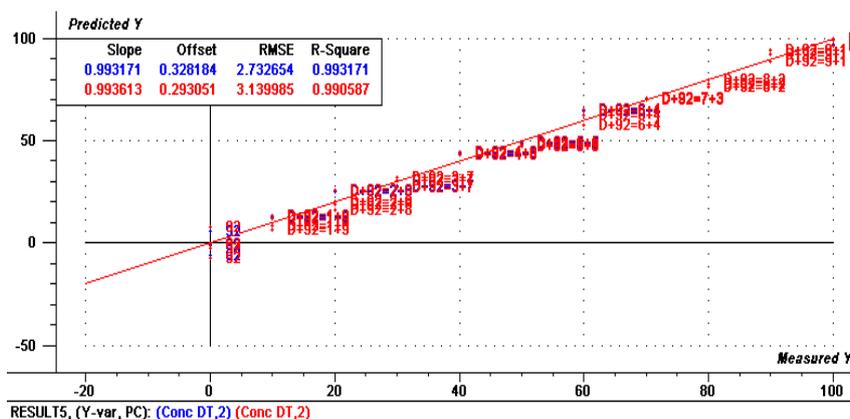


Рис. 7. График счетов смеси ДТ с бензином АИ-92

В табл. 2 представлены результаты ПЛС регрессии, из которой следует, что наибольший коэффициент детерминации имеет модель «Б» (диапазон 3000-2800 см^{-1}).

Таблица 2

Результаты ПЛС регрессии для 4-х рассчитанных моделей

Модель	4000-600 см^{-1} (Модель «А»)	3000-2800 см^{-1} (Модель «Б»)	3100-2800, 1630-1580, 1524-1486, 1395-1350 см^{-1} (Модель «В»)	3025, 2957, 2852, 1606, 1516, 1505, 1495, 1384, 1366, 1202, 1084, 1029, 805, 795, 767, 741, 728, 693, 675 см^{-1} (Модель «Г»)
RMSEM	3,765959	3,139985	3,468122	5,581345
RMSEP	3,059772	2,732654	2,948272	4,652415
R ² m	0,987522	0,990587	0,988655	0,969997
R ² p	0,991141	0,993171	0,992050	0,980205

Аналогичные эксперименты проводились и с другими топливами при их смешении.

Сделаны следующие основные выводы:

1. Возможность использования поточных анализаторов методом ИК спектроскопии для выявления изменения качественных показателей топлив при их смешении, в том числе содержание общей серы в нефтепродуктах с применением NIR и FTIR-спектроскопии [4].

2. Допустимость использования АТ различных марок, купленных на одной или разных АЗС, но для более детального и качественного анализа необходимы топлива, взятые непосредственно на НПЗ.

3. Необходимо научно решить вопросы эффективности практического применения лабораторных и промышленных анализаторов именно на предприятиях ТЭК и выработать рекомендации по внедрению аналитической техники и информационных технологий с целью выполнения задач ресурсосбережения.

4. Требуется создать эталонную установку на базе лабораторного спектрофотометра, обеспечить метрологическую прослеживаемость к единой основе для сравнения с формированием принципиально новой методики (процедуры) выполнения измерений по данным калибровочных баз заказчика.

Литература

1. Лурье М.В. Раскладка смеси при последовательной перекачке нефтепродуктов / Лурье М.В., Тимофеев Ф.В., Серeda С.В. // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т. 7. № 2. С. 42-47.
2. Вишнеvская Ю.А., Аберкова А.С. Повышение эффективности системы управления качеством нефтепродуктов с использованием поточных анализаторов // Трубопроводный транспорт углеводородов: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Омск: Изд-во ОГТУ. 2018. С. 51-59.
3. Discover scientific knowledge and stay connected to the world of science | ResearchGate [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/> (дата обращения: 01.05.2021).
4. Клим О.В. Специфика построения промышленных анализаторных комплексов для

применения на трубопроводных системах / Клим О.В., Севбо С.Д., Москвин А.С. // Автоматизация в промышленности. 2020. № 3. С. 45-46.

Зилов Данил Сергеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер (ХБК),

студент группы №А42424,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: zilov.d@gmail.com

Комиссаров Алексей Сергеевич

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер (ХБК),

канд. биол. наук, в.н.с.,

e-mail: ad3002@gmail.com

УДК 579.25

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ, СТРУКТУРНОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АННОТАЦИИ ГЕНОМОВ ПРОКАРИОТ

Д.С. Зилов

Научный руководитель – канд.биол.наук, в.н.с. А.С. Комиссаров

Работа выполнена в рамках НИР-ФУНД №620156 «Разработка инновационных подходов к диагностике и терапии заболеваний на основе технологий геномики, иммунологии, микробиологии и наноинжиниринга».

Аннотация

В работе описано приложение для сборки и аннотации геномов прокариот Rapporti, его производительность на референсных (эталонных) данных и сравнение с аналогичными приложениями. Приложение реализовано под системы с ОС Linux на языке программирования Python и требует для запуска только сырые данные секвенирования.

Ключевые слова

Сборка генома, аннотация генома, прокариоты, конвейер (пайплайн), секвенирование.

Появление секвенирования следующего поколения впервые позволило значительно ускорить и удешевить определение полной последовательности генома миллионов организмов, от бактерий до человека. Это привело к открытию новых научных, промышленных и технологических областей. Если сто лет назад структура молекулы ДНК еще не была известна, то сейчас услуги секвенирования и анализа генома доступны не только ученым, но и обычным людям.

Со стороны биоинформатики очевидно, что по мере снижения стоимости секвенирования объем обрабатываемых данных будет стремительно расти. И это происходит уже сейчас: аналитики прогнозируют, что геномные проекты сгенерируют более 40 эксабайт ($40 * 10^9$ Гб) информации в ближайшее десятилетие. Поэтому необходимо определить те области анализа, которые являются рутинными, и автоматизировать их.

Процесс анализа последовательностей бактериальных геномов в целом состоит из следующих этапов:

1. Получение данных секвенирования.
2. Предподготовка данных.
3. Сборка генома.

4. Структурная аннотация генома.
5. Функциональная аннотация и расширенный анализ.

Этот процесс может быть автоматизирован для экономии времени и предотвращения случайных ошибок. При правильном подходе микробиологи без глубоких знаний в области биоинформатики смогут получать необходимую информацию об объектах исследования без посредников.

На данный момент существует несколько конвейеров анализа геномных данных прокариот от сырых прочтений секвенирования до аннотации. Их сравнительная характеристика приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика существующих приложений

Приложение	MEGAnnotator	MyPro	Tychus
Язык программирования	Python	Python	Java
Предподготовка сырых данных	Не включена	Собственный скрипт, Quality score тримминг	Trimmomatic
Сборка генома	ABYSS, MIRA	ABYSS, Edena, Soapdenovo, Spades	ABYSS, Velvet, SPAdes, IDBA-UD
Структурная аннотация	Prodigal v2, HMM на Pfam и NCBI Refseq базы данных	Prokka	Prokka
Особенности	Сортировка контигов с помощью эталонного генома, GBK файл для публикации в NCBI	Валидация аннотации с Refseq базой данных, корректировка сборки с CISA	Режим сборки с референсом, корректировка сборки с CISA
Год выпуска	2015	2015	2018
Доступ	https://github.com/GabrieleAndrea/MEGAnnotator	https://sourceforge.net/projects/sb2nhri/	https://github.com/Abdo-Lab/Tychus

Также, существует несколько веб-инструментов, например blast2go (<https://www.blast2go.com/>) и GenSAS (<https://www.gensas.org/>), их мы не учитываем в анализе так как работа с данными с их помощью или занимает долгое время, или требует оплаты.

Как можно видеть из таблицы, инструменты для полного анализа геномных данных не поддерживаются как минимум три года. За это время в биоинформатике было разработано множество новых полезных приложений и подходов для решения задач. Например, сейчас доступны приложения и база данных для функциональной аннотации генов и для каждого этапа возможно организовать контроль качества. Поэтому было решено разработать собственное stand-alone приложение с удобным интерфейсом, включающим передовые разработки для предподготовки данных, структурной и функциональной аннотации геномов прокариот.

Для организации работы пайплайна была выбрана система организации рабочего процесса Snakemake [1]. Система позволяет объединить в одну алгоритмическую структуру запуск нескольких приложений, с возможностью использовать выходы одних инструментов для запуска последующих. Snakemake написан на Python и позволяет использовать код, написанный на Python, в конвейерах совместно с основным алгоритмом.

Организация алгоритма запуска приложений происходит с помощью специальных блоков – правил. Структура правила представлена ниже на рис. 1.

```
1 rule rulename:
2   input:
3     file_1 = "/path/to/input_1.file",
4     file_2 = rules.anotherrule.output.
5       out_file_1
6   log:
7     log_file = "/path/to/log_file.log"
8   threads:
9     N * workflow.threads
10  conda:
11    "/path/to/tool_conda_env.yaml"
12  output:
13    output_file_1 = "/path/to/output_1.file",
14    output_file_2 = "/path/to/output_2.file"
15  benchmark:
16    "/path/to/benchmark.tsv"
17  params:
18    outdir = directory("/path/to/outdir"),
19    someparam = "parameter"
20  shell:
21    "tool -i1 {input.file_1} \
22      -i2 {input.file_2} \
23      -s {params.someparam} \
24      -o {params.outdir}"
```

Рис. 1. Структура организации правил в Snakemake

Каждое правило имеет свое имя, которое задается после «rule». В каждом правиле можно использовать различные ключевые слова:

1. **Input.** Каждый `input_file` проверяется на наличие в файловой системе. Если файл должен был быть создан другим правилом, то перед запуском настоящего правила будет запущено предыдущее. Если файла в системе нет, то программа прекратит запуск. Вызов переменных из других правил производится с помощью вызова по правилам `rules.rulename.keyword.variable`.

2. **Log.** Лог запуска каждой программы в конвейере можно специфично записывать в файл, задаваемый в этот параметр.

3. **Threads.** При запуске конвейера необходимо задать количество потоков. Эти потоки можно разделить на разные правила в пайплайне, что позволит распараллелить задачи и быстрее получить результат.

4. **Conda.** В Snakemake есть функция автоматической загрузки и установки приложений из системы менеджмента пакетов Conda в отдельные окружения. Параметры для установки задаются в специальный файл в формате `yaml`. В этом файле задается (i) приложение с возможностью выбора версии, и (ii) канал, из которого оно будет загружено.

5. **Output.** В данном параметре задается путь до выходных файлов правила. После завершения работы программы проверяется их наличие по пути. Если файлы не были созданы, то работа конвейера приостанавливается.

6. **Benchmark.** В данном параметре задается путь до файла, в который будет записываться время исполнения программы и объем использованной оперативной памяти.

7. Params. Здесь указываются дополнительные параметры и аргументы для запуска приложений. Например, папка, в которую будут складываться выходные файлы. Папка будет автоматически создана перед запуском программы, если ее путь задать в `directory()`.

8. Shell. В данном параметре указывается команда, которая будет исполняться в командной строке. Есть возможность вызова переменных из ключевого слова данного правила с помощью `{keyword.variable}`.

Правила для всех приложений записываются в один файл Snakefile. При запуске программы исполняются только первое правило. Поэтому в «input» первого правила задают все файлы, которые требуется получить на выходе из конвейера с помощью вызова по правилам.

Для организации всех входных и выходных файлов удобно использовать файл конфигурации. В Snakemake есть возможность использования этого файла для вызова переменных в каждом правиле. Конфиг задается с помощью ключевого слова `configfile` перед всем правилами в Snakefile. Вызов переменных производится также как в словарях на Python - с помощью ключей - `config["key"]`. Для формирования конфигурационного файла был написан скрипт `config-maker`. Приложение запускается перед запуском основного конвейера, формирует все пути для всех входных и выходных файлов и некоторые аргументы для запуска приложений. Конфиг создается в соответствии с параметрами запуска Rappori, например префикса выходных файлов или выходной директории.

Программа проходит через все вышеперечисленные этапы обработки геномных данных. В качестве входных данных выступают сырые данные секвенирования в формате FASTQ. Перед запуском программы пользователь выбирает режим запуска. Rappori имеет несколько режимов - для коротких прочтений (Short-read), для длинных прочтений (Long-read) и гибридный (Hybrid). На выходе пользователь получает папки с результатами работы всех инструментов. Схема работы программы приведена на рис. 2.

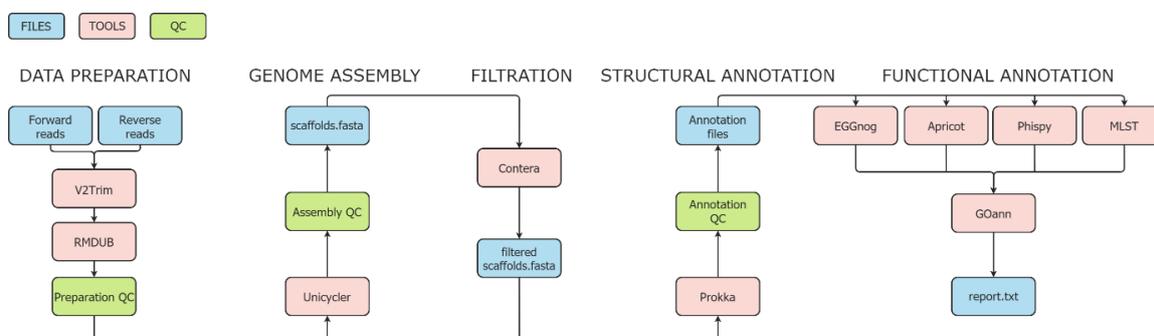


Рис. 2. Схема работы Rappori

Rappori намеренно не удаляет выходные файлы инструментов, которые обрабатывают данные в процессе работы программы. При дальнейшем анализе эти данные могут пригодиться пользователю для более тонкой обработки результатов. Также, пользователь имеет возможность изменять параметры выполнения программы. Так как Rappori имеет строго организованную структуру, нетрудно понять принцип его работы с опытом программирования.

Для тестирования работы были выбраны сырые данные секвенирования трех бактерий: *Pseudomonas aeruginosa* strain AG1, *Escherichia coli* O26:H11 и *Staphylococcus aureus*. Бенчмарк проводился с использованием 32 потоков, без ограничения по оперативной памяти (в системе ее 3 Тб). Для сравнения результатов анализа использовались данные референсных бактерий из базы данных NCBI.

Помимо статистических параметров (общая длина сборки, N50 сборки и др.) для оценки качества используются:

1. Количество проаннотированных генов CDS (белок-кодирующих генов), тРНК, и рРНК.

2. Процентное содержание генов-однокопийных ортологов, соответствующих семейству бактерии (BUSCOs), для определения качества сборки генома и последующей аннотации [2].

3. Среднюю нуклеотидную идентичность с референсным геномом (ANI), для определения качества сборки генома [3].

4. Уникальные ортологи генов из базы данных Gene Ontology (GOs) [4] и Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGGs) [5], для характеристики функций проаннотированных генов.

Результат теста производительности на данных *Pseudomonas aeruginosa* strain AG1 представлен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение производительности Rapporі в разных режимах

Параметр	Short-read режим	Long-read режим	Hybrid режим	Референсный геном
Общая длина, нукл.	7 104 569	8 644 307	7 189 989	7 190 208
Число контигов	107	27	1	1
N50 сборки	214 934	2 027 327	7 189 989	7 190 208
Доля референса, %	95.075	95.798	99.992	100
CDS гены	6557	11491	6616	6,697
tRNA	70	90	76	65
rRNA	3	17	12	12
BUSCOs, %	100.0	54.0	100.0	100
ANI, %	99.2119	99.0491	99.9988	100
Уникальные GOs	3825	3779	3826	3828
Уникальные KEGGs	2867	2795	2870	2873
Время выполнения	8Ч15М	3Ч1М	11Ч23М	-
Объем RAM, ГБ	31.5	61	68	-

Также был проведен тест скорости работы при использовании разного количества потоков и с ограничением памяти. Тесты были составлены так, чтобы смоделировать ситуацию использования пайплайна на домашних компьютерах разной мощности и на сервере\кластере. Результаты тестирования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение времени работы Rapporі в разных режимах

Количество потоков	Объем RAM, ГБ	Время выполнения, мин		
		Short-read режим	Long-read режим	Hybrid режим
8	16	86	179	829
16	32	39	102	439
32	64	30	66	211

Кроме того, мы проанализировали каждый этап конвейера для выявления узких мест. Сравнение времени выполнения этапов конвейера представлено в табл. 4.

Сравнение времени работы приложений, встроенных в Rannori в разных режимах

Приложение	Short-read режим, мин	Long-read режим, мин	Hybrid режим, мин
Unicycler	458	146	655
Eggnog-mapper	29	30	26
v2trim	5	-	5
Prokka	3	3	3
BUSCO	>1	1	>1

Как видно из результатов, гибридный режим показывает лучшую статистику сборки и аннотации по сравнению с эталонными данными, за ним следует режим коротких прочтений. Режим длинных прочтений показывает худшие результаты во всех случаях, с более высоким размером сборки, количеством ошибочных сборок, количеством переаннотированных генов и низким значением BUSCO. Это вызвано более высокой частотой ошибок при секвенировании. Использование длинных прочтений в сочетании с короткими прочтениями позволяет собрать геном в один контиг.

Время работы зависит от объема данных, выбранного режима и количества доступных потоков и памяти. Чем больше объем данных и меньше количество потоков и оперативной памяти, тем дольше время анализа.

Наиболее ресурсо- и времязатратной частью конвейера является сборка генома. Особенно выделяется сборка гибридным методом. В этом случае большое количество времени и оперативной памяти тратится на выравнивание контигов из коротких и длинных прочтений для формирования более длинных последовательностей.

Rannori доступен на Conda и GitHub (<https://github.com/aglabx/rannori>). Для его установки и запуска требуется четыре команды. За один запуск пользователь получает файлы со сборкой генома, структурной и функциональной аннотацией с контролем качества на каждом этапе. Помимо белок-кодирующих генов и их функций, аннотация включает в себя поиск генов антибиотикорезистентности, вирулентности, профагов и MLST тип бактерии. Приложение может быть рекомендовано для быстрого и точного анализа бактериальных геномов биоинформатикам и микробиологическим лабораториям.

В будущем планируется создание веб-версии приложения для анализа без опыта обработки геномных данных, с возможностью визуализации результатов в графическом интерфейсе.

Литература

1. Köster J., Rahmann S. Snakemake—a scalable bioinformatics workflow engine //Bioinformatics. 2012. V. 28. №. 19. P. 2520-2522.
2. Seppey M., Manni M., Zdobnov E.M. BUSCO: assessing genome assembly and annotation completeness //Gene prediction. – Humana. New York. NY. 2019. P. 227-245.
3. Jain C. et al. High throughput ANI analysis of 90K prokaryotic genomes reveals clear species boundaries //Nature communications. 2018. V. 9. №. 1. P. 1-8.
4. Gene Ontology Consortium. The Gene Ontology (GO) database and informatics resource //Nucleic acids research. 2004. V. 32. №. suppl_1. P. D258-D261.
5. Kanehisa M., Goto S. KEGG: kyoto encyclopedia of genes and genomes //Nucleic acids research. 2000. V. 28. №. 1. P. 27-30.

Иванова Анастасия Олеговна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42291с,

направление подготовки: 27.04.02 – Управление качеством,

e-mail: ivnastya1604@gmail.com

Василёнок Виктор Леонидович

Год рождения: 1950

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

д.э.н., профессор,

e-mail: vasilenokvl@niuitmo.ru

УДК 37.07

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А.О. Иванова

Научный руководитель – д.э.н., профессор В.Л. Василёнок

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

Аннотация

В работе рассмотрено использование цифровых технологий в образовательном процессе с целью повышения его качества. Проведено пилотное исследование требований работодателей по авторской методике опроса, что позволило выявить их требования к качеству подготовки специалистов, а также определены концепция и алгоритм внедрения непрерывного цифрового следа обучающегося для повышения качества образовательных услуг.

Ключевые слова

Управление качеством, качество образования, цифровой след обучающегося, опрос работодателей, профессиональное образование.

Стремительное развитие экономики в контексте цифровизации требует от образовательных учреждений соответствующей модернизации образовательного процесса с использованием цифровых технологий. В настоящее время в связи с пандемическим процессом образовательная система многих стран, в том числе России, была вынуждена оперативно перейти на дистанционный формат обучения, что повлекло за собой активное применение цифровых технологий в образовательном процессе. При этом важной задачей явилось сохранение качества образовательных услуг. Следовательно, актуальность данной темы заключается в том, что в настоящее время наблюдается масштабная цифровизация как образовательных процессов, так и процессов управления самой образовательной организацией, в том числе управления качеством. Поэтому важно определить роль цифровых технологий в повышении качества образовательных услуг. При этом в условиях цифровой трансформации важно оценивать влияние как внешней, так и внутренней среды образовательного учреждения. Именно поэтому в диссертационном исследовании проводится анализ потенциала цифровых технологий в трех аспектах: качество управления образовательной

организацией, качество подготовки обучающихся, качество учета факторов влияния внешней среды.

В числе конкретных результатов, полученных в ходе исследования и обладающих признаком научной новизны, можно указать следующие:

1. Разработана методика опроса работодателей для выявления их требований к качеству подготовки специалистов.

2. Разработан алгоритм формирования цифрового следа студентов для повышения качества профессионального образования.

Остановимся на каждом аспекте подробнее.

Оценка внешней среды организации, а именно требований работодателей к качеству подготовки специалистов, является важным аспектом в контексте предоставления качественных образовательных услуг для подготовки высококвалифицированных специалистов, востребованных на рынке труда.

В рамках пилотного исследования были разработаны анкеты по 4 направлениям подготовки: «Туризм», «Бизнес-администрирование», «Парикмахерское искусство» и «Дизайн интерьера». Опрос работодателей проводился с помощью цифрового инструмента Google-формы, который позволяет в автоматическом режиме обработать полученные результаты [1].

Инновационность такого опроса работодателей заключается в том, что в анкету включены два основных блока вопросов: универсальные компетенции (Soft skills) и профессиональные компетенции (Hard skills), которые были выявлены в результате анализа существующих подходов к пониманию данных определений и построения взаимосвязи видов обучения и получаемых результатов. При этом в анкете уделяется внимание цифровым компетенциям в конкретной сфере.

Кроме этого, предлагается учитывать мнение не только российских работодателей, но и зарубежных для подготовки кадров, способных работать в мультикультурных компаниях. В данном исследовании учитывалось мнение финских работодателей, функционирующих на территории РФ. Такой выбор неслучаен: во-первых, по данным 2020 года финское образование занимает четвертое место в мире по уровню образования [2], во-вторых, в настоящее время в России функционирует больше 600 финских компаний, из них 222 компании зарегистрированы только в Санкт-Петербурге. При этом суммарно вложения финских компаний в российский бизнес оцениваются в 14 млрд. евро [3].

На основании данных, полученных в рамках такого опроса работодателей, необходимо совершенствовать образовательные программы для повышения качества образования и подготовки востребованных на рынке труда специалистов, обладающих компетенциями для работы в компаниях международного масштаба.

Также следует отметить тот факт, что разработанные анкеты относительно универсальны – они могут быть разработаны для любого направления обучения любого уровня, могут быть адаптированы к работодателям любой страны, что потребует незначительной переработки только профессионального блока анкеты.

Разработанные анкеты были применены в работе двух колледжей Санкт-Петербурга, а полученные результаты активно используются в модернизации соответствующих образовательных программ.

Другим аспектом научной новизны является алгоритм формирования непрерывного цифрового следа студентов для повышения качества профессионального образования. Инновационность идеи – это сделать цифровой след непрерывным для обучения на протяжении всей жизни. С одной стороны, цифровой след будет являться основанием для принятия решения работодателем при приеме на работу о соответствии компетенций специалиста заявленным должностным требованиям. С другой стороны, это еще и возможность самооценки обучающимся возможностей личностного развития.

Алгоритм формирования непрерывного цифрового следа представлен на рисунке. Он состоит из основных этапов, которые должны реализовываться в любом образовательном учреждении, где проходит обучение специалист, для формирования непрерывного цифрового следа [4].



Рисунок. Алгоритм формирования непрерывного цифрового следа обучающегося

Однако в ходе исследования был выявлен ряд недостатков, которыми обладают современные образовательные платформы и которые необходимо устранить для качественной реализации инструментария непрерывного цифрового следа:

- невозможность идентификации действий студента на платформе;
- отсутствие единой системы идентификации обучающихся;
- отсутствие запроса на разрешение обработки и распространения персональных данных обучающегося в контексте процесса и результатов обучения;
- отсутствие инструментария для формирования сжатого описания цифрового следа.

Поэтому в рамках работы были разработаны рекомендации, выполнение которых приведет к устранению вышеуказанных недостатков и эффективному внедрению непрерывного цифрового следа:

1. Для формирования более объективного цифрового следа необходимо создать систему идентификации действий на образовательной онлайн-платформе.
2. Если необходимо реализовать парадигму Организации Объединенных Наций

об обучении в течение всей жизни, то для объективной оценки качества этого обучения, изменения компетенции и объема знаний обучающегося необходимо формирование сквозного персонального идентификатора, с которым человек обращался бы на образовательную платформу (в образовательное учреждение), чтобы исключить разрыв цифрового следа в этой образовательной платформе, который исказит качество обучения и качество полученных навыков и компетенций.

3. Необходимо добавить в функционал образовательной онлайн-платформы запрос на обработку и распространение персональных данных о процессе и результатах обучения.

4. Для формирования окончательного вида цифрового следа необходим инструментарий в виде компьютерной программы, обеспечивающей свертку информации и оценку текущего этапа образовательной деятельности.

Таким образом, в рамках диссертационного исследования проведен анализ использования цифровых технологий в управлении качеством профессионального образования, а также предложены принципиально новые инструменты, способствующие повышению качества образовательных услуг: методика опроса работодателей и непрерывный цифровой след обучающегося.

Литература

1. Google формы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.ru/intl/ru/forms/about/> (дата обращения: 18.06.2021).
2. Рейтинг стран мира по индексу уровня образования. [Электронный ресурс]. URL: <https://gtmarket.ru/ratings/education-index> (дата обращения: 25.06.2021).
3. Бизнес с финской днк [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fontanka.ru/longreads/finbusiness/> (дата обращения: 26.06.2021).
4. Стандарт цифрового следа [Электронный ресурс]. URL: <https://standard.2035.university/> (дата обращения: 15.06.2021).

Изотова Анна Гиевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42718,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: agizotova@itmo.ru

Гаврилюк Елена Сергеевна

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: gavrilyukes@gmail.com

УДК 378.147:004

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИКИ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ В СЕКТОРЕ НАУКИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

А.Г. Изотова

Научный руководитель – к.э.н., доцент Е.С. Гаврилюк

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

Аннотация

В работе рассмотрен процесс внедрения цифровых решений в сектор науки и высшей школы. Определены основные факторы цифровой трансформации науки и образования, проведен обзор основных цифровых решений в данной сфере. Проанализированы риски цифровизации научных и образовательных учреждений, и на основе показателей определен уровень цифровизации 10 вузов Санкт-Петербурга. Также сформированы практические рекомендации по интеграции цифровых решений в университеты.

Ключевые слова

Цифровые решения, высшая школа, наука, цифровизация, внедрение, образование.

В настоящее время цифровизация и цифровая трансформация выступают глобальными трендами развития всех сфер общества. Сектор науки и высшей школы не является исключением. Научным и образовательным учреждениям необходимо соответствовать ключевым тенденциям развития современного мира, для того чтобы быть конкурентоспособными и отвечать требованиям цифрового общества. Актуальность исследования также обусловлена тем, что области науки и образования выступают движущей силой как экономического, так и общественного развития. Без внедрения цифровой трансформации в элементы и уровни научной и образовательной среды, совершенно невозможно обеспечить высокий уровень цифровизации для страны в целом, ведь наука обеспечивает совершенствование технологий, а образование готовит кадров, совершающих научные исследования и технологические открытия. На основании вышеперечисленного, можно сделать вывод, что подробное и детальное изучение явления цифровизации в науке и образовании имеет востребованный характер. В связи с этим, целью работы выступает проведение анализа практики внедрения цифровых решений в сектор науки и высшей школы и разработка практических рекомендаций по их интеграции для повышения эффективности процесса.

Для повышения эффективности оценки уровня научных и образовательных учреждений была произведена классификация факторов цифровой трансформации, что позволило сформулировать направления диверсификации их цифрового развития. В ходе проведения классификации были выделены общие и частные факторы цифровой трансформации. К общим факторам относятся высокий уровень информационно-технического развития, наличие государственной поддержки и глобальная популяризация веб- и интернет-технологий [1]. Частные факторы цифровой трансформации, присущие научной и образовательной области, представлены следующими процессами:

- уровень развития педагогической науки и практики;
- ориентация на приоритетные образовательные программы;
- соответствие образовательного учреждения мировым научным и образовательным стандартам;
- эксплуатация результатов научно-исследовательской работы образовательного учреждения для осуществления коммерческих проектов;
- повышение инновационного потенциала научных и образовательных учреждений;
- рост социальной ответственности научного сообщества перед обществом;
- ведущая роль науки в вопросе социального-экономического развития.

При анализе цифровых решений, используемых в российских научных и образовательных учреждениях, были исследованы основные цифровые технологии, которые применяются в научной среде (платформенные решения) и рассмотрены примеры отечественных цифровых научных платформ (Единая цифровая платформа для совместных исследований, Цифровая аналитическая платформа предоставления статистических данных Росстата, Цифровая платформа «Российская Биржа Науки»). Проанализированы 26 групп онлайн-инструментов для обучения и на основе опроса 96 респондентов определены наиболее популярные цифровые решения для российских вузов, которые представлены на рис. 1.



Рис. 1. Использование цифровых инструментов в обучении

Вместе с тем, в ходе проведения и обработки результатов опроса была выявлена доля респондентов, неудовлетворенных дистанционным образованием – 46%. Основными причинами недовольства стали – отсутствие живого общения с группой и преподавателем, усвоение и объяснение учебного материала в дистанционном формате.

Анализ и оценка рисков цифровизации образовательного процесса учреждений науки и высшей школы, проведенные в работе, способствуют эффективной реализации стратегии цифрового развития за счет сокращения издержек и повышения качества образовательного процесса. Анализ существующих рисков позволил сформировать классификацию, включающую в себя семь основных групп рисков, основанных на среде

возникновения риска и ресурсах обеспечения процесса цифровизации (материально-технические риски, организационно-управленческие риски, политико-правовые риски, финансовые риски, информационные риски, кадровые риски и социально-психологические риски). Для последующей оценки классифицированных рисков, были выделены риски из каждой группы, которые наиболее сильно влияют на сам процесс цифровизации сектора науки и образования [2]:

1. Риск «цифрового оптимизма».
2. Риск вытеснения педагога из образовательного процесса.
3. Риск потери живого общения между участниками образовательного процесса.
4. Риск потери надпрофессиональных компетенций (Soft Skills).
5. Риск подмены цифровизации образования оцифровкой.
6. Риск нехватки технических ресурсов образовательного учреждения.
7. Риск глобального изменения компетенций специалистов.
8. Риск «утечки» данных.
9. Риск замены качественных показателей цифровой трансформации количественными.
10. Риск недостатка информационно-методических ресурсов.
11. Риск вмешательства государства.
12. Риск изменения процентных ставок, валютных курсов и т.д.

Оценка представленных рисков была проведена на основе метода построения диаграммы «вероятности/воздействия» с помощью экспертной оценки. Каждому из 20 экспертов нужно было оценить риск по 2 параметрам – вероятности возникновения и степени воздействия – по пятибалльной шкале. На основе баллов, выставленных экспертами, формировалась средняя оценка для каждого риска, благодаря которой они размещались на диаграмме (рис. 2).

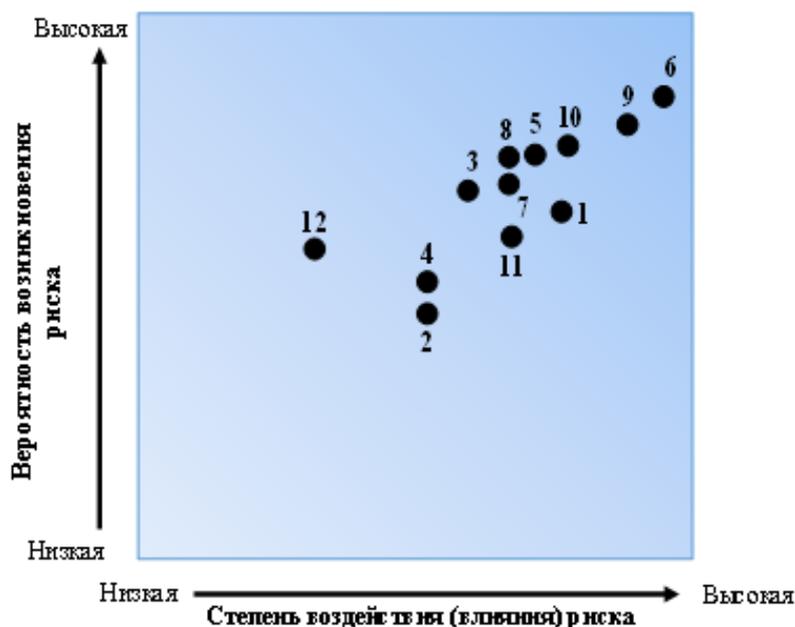


Рис. 2. Диаграмма вероятности/воздействия

Проанализировав диаграмму, можно увидеть, что риски попали в разные зоны поля. Результат показал, что наиболее критическими являются риск нехватки технических ресурсов образовательного учреждения (№6), риск замены качественных показателей цифровой трансформации количественными (№9) и риск недостатка информационно-методических ресурсов (№10). Именно этим рискам нужно уделять

особое внимание при интеграции цифровых решений в научные и образовательные учреждения.

Для того, чтобы провести оценку уровня цифровизации университетов, был сформирован перечень показателей, позволяющих выявить достоинства и недостатки процесса и своевременно реализовать управленческие решения, обеспечивающие интенсификацию инновационного развития национальной экономики на цифровой основе. При составлении и систематизации параметров по группам учитывались основные процессы, происходящие в университетской среде. В табл. 1 представлены показатели, их единица измерения и удельный вес, который был выявлен путем экспертной оценки [3, 4].

Таблица 1

Показатели уровня цифровизации университетов

Показатель цифровизации	Единица измерения	Удельный вес
1. Инфраструктура университета (оборудование, информационные системы)		
1.1. Количество персональных компьютеров в расчете на одного студента	ед.	0,55
1.2. Доля персональных компьютеров, имеющих доступ к Интернету	%	0,28
1.3. Удельный вес стоимости машин и оборудования (не старше 5 лет) в общей стоимости машин и оборудования	%	0,1
1.4. Наличие информационной среды (ИС) в университете	да/нет	0,9
1.5. Наличие электронной библиотеки	да/нет	0,61
2. Образовательная деятельность		
2.1. Наличие на сайте или в ИС электронного расписания, плана образовательной программы, учебного плана с перечнем дисциплин	да/нет	0,52
2.2. Возможность загрузки отчетных материалов по курсу в личном кабинете учащегося	да/нет	0,25
2.3. Количество онлайн-курсов, размещенных на открытых порталах	ед.	0,85
2.4. Наличие возможностей у вуза осуществления дистанционной формы обучения	да/нет	0,96
2.5. Наличие электронной зачетной книжки	да/нет	0,25
3. Научно-исследовательская деятельность		
3.1. Наличие доступа студентов к библиотечным электронным ресурсам вуза и внешним зарубежным электронным базам данных (SCOPUS, Web of Science и т.д.)	да/нет	0,84
3.2. Причастность университета к системе FEDRUS	да/нет	0,33
3.3. Наличие научных мероприятий в формате онлайн для студентов (научных конференций, научных школ)	да/нет	0,65
4. Административная деятельность		
4.1. Возможность создания корпоративной почты	да/нет	0,35
4.2. Возможность заказа электронных справок через ИС	да/нет	0,3
4.3. Возможность связи с преподавателями, обучающимися и сотрудниками университета через ИС	да/нет	0,68
4.4. Возможность подачи документов в электронном формате	да/нет	0,5
4.5. Возможность рассылки электронных писем с новостями от ИС	да/нет	0,15
4.6. Возможность поиска информации о сотруднике, обучающемся или подразделениях через ИС	да/нет	0,47
4.7. Наличие мобильных приложений университета	да/нет	0,05

На основании приведенных в таблице показателей была проведена оценка уровня цифровизации 10 вузов Санкт-Петербурга. На рис. 3 представлена диаграмма, отражающая значение уровня цифровизации вузов.

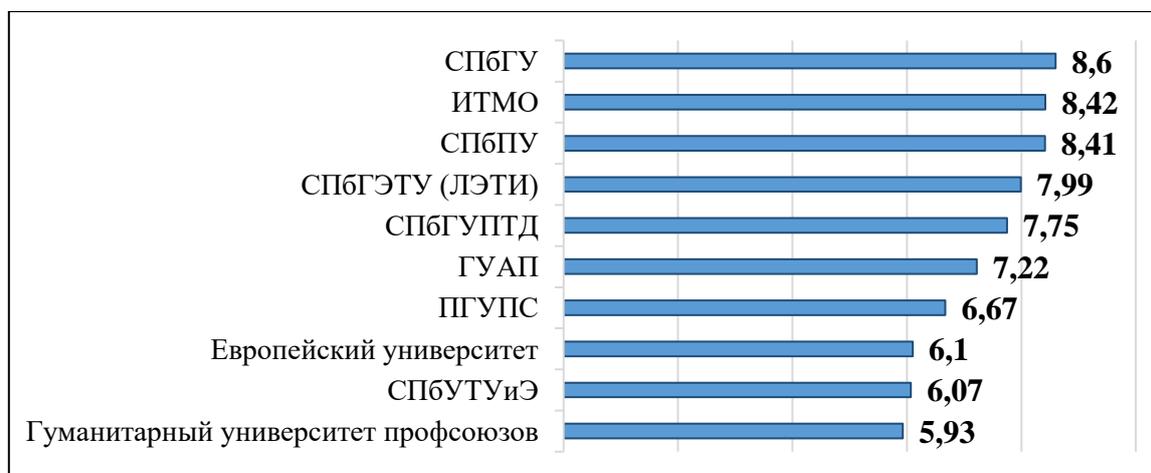


Рис. 3. Уровень цифровизации вузов Санкт-Петербурга

Для дальнейшего определения эффектов от внедрения цифровых решений в учреждения высшего образования были проанализированы различные международные и российские рейтинги университетов за 2020 год. При изучении данных рейтингов выявилась следующая закономерность: в большинстве случаев, вузы с высоким уровнем цифровизации находятся на более высоких местах в рейтинге. Это означает, что уровень цифровизации университета влияет на его общую оценку, престиж и степень признания. Также исследование различных методик оценки качества образовательных услуг показало, что некоторые из показателей уровня цифровизации входят в эти методики оценки качества. Именно поэтому, повышая значение отдельных показателей и уровень цифровизации университета в целом, можно добиться повышения качества образовательных услуг и роста показателя привлечения талантливых студентов.

Практические рекомендации по интеграции цифровых решений в учреждения высшего образования могут быть использованы для повышения уровня цифровизации образовательного учреждения, что приведет к формированию положительного имиджа университета, повышению качества его образовательных услуг и к росту показателя привлечения талантливых студентов.

В табл. 2 представлены рекомендации, формирование которых базировалось на ранее проанализированных рисках.

Таблица 2

Практические рекомендации

Риск	Практические рекомендации
Риск цифрового «оптимизма»	Создание информационно-методических ресурсов (стратегии цифрового развития, индивидуальных планов цифровизации, методических пособий) для полного информирования участников образовательного процесса
Риск подмены цифровизации образования оцифровкой	
Риск недостатка информационно-методических ресурсов	

продолжение таблицы

Риск	Практические рекомендации
Риск вытеснения педагога из образовательного процесса	Проведение курсов по повышению квалификации сотрудников университета для формирования необходимых цифровых навыков
Риск потери живого общения между участниками образовательного процесса	Развитие смешанных форм обучения, включающих в себя проведение занятий, как в очном виде, так в онлайн-формате
Риск потери надпрофессиональных компетенций (Soft Skills)	Составление заданий в цифровом формате с обязательными открытыми ответами (развитие письменных навыков). Внедрение видеоконференций в занятие и отработка навыков публичного выступления (защита докладов, курсовых, ответы на вопросы)
Риск нехватки технических ресурсов образовательного учреждения	Создание ИТ-инфраструктуры университета, включающей в себя совокупность собственных data-центров и облачных сервисов. Обеспечение доступности сети питания и Интернета в местах размещения студентов
Риск глобального изменения компетенций специалистов	Разработка новых образовательных программ и модулей образовательных траекторий, основанных на последних тенденциях цифрового развития общества и требованиях, предъявляемых кадрам на рынке труда совместно с лидирующими организациями высокотехнологичного сектора
Риск «утечки» данных	Повышение уровня кибербезопасности университета, за счет повышения эффективности работы специалистов, связанных с кибербезопасностью и защитой информации. Соблюдение баланса между уровнем закрытости и открытости информационной системы
Риск замены качественных показателей количественными	Проведение опроса раз в семестр для сотрудников и студентов университета, с целью выявления недостатков в пользовании цифровым решением

Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы сотрудниками научных и образовательных учреждений для повышения эффективности цифровой трансформации и качественной интеграции цифровых решений в учреждения высшей школы.

Литература

1. Грибанов Ю.И. Факторы и условия цифровой трансформации социально-экономических систем // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 2 (часть 2). С. 253-259.
2. Вербицкий А.А. Цифровое обучение: проблемы, риски и перспективы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://journal.homocyberus.ru/Verbitskiy_AA_1_2019 (дата обращения: 16.12.2020).
3. Плотникова Е.В., Ефремова М.О., Заборовская О.В. Комплексная оценка уровня цифровизации ведущих университетов Российской Федерации // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 9. с. 98-108.
4. Бродовская Е.В., Домбровская А.Ю., Пырма Р.В., Азаров А.А. Критерии для рейтингования уровня и качества цифровизации процесса образования в вузах РФ // Вестник ВолГУ. Серия 4. История. Регионоведение. Международные отношения. 2020. Т. 25. № 2. с. 268-283.

Исаев Алексей Михайлович

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R42301,

направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления

движением и навигация,

e-mail: itmo_student@mail.ru

Степанов Олег Андреевич

Год рождения: 1949

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н., профессор,

e-mail: soalax@mail.ru

УДК 681.51

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ
АЛГОРИТМОВ КАЛМАНОВСКОГО ТИПА В ЗАДАЧАХ
ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

А.М. Исаев

Научный руководитель – д.т.н., профессор О.А. Степанов

Аннотация

В работе рассмотрены особенности реализации следующих алгоритмов: линейризованного фильтра Калмана, обобщенного фильтра Калмана, фильтра с локальными итерациями. Проведён сравнительный анализ этих фильтров на примерах: задачи идентификации неизвестных параметров модели ухода гироскопа и задачи идентификации неизвестных параметров модели погрешности системы счисления пути, корректируемой по измерениям дальностей до двух маяков ответчиков при неточно известной модели погрешностей измерения относительного лага.

Ключевые слова

модель погрешности, нелинейная фильтрация, субоптимальные алгоритмы, фильтр Калмана.

На практике при решении навигационных задач в большинстве случаев модели измерений и модели, описывающие поведение динамической системы оказываются нелинейными. Для решения таких задач требуется использование методов теории нелинейной фильтрации, обеспечивающих нахождение оптимальной в среднеквадратическом смысле оценки, представляющей собой математическое ожидание, соответствующее апостериорной плотности для вектора оцениваемых параметров [1, 2]. С вычислительной точки зрения это является очень сложной задачей и обычно не может быть реализовано в режиме реального времени, что крайне важно при обработке навигационной информации. В связи с этим для решения нелинейных задач оценивания на практике разрабатываются так называемые субоптимальные алгоритмы, основанные на различных методах аппроксимации апостериорной плотности [1, 3]. Несмотря на то, что в настоящее время было разработано множество таких алгоритмов, синтез эффективных субоптимальных алгоритмов остается актуальной задачей. Среди всего многообразия субоптимальных алгоритмов можно выделить большую группу алгоритмов, основанных на гауссовой аппроксимации

апостериорной плотности. Такие алгоритмы нередко называют алгоритмами калмановского типа [1-5]. Эти алгоритмы основаны на линеаризации нелинейных функций в различных точках линеаризации с последующим использованием рекуррентных процедур фильтра Калмана. В зависимости от выбранной точки линеаризации рассматривается три различных алгоритма калмановского типа: линеаризованный фильтр [3-5], обобщенный фильтр [3-4] и фильтр с локальными итерациями [4].

Рассмотрим задачу идентификации неизвестных параметров модели ухода гироскопа.

Модель ухода гироскопа имеет вид:

$$\varepsilon(k) = (1 - \alpha(k)\Delta t)\varepsilon(k - 1) + \Delta t\sqrt{2\sigma^2\alpha} w(k), \quad (1)$$

где $\alpha(k) = \alpha(k - 1)$, - неизвестный параметр подлежащий оцениванию, $w(k)$ - центрированный дискретный белый шум с единичной дисперсией, Δt - шаг дискретизации, σ - СКО ухода гироскопа.

Предполагается, что имеются линейные измерения

$$Y(k) = \varepsilon(k) + v(k), \quad (2)$$

где $v(k)$ - центрированный, дискретный белый шум с дисперсией $R(k)$.

В моделях (1), (2) $w(k)$, $v(k)$, $\varepsilon(0)$, $\alpha(0)$ предполагаются гауссовскими и независимыми, математические ожидания $\bar{\varepsilon}(0) = 0$, $\bar{\alpha}(0) = \bar{\alpha}$.

Решаемая задача заключается в оценивании параметра α , определяющего интервал корреляции последовательности (1).

Суть обсуждаемых алгоритмов калмановского типа заключается в представлении оцениваемых параметров в виде:

$$\varepsilon(k) = \varepsilon_0(k) + \Delta\varepsilon(k), \quad \alpha(k) = \alpha_0(k) + \Delta\alpha(k). \quad (3)$$

и разложении (1) в ряд относительно точек α_0 , ε_0 с точностью до членов второго порядка малости, т.е.

$$\begin{aligned} \varepsilon_0(k) + \Delta\varepsilon(k) = & (1 - \alpha_0(k)\Delta t)\varepsilon_0(k - 1) + (1 - \alpha_0(k)\Delta t) (\Delta\varepsilon(k - 1)) - \\ & - \varepsilon_0(k - 1)\Delta t (\Delta\alpha(k)) + \Delta t\sqrt{2\sigma^2\alpha_0(k)} w(k). \end{aligned} \quad (4)$$

В этих выражениях $\varepsilon_0(k)$, $\alpha_0(k)$ - известные функции.

Линеаризованный фильтр калмановского типа с изменяющейся точкой линеаризации. Обычно при проведении линеаризации в качестве функций $\varepsilon_0(k)$, $\alpha_0(k)$ принимаются значения математического ожидания $\bar{\varepsilon}(0) = 0$, $\bar{\alpha}(0) = \bar{\alpha}$. Заметим, что при $\varepsilon_0(k) = 0$ параметр $\Delta\alpha(k)$, как следует из анализа уравнения (4), становится ненаблюдаемым.

В выражении (4) члены

$$\varepsilon_0(k) = (1 - \alpha_0(k)\Delta t)\varepsilon_0(k - 1), \quad \varepsilon_0(0) \quad (5)$$

определяют поведение точки линеаризации $\varepsilon_0(k)$.

Заметим, что решение уравнения (5) со временем стремится к нулю при $\varepsilon_0(0) \neq 0$ и параметр $\Delta\alpha(k)$ также, как и в случае, рассмотренном выше, становится ненаблюдаемым. Чтобы устранить этот недостаток преобразуем уравнение (4) добавляя

и вычитая в правой части один и тот же параметр $B(k)$. В этом случае уравнение (4) примет вид

$$\varepsilon_0(k) + \Delta\varepsilon(k) = (1 - \alpha_0(k)\Delta t)\varepsilon_0(k-1) + B(k) + (1 - \alpha_0(k)\Delta t)(\Delta\varepsilon(k-1)) - (6) \\ - \varepsilon_0(k-1)\Delta t(\Delta\alpha(k-1)) + \Delta t\sqrt{2\sigma^2\alpha_0(k)}w(k) - B(k).$$

Поведение точки линеаризации $\varepsilon_0(k)$ будет описываться уравнением

$$\varepsilon_0(k) = (1 - \alpha_0(k)\Delta t)\varepsilon_0(k-1) + B(k). \quad (7)$$

Заметим, что при

$$B(k) = \varepsilon_0(k-1)\alpha_0(k)\Delta t \quad (8)$$

значение точки линеаризации будет постоянным и равным $\varepsilon_0(k) = \varepsilon_0(0)$.

Введём в рассмотрение расширенный вектор состояния

$$X_p(k) = |\varepsilon(k) \quad \alpha(k)|^T. \quad (9)$$

Уравнение для расчета точек линеаризации примет вид:

$$X_{op}(k) = \begin{vmatrix} \varepsilon_0(k) \\ \alpha_0(k) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 - \alpha_0(k)\Delta t & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varepsilon_0(k-1) \\ \alpha_0(k-1) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} B(k) \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Поведение неизвестных параметров примет вид:

$$X_p(k) = \begin{vmatrix} \varepsilon(k) \\ \alpha(k) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 - \alpha_0(k)\Delta t & -\varepsilon_0(k-1)\Delta t \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varepsilon(k-1) \\ \alpha(k-1) \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} B(k) \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \varepsilon_0(k) \\ \alpha_0(k) \end{vmatrix} - (11) \\ - \begin{vmatrix} 1 - \alpha_0(k)\Delta t & -\varepsilon_0(k-1)\Delta t \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varepsilon_0(k-1) \\ \alpha_0(k-1) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Delta t\sqrt{2\sigma^2\alpha_0(k)} \\ 0 \end{vmatrix} w(k).$$

Обобщенный фильтр калмановского типа. При реализации обобщенного фильтра на каждом шаге происходят этапы, аналогичные этапам линеаризованного фильтра, при этом в качестве точек линеаризации на k шаге используются оценки вектора состояния $k-1$ шага. Поведение неизвестных параметров будет описываться уравнением:

$$X_p(k) = \begin{vmatrix} \varepsilon(k) \\ \alpha(k) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 - \hat{\alpha}(k-1)\Delta t & -\hat{\varepsilon}(k-1)\Delta t \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varepsilon(k-1) \\ \alpha(k-1) \end{vmatrix} + (12) \\ + \begin{vmatrix} \hat{\varepsilon}(k-1)\hat{\alpha}(k-1)\Delta t \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Delta t\sqrt{2\sigma^2\alpha_0(k)} \\ 0 \end{vmatrix} w(k).$$

Фильтр с локальными итерациями. Идея рассматриваемого метода итераций заключается в необходимости проведения итераций для расширенного вектора состояния, включающего векторы состояния на текущем и предыдущем шагах. Это в свою очередь порождает необходимость решения задачи сглаживания с постоянным запаздыванием на один шаг. Введем в рассмотрение вектор, включающий состояние системы на двух шагах.

$$X_p(k) = |X(k-1) \quad X(k)|^T, \quad (13)$$

где $X(k-1) = |\varepsilon(k-1) \quad \alpha(k-1)|^T$, а $X(k) = |\varepsilon(k) \quad \alpha(k)|^T$ соответственно. Будем полагать, что по результатам обработки измерений на $k-1$ шаге проведена гауссовская аппроксимация апостериорной плотности, т.е. считается, что вектор $X(k-1)$ распределен по нормальному закону с параметрами:

$$X(k-1) \in N(X(k-1), \hat{X}(k-1), P(k-1)). \quad (14)$$

Легко показать, что при этом апостериорная плотность для моделей, описываемых уравнениями (1), (2) с точностью до нормирующей константы на текущем шаге может быть представлена в виде:

$$p(X_p(k)/Y(k)) \approx \exp\{-0.5\varphi(X_p(k))\}, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \varphi(X_p(k)) = & (X(k) - \chi_F(X(k-1)))^T Q^{-1} (X(k) - \chi_F(X(k-1))) + (X(k-1) - \\ & - \hat{X}(k-1))^T P^{-1}(k-1) (X(k-1) - \hat{X}(k-1)) + (Y(k) - H(k)X(k))^T R^{-1} \times \\ & \times (Y(k) - H(k)X(k)), \end{aligned} \quad (16)$$

$\chi_F(X(k-1))$ – известная нелинейная функция уравнений динамики.

В методе итераций предполагается выработка оценок вектора (13) в виде значений этого вектора, обеспечивающих максимум апостериорной плотности, что эквивалентно определению минимума функции (16). Для этой цели используется алгоритм Гаусса-Ньютона, обеспечивающий достаточно быструю сходимость к локальному минимуму функции. Используя данный алгоритм можно получить процедуру для нахождения точек линеаризации. Таким образом, синтезируемый фильтр представляет собой комбинацию двух рекуррентных схем: обобщенного фильтра Калмана, последовательно обрабатывающего поступающие измерения и вспомогательных итераций, для нахождения точек линеаризации.

Вторая решаемая в рамках данной работы задача – задача идентификации неизвестных параметров модели погрешности системы счисления пути, корректируемой по измерениям дальностей до двух маяков ответчиков, координаты которых предполагаются известными.

Рассмотрим движение морского подвижного объекта в локальной прямоугольной декартовой системе координат расположенной в плоскости горизонта. Для наглядности взаимное расположение объекта и ориентиров приведено на рис. 1.

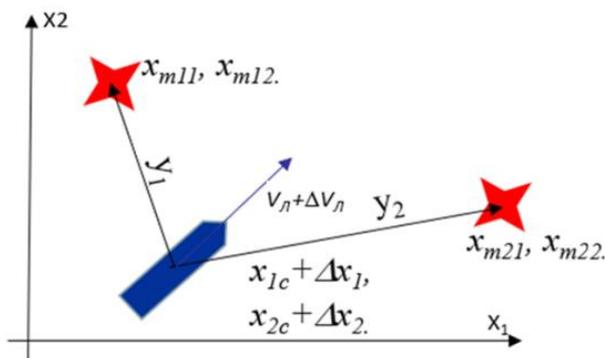


Рис. 1. Взаимное расположение объекта и ориентиров

$x_{1c}(k)$, $x_{2c}(k)$ – координаты объекта по данным системы счисления пути, $x_{mij}(k)$, $i = 1, 2, j = 1, 2$ – известные координаты маяков, $\Delta x_1(k)$, $\Delta x_2(k)$ – подлежащие

оцениванию погрешности системы счисления, $V_{\text{л}}$ - скорость судна, измеренная относительным лагом, $y_1(k), y_2(k)$ - измерения дальности до ориентиров,

$$\begin{aligned} y_1(k) &= \sqrt{(x_{1c}(k) + \Delta x_1(k) - x_{m11}(k))^2 + (x_{2c}(k) + \Delta x_2(k) - x_{m12}(k))^2} + v_1(k), \\ y_2(k) &= \sqrt{(x_{1c}(k) + \Delta x_1(k) - x_{m21}(k))^2 + (x_{2c}(k) + \Delta x_2(k) - x_{m22}(k))^2} + v_2(k). \end{aligned} \quad (17)$$

Предполагается, что погрешности измерений скорости относительным лагом $\Delta V_{\text{л}}$ могут быть описаны марковским процессом первого порядка с неизвестным постоянным интервалом корреляции $1/\alpha_{\text{л}}$. В этом случае для решения задачи идентификации по измерениям, можно рассмотреть расширенный вектор состояния

$$X_p = [\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta V_{\text{л}}, \alpha_{\text{л}}]^T. \quad (18)$$

Особенностью этой задачи является наличие нелинейности не только в уравнениях динамики, но и в уравнениях измерений. Рассмотренный нами ранее подход к решению задачи оценивания легко обобщается на случай выработки навигационных параметров при неопределенности параметров динамической модели и при проведении нелинейных измерений. Такое обобщение достигается линеаризацией как уравнений динамики, так и уравнений измерений.

Результаты моделирования. При моделировании фильтра с локальными итерациями на каждом шаге для решения задачи сглаживания расширенного вектора состояния проводилось 5 итераций. При моделировании для первой рассматриваемой задачи были использованы следующие параметры [5]: $\alpha = 0,00055 \text{ с}^{-1}$, что соответствует интервалу корреляции $\tau = 1/\alpha$: 30 мин. Время наблюдения за процессом 2000 с., шаг дискретизации $\Delta t = 1 \text{ с.}$, $\sigma = 4,85 * 10^{(-8)} \text{ рад/с} = 0.01 \text{ }^\circ/\text{ч.}$, $R = (0,01 * \sigma)^2$. В ходе моделирования рассчитывались значения действительных и расчетных среднеквадратических ошибок (СКО) оценивания. Для моделирования второй рассматриваемой задачи были использованы следующие параметры [4]: $\alpha_{\text{л}} = 1,85 * 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, что соответствует интервалу корреляции $\tau = 1/\alpha_{\text{л}} = 90 \text{ мин.}$ Время наблюдения за процессом 2000 с., шаг дискретизации $\Delta t = 1 \text{ с.}$, $\sigma_{\Delta V} = 0.15 \text{ м/с.}$

На рис. 2, 3 изображено действительное и расчётное СКО сравниваемых фильтров, полученное при решении рассматриваемых задач. Фильтр с локальными итерациями показывает наиболее высокую эффективность, а наименьшую эффективность показал линеаризованный фильтр.

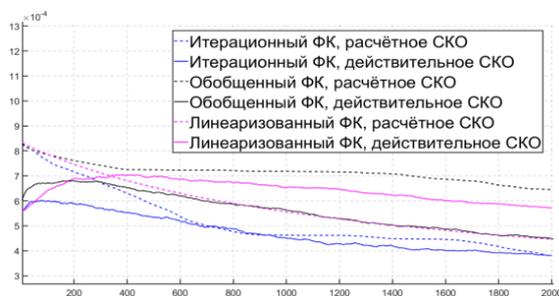


Рис. 2. Результаты моделирования для задачи 1

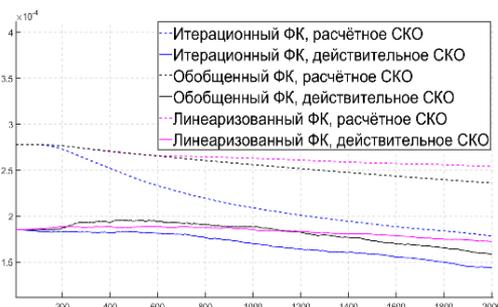


Рис. 3. Результаты моделирования для задачи 2

На рис. 4 изображены гистограммы погрешностей оценивания параметра α , полученных при моделировании первой задачи для различных алгоритмов и безусловные СКО для последнего измерения.

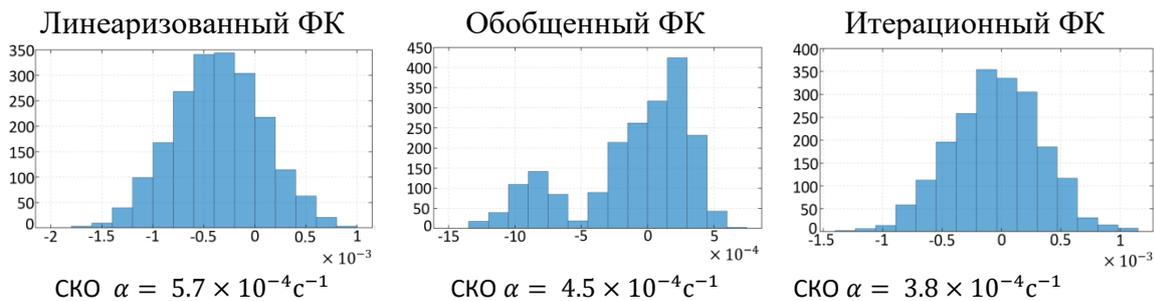


Рис. 4. Гистограммы погрешностей оценивания параметра α

Как видно из гистограмм распределения, линеаризованный фильтр вырабатывает оценку со смещением, а гистограмма для обобщенного фильтра Калмана отличается от гауссовской. Фильтр с локальными итерациями показывает наиболее высокую точность, а наименьшую точность показал линеаризованный фильтр. На рис. 5 изображены гистограммы погрешностей оценивания параметра α , полученных при моделировании второй задачи для различных алгоритмов и безусловные СКО для последнего измерения.

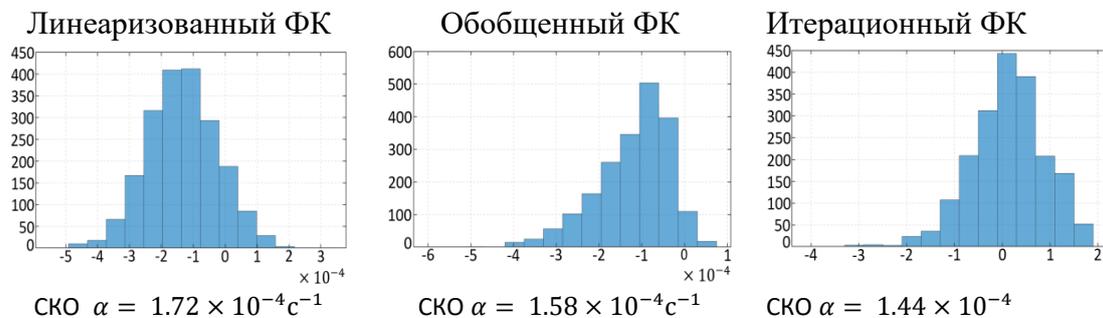


Рис. 5. Гистограммы погрешностей оценивания параметра α .

Результаты моделирования для задачи 2 аналогичны результатам моделирования для задачи 1. Фильтр с локальными итерациями показал наиболее высокую точность, а наименьшую точность показал линеаризованный фильтр.

В ходе работы были проанализированы особенности реализации фильтров калмановского типа: линеаризованного фильтра Калмана, обобщенного фильтра Калмана, фильтра с локальными итерациями. Показано, что при решении рассматриваемых нелинейных задач оценивания фильтр с локальными итерациями обеспечивает более высокую точность по сравнению с обобщенным и линеаризованным фильтрами калмановского типа. Особенностью использования предложенного фильтра с локальными итерациями при нелинейности в уравнениях динамики является необходимость проведения итераций для расширенного вектора состояния, включающего векторы состояния на текущем и предыдущем шагах. Это в свою очередь порождает необходимость решения задачи сглаживания с постоянным запаздыванием на один шаг.

Литература

1. Степанов О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор". 1998-370с.
2. Дмитриев С.П. Высокоточная морская навигация. СПб.: Судостроение. 1991. 224 с.: ил. ISBN 5-7355-0410-X.

3. Тупысев В.А., Круглова Н.Д., Моторин А.В. Субоптимальные алгоритмы идентификации погрешностей навигационных датчиков, описываемых марковским процессом // Гироскопия и навигация. Том. 24. № 3 (94). 2016. с. 55-62.
4. Тупысев В.А., Литвиненко Ю.А., Исаев А.М. Применение фильтров калмановского типа для обработки навигационной информации при нелинейности в уравнениях динамики и измерений. XXVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сборник материалов. с. 360-363. 2020.
5. Исаев А.М., Иванов Д.П., Тупысев В.А. Особенности применения линеаризованного фильтра калмановского типа при нелинейности в уравнениях динамики. Материалы XXII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 2020. С. 276–278.

Ишутина Екатерина Олеговна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы W42512,

направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность,

e-mail: katuha31-1997@mail.ru

Кустикова Марина Александровна

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: marinakustikova@mail.ru

УДК 504.004

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ
В РАМКАХ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ
«ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»**

Е.О. Ишутина

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова

Аннотация

В процессе работы была рассмотрена важность создания виртуальных лабораторий в учебном процессе. Обоснован выбор технических инструментов для создания виртуальной лаборатории. Создано мобильное приложение с понятным и доступным интерфейсом, которое позволяет более углубленно и наглядно изучить работу двух устройств: генератора озона и газоанализатора.

Ключевые слова

виртуальная лаборатория, мобильное приложение, экологический мониторинг.

В образовательном процессе принято считать, что лабораторные практикумы могут выполняться только на реальном оборудовании. Однако его дороговизна и сложность работы снижает доступность к знаниям. В этой связи предлагается использовать виртуальные лаборатории, которые частично или полностью могут заменить лабораторные установки, или же детально показать процесс работы реального оборудования.

Благодаря активному внедрению цифровых технологий, педагогические технологии дополняются новыми мощными возможностями. Перед преподавателем встает сложная задача по управлению процессом обучения в современных условиях.

Взаимодействовать со студентами в любом из режимов образовательных траекторий важно, так как сочетание традиционных приемов с прогрессивными цифровыми позволяет максимизировать эффективность обучения.

Так возникла идея о разработке мобильного приложения с виртуальной лабораторией для направления «Техносферная безопасность» в Университете ИТМО.

Целью работы является применение цифровых образовательных ресурсов на примере мобильного приложения для проведения лабораторных занятий в рамках смешанного обучения.

Задачи следующие:

1) анализ существующих виртуальных лабораторий, изучение преимуществ и недостатков;

2) изучение научного материала на предмет возможности его подачи с помощью виртуальных лабораторий;

3) актуализация теории и разработка практических заданий;

4) разработка мобильного приложения.

Визуализация – один из наиболее эффективных приемов обучения, помогающий гораздо проще и глубже разобраться в сущности различных явлений

Виртуальная лаборатория – это информационная система, которая интерактивно моделирует реальный технический объект и прекрасную возможность изучения его свойств с помощью компьютерной визуализации, либо позволяет проводить опыты с помощью модели, заменяющей реальное устройство [4]. Визуализация является эффективным приемом обучения, для лучшего изучения сущности различных явлений

Преимущества образовательных приложений выражаются в следующем [2]:

1) возможность использования в любое время;

2) экономия материальных ресурсов на приобретение лабораторных установок;

3) широкие возможности демонстрации;

4) приложения могут использовать люди с ограниченными возможностями во время обучения.

Недостатками же является наличие мощной техники и специалистов для моделирования такие приложений. Однако в большинстве вузов имеются специальности по программированию. И тогда создание продукта для университета может стать отличным дополнением в портфолио студента.

При создании приложений обязательно консультация со специалистами в тех работах, которые воссоздаются в приложении.

Также имеется сокращение живого общения между студентом и преподавателем.

Несмотря на большое количество образовательных интернет-платформ, выполнение лабораторных работ в онлайн-формате до сих пор не получило широкое распространение.

Однако и в России, как и во всем мире имеются популярные виртуальные лаборатории, которые могут использовать школьники и студенты. Виртуальные лаборатории есть как и широкого пользования, так и узкого (конкретного образовательного учреждения).

Концепции виртуальных лабораторий обширны: это могут быть визуальные процессы, игровые симуляторы, конструкторы, дистанционное управление реальными устройствами или все вместе [3].

Мобильное приложение разрабатывалось для операционной системы под названием «Android» с помощью языка «Kotlin».

Приложение имеет название «VirtuaEco». Его главной целью является визуализация процессов работы лабораторных устройств.

Понятный и простой интерфейс на рис. 1 обеспечивает быстрый переход к лабораторной работе под названием «Ультрафиолетовый фотометрический газоанализатор озона».

В этой работе студенту предстоит изучить общие принципы работы и устройства фотометрических газоанализаторов, измерить содержания озона в озоновоздушных смесях [1].

В приложении имеются видеоматериалы, которые показывают внутреннюю работу двух приборов – генератора озона и газоанализатора.

Видео содержит звуковое сопровождение и субтитры.

Видео «Генератор озона» подробно показывает, что происходит внутри прибора во время работы (рис. 2).



Рис. 1. Стартовая страница приложения



Рис. 2. Кадр из видео «Генератор озона»

Подробно показан процесс формирования молекул озона в преобразователе, субтитры описывают фотолитический метод, с помощью которого работает генератор озона (рис. 3) [1].

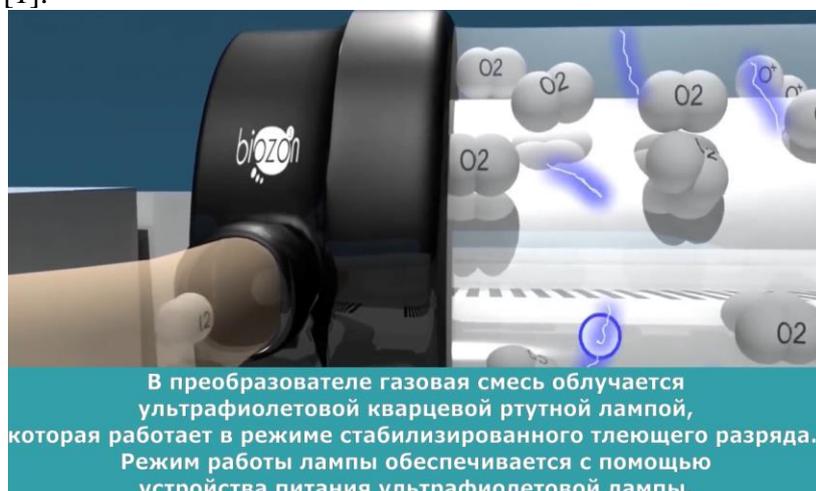


Рис. 3. Кадр из видео «Генератор озона»

Изучая работу генератора озона с помощью данного видео, студенты смогут лучше понять работу прибора и происходящие внутренние процессы.

В видео «Газоанализатор озона» показан процесс работы газоанализатора. Видео также сопровождается субтитрами, которые описывают процесс (рис. 4)

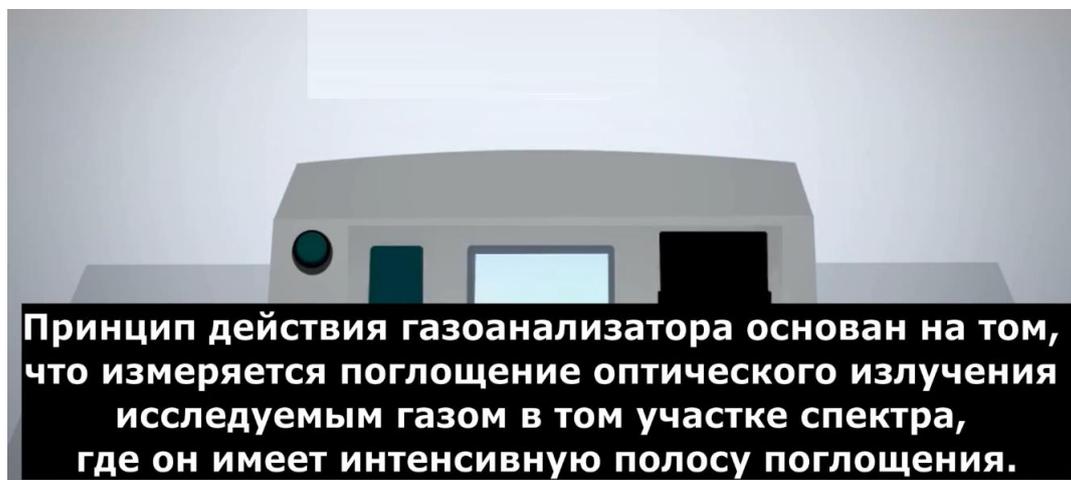


Рис. 4. Кадр из видео «Газоанализатор озона»

Изучая работу генератора озона и газоанализатора с помощью данных видеоматериалов, студенты смогут лучше понять работу приборов и увидеть, происходящие внутри, процессы.

После просмотра видео, предлагается изучить мобильное учебное пособие по лабораторной работе, теоретический материал которой взят из методических указаний по «Оптико-электронным газоанализаторам» (рис. 5) [1].



Рис. 5. Мобильное учебное пособие к виртуальной лаборатории

После изучения всего визуального и текстового материала, студенту предлагается провести расчеты, которые нужны для оформления отчета по лабораторной работе (рис. 6).

Процесс расчета выглядит следующим образом:

- 1) студент вводит нулевое значение U_0 . Затем нажимает кнопку «Старт»,
- 2) в течение минуты появляется значение U_x . Далее определяется dU .



Рис. 6. Процесс расчета в мобильном приложении

В качестве проверки знаний, студентам предлагается пройти тест. Преподаватель в своем личном кабинете может составлять тест как открытый, с возможностью выбора одного или двух правильных ответов, так и закрытый, где непосредственно отвечает на заданный вопрос. Пороговое количество баллов для прохождения теста указывается преподавателем. При наборе определенного количества баллов выводится 2 вида записи: «Тест пройден!» или «Попытайтесь снова!».

В данной работе были решены следующие пункты:

- 1) рассмотрена возможность внедрения виртуальных лабораторий в учебный процесс;
- 2) создано мобильное приложение с понятным и доступным интерфейсом для студентов направления «Техносферная безопасность», которое позволяет более углубленно изучить работу лабораторной установки;
- 3) в приложении предложена возможность производить расчет и получать необходимые значения для успешного выполнения лабораторной работы;
- 4) с помощью приложения также можно проверить уровень знаний студентов по данному материалу не используя сторонних ресурсов.

Учитывая перечисленные пункты, можно обосновать важность данной работы:

- 1) виртуальные лаборатории улучшает качество образования, благодаря тому, что появляется больше времени на изучение теории, позволяет заинтересовать студентов, находящихся на дистанционном обучении и студентов с ограниченными возможностями, обеспечив удаленный доступ к процессу обучения;
- 2) в настоящее время университеты должны стремиться к созданию собственных информационных технологий, которые не будут зависеть от внешних факторов (медицинских, климатических, экономических);
- 3) применение виртуальных лабораторий является достижением нового качества образования, обеспечение методической поддержки учебного процесса с помощью современных, преимущественно интерактивных, средств и форм обучения, а также повышение учебной самостоятельности и творческой активности студентов. Таким образом, использование виртуальных лабораторий, способствующих самостоятельной работе обучающихся, является эффективной частью успеха в стратегии внедрения электронного образовательного компьютерного продукта.

Литература

1. Кустикова М.А., Мешалкина М.Н., Мусяков В.Л., Тимофеев А.Н. Методические указания к лабораторным работам по разделу «Оптико-электронные газоанализаторы». СПб.: СПбГИТМО. 2003. 139 с.
2. Виртуальные лаборатории в образовательном процессе [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131516300227> (дата обращения 25.11.2020).
3. Виртуальные лаборатории [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://kpfu.ru/docs/F324157708/Virtualnye.laboratorii.pdf> (дата обращения 02.02.2021)
4. Трухин А.В. «Об использовании виртуальных лабораторий в образовании». Т.: ТГУСУИР. 2002. 30 с.

Калинина Арина Алексеевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42172,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: rishkolin@gmail.com

Жуков Николай Николаевич

Год рождения: 1985

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: nnzhukov@itmo.ru

УДК 004.05

**РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОГО ПРОГРАММНО-
АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
ПЕРСОНАЛЬНОГО ПОМОЩНИКА**

А.А. Калинина

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Н.Н. Жуков

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка мобильного программно-аппаратного комплекса интеллектуального персонального помощника».

Аннотация

В работе рассмотрен подход к созданию прототипа мобильного программно-аппаратного персонального помощника для динамического планирования дневных активностей, фокусировки и осознанности. Для планирования последовательности активностей с выбором альтернатив предложено использовать нейронные сети глубокого обучения с памятью. Для поиска альтернативных задач на временной слот разработана система оценки задач из 8 шкал, позволяющая выполнить поиск похожих задач по методу косинусного и евклидова расстояния.

Ключевые слова

Активности, задачи, динамическое планирование, медиааскетизм, хронобиология, баланс между работой и личной жизнью, стресс, десинхроноз, персональный ассистент, нейронная сеть, TCN.

Высокий темп жизни современного человека, появление вынужденной многозадачности, увеличение скорости коммуникации, количества информации и её непродуктивное потребление способствуют повышению уровня стресса, появлению десинхроноза и дисбаланса между отдыхом, учебой и работой, все это приводит к развитию серьезных нарушений здоровья: ухудшению внимания и памяти, снижению скорости умственных и физических реакций, снижению мотивации, бессоннице, депрессии, нарушению обмена веществ, ожирению, иммунным нарушениям и способствует развитию диабета и рака.

Активное время суток зачастую используется малоэффективно ввиду наличия информационных дистракторов в устройствах. Так по данным исследований Deloitte и We are social человек в среднем смотрит в смартфон 52 раза за день и проводит в Интернете 6 часов 54 минуты в день. Последние годы психологи обращают внимание на

явление цифровой аддикции, что проявляется в желании постоянно проводить время в цифровом устройстве (смартфоне, компьютере, планшете и т.д.) и в компульсивном желании проверить его, отмечают также ярко выраженный синдром отмены при долгом отсутствии Интернета.

На помощь в решении проблемы цифровой аддикции пришел принцип добровольного отказа на заданный промежуток времени (от 24 часов до месяца) от медиаконтента и технологий, известный как цифровой детокс. Цифровой детокс принято устраивать как на выходных, так и на время отпуска, например, выбрав антистресс-программу в отеле. Несмотря на положительный эффект от воздержания, такой как снижение уровня стресса и восстановление внутреннего баланса, остается проблема возвращения после практики детокса в привычный ритм жизни, способствующий накоплению усталости, повышению уровня стресса и десинхроноза.

Решением обозначенных проблем могут быть принципы медиааскетизма по осознанному потреблению информации, использованию технологий и эффективному планированию дня. Медиааскетизм как явление развился в середине прошлого десятилетия и был основан на подходах цифрового детокса и предполагает разумное использование сервисов и технологий, формирует осознанное потребление информации, что благотворно влияет на человека и комплексно снижает общий уровень стресса.

Принципы медиааскетизма: (1) ограничение использования платформ и приложений, негативно влияющих на здоровье и занимающих все свободное и рабочее время; (2) концентрация на выполняемой деятельности; (3) осознание факта отвлечения и возвращение к активности, согласно практике осознанности (от англ. *mindfulness*) [20]; (4) акцентирование внимания на физическом и ментальном здоровье; (5) восстановление и поддержание здорового сна; (6) планирование деятельности в соответствии с персональными целями и состоянием организма.

Анализ успешных методик тайм-менеджмента показывает, что для мотивации и фокусировки важно предоставить полный обзор доступных, выполняемых и завершенных видов деятельности. Кроме того, актуальным является подбор релевантной активности на конкретное время в зависимости от физиологического и эмоционального состояния человека.

Таким образом, обозначена потребность в создании носимого специализированного сетевого устройства, которое позволяет сохранять фокусировку и получать релевантные рекомендации по возможным видам деятельности.

Тенденцию уменьшения негативного эффекта и влияния дистракторов в пользовательских устройствах поддерживают крупные корпорации, в последние годы уделяя большое внимание осознанности пользователей. Компания Google занимается разработкой нативной программы «Цифровое благополучие», которая подсчитывает проведенное в устройстве время, а также позволяет контролировать цвет синего спектра от экрана и фокусироваться на задачах, компании Apple и Microsoft также поддерживают режимы фокусировки в своих устройствах.

Цель работы заключалась в создании прототипа программно-аппаратного комплекса, использующего информацию о предыдущих активностях пользователя и группы похожих пользователей, контекст доступных сервисов и умных устройств для предоставления персонализированных рекомендаций по возможным видам деятельности.

Прямых аналогов разрабатываемому программно-аппаратному комплексу мобильного персонального помощника нет, но можно выделить похожие по тематике проекты: *Cuberox* и *TimeFlip*. *Cuberox* используется для игр, оповещений и трансляции упражнений при занятиях спортом, предоставляет API для создания своих приложений и игр. Основной недостаток устройства – система в базовой версии не предполагает функции планирования и управления задачами, а также нацелена на увеличение

многозадачности. TimeFlip представляет собой многогранник, на каждую грань из которых можно наклеить стикер с задачей и привязать задачу и конкретную сторону в мобильном приложении для отслеживания времени рабочих задач. Сложностью воспринимается перекодирование задач, если в списке рутинных их более 12 в день, что актуально при отслеживании не только рабочих, но и персональных активностей.

Описание прототипа программно-аппаратного комплекса

Разработанная система состоит из следующих компонентов: программной и аппаратной части, эмулятора системы, административной панели и приложений.

Ядро системы выполняет функции прогнозирования. Для генерации значений применяется сеть на архитектуре multivariate TCN – многовариантная временная сверточная сеть, для обучения которой используются данные предыдущей истории пользователя и результаты анкетирования когорты, к которой принадлежит пользователь [1]. На вход нейронной сети подается информация по результатам самонаблюдения пользователя и выполненным видам активностей, а также контекстная информация о сне, интенсивности ходьбы и детектированному виду активности, по данным акселерометра, расположенного в аппаратном устройстве. Для заполнения недостающих значений используется В-сплайн интерполяция.

На выходе дается оценка по 8 шкалам, которая используется для выбора трех наиболее релевантных задач среди доступных и оцененных.

В основе разработки шкал оценивания положены работы по хронобиологии (теория хронотипа, циркадные ритмы) [2], нейрофизиологии (функции зон коры головного мозга, влияние гормонов кортизола, адреналина, нейромедиаторов дофамина и серотонина), исследования М. Чиксентмихайи (теория «потока») [3] и подходы по продуктивному управлению временем [4]. Из обобщения различных источников по приоритизации задач и физиологии было выделено 8 шкал (с оценкой по пятибалльной системе):

1. Интеллектуальная сложность – требует активации префронтальной коры головного мозга.

2. Физическая нагрузка – требует для выполнения физических усилий, влияет на формирование андрогенов, адреналина и эндорфинов, воздействует на физиологические показатели и гормональный фон.

3. Стресс – влияет на уровень кортизола, общее самочувствие и физиологические показатели.

4. Удовольствие – влияет на формирование нейромедиаторов дофамина и серотонина.

5. Креативность – требует фокусировки, психологической готовности и соответствующего эмоционального и гормонального фона для творческой деятельности.

6. Важность для профессионального роста – индивидуальная оценка значимости активности для развития в профессиональной сфере.

7. Важность для здоровья – индивидуальная оценка значимости активности для поддержания здоровья.

8. Важность для саморазвития – индивидуальная оценка значимости активности для личностного развития [5].

Включение в оценке персональной значимости позволяет выполнять визуализацию прогресса по направлениям профессионального, личностного развития и здоровья, и, таким образом, поддерживать мотивацию к следованию предложенному плану.

Поскольку в исследовании используются данные физической активности как наиболее соответствующие предметной области, было выполнено сравнение архитектур нейронных сетей на наборах данных с детектированием человеческой

активности, где временная сверточная нейронная сеть (TCN) показала наиболее оптимальный результат, представленный в таблице.

Таблица

Сравнение точности сети по тестовой выборке из набора данных

Сеть	UCI HAR	WISDM	mHealth
LSTM	0.948	0.951	0.941
CNN-LSTM	0.951	0.955	0.945
TCN	0.968	0.975	0.967

Для добавления задач в систему в рамках работы были настроены интеграции с внешними сервисами: github, gitlab, Google Календарем и Trello.

Разработанное устройство включает в себя четыре экрана (в прототипе используются жидкокристаллические TFT-дисплеи с поддержкой протокола SPI, разрешением 160x128 и поддержкой 16-битного цветового пространства (RGB565), модуль акселерометра-гироскопа (в прототипе используется GY-85), светодиодная панель (7 RGB-светодиодов на основе WS2812, расположенных в форме окружности), три емкостные сенсорные кнопки (используются модули TTP223), модуль чтения-записи на SD-карту и два микроконтроллера, взаимодействующие между собой с использованием шины SPI. Рендер прототипа представлен на рис. 1. Конструктивно устройство выполнено с использованием прозрачного пластика (толщина 1 мм), оформленного в форме куба, составленного из квадратов 90x90 (по боковым граням) и 92x92 мм на верхней и нижней грани, внешний вид собранного устройства продемонстрирован на рис. 2. На нижнюю грань закреплены объединенная светодиодная панель и модуль GY-85 (плоскость OXY ориентирована параллельно дну).

Куб позволяет выводить три релевантные задачи для выбора на данный момент, отслеживать фокусировку на активности в режиме помидоро (где выделяется временной отрезок в 25 минут) и секундомера, позволяет просматривать полный список задач на сегодня и их состояние, также переходить в режим медитации.

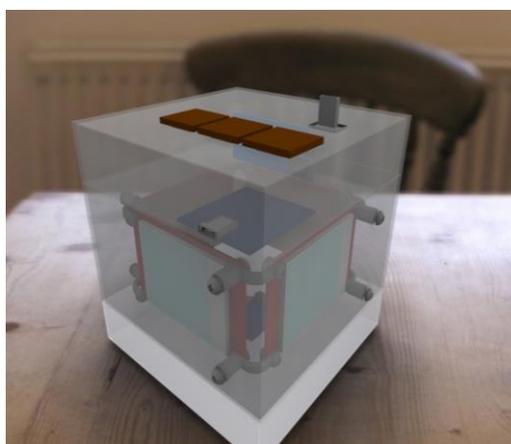


Рис. 1. Рендер собранного устройства куб

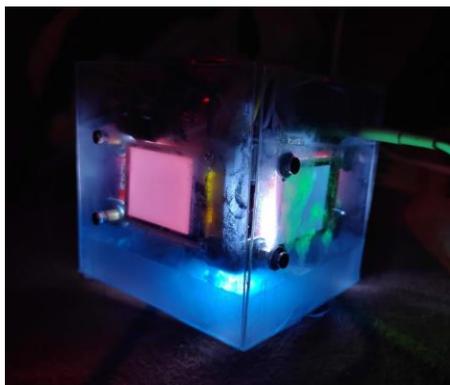


Рис. 2. Фотография собранного устройства куб

Программное обеспечение системы включает в себя программный эмулятор устройства (разработан с использованием библиотеки Vesty на языке программирования Go с целевой платформой WebAssembly), интерфейс администрирования и приложение для проведения опроса с целью первоначального обучения предсказательной нейронной сети и выделения типовых когорт пользователей по особенностям распорядка дня (Flutter for Web) для решения проблемы холодного старта, кроссплатформенное мобильное приложение (Flutter). Опрос позволил предварительно выделить 7 когорт пользователей, к которым может относиться новый пользователь согласно общим сведениям о нем (пол, возраст, семейное положение и уровень образования), времени пробуждения и засыпания и хронотипу. В рамках опроса пользователи оценивали 39 типичных для человека активностей по 8 ранее указанным шкалам.

Мобильное кроссплатформенное приложение компаньон создавалось в первую очередь для подключения куба, подключения внешних сервисов, управления задачами и отслеживания характеристик пользователя. В приложении можно зарегистрировать и оценить активности, получить рекомендацию по нескольким активностям на выбор, включить режим медитации. Приложение доступно в Google Play по ссылке <https://clck.ru/VTTny>.

В дальнейшем планируется создать промышленный образец устройства, уточнить когорты пользователей и увеличить количество внешних интеграций для включения комплекса в эко-систему умного дома.

Литература

1. Bai S., Zico Kolter J., Koltun V. An Empirical Evaluation of Generic Convolutional and Recurrent Networks for Sequence Modeling // arXiv [cs.LG]. 2018.
2. Jana Kühnel, Stefan Volk, Christopher Barnes, Cristiano L O Guarana, Brian Gunia, Stefan Volk, Jette Völker and Monika Wiegelmann. Chronobiology & Sleep at Work [Electronic resource]. 2020. URL: <https://journals.aom.org/doi/abs/10.5465/AMBPP.2020.13974symposium> (accessed: 24.04.2021).
3. Чиксентмихайи М. Поток: Психология оптимального переживания. Альпина Паблишер. 2019. 256 p.
4. Fuchs E., Flügge G. Adult neuroplasticity: more than 40 years of research // Neural Plast. 2014. Vol. 2014. P. 541870.
5. Калинина А.А., Жуков Н.Н. Интеллектуальный персональный помощник для организации самостоятельной работы обучающихся // Современное образование: традиции и инновации. 2021. № S2-1. P. 171–176.

Каплин Алексей Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42331с,

направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: aleksey@snow42.com

Монахов Юрий Сергеевич

Год рождения: 1980

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

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

начальник отдела ОПМ,

e-mail: monakhov@itmo.ru

УДК 681.51

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
6R МАНИПУЛЯТОРА И МАКЕТА ДЛЯ ЕЕ АПРОБАЦИИ**

А.В. Каплин

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.С. Монахов

Аннотация

В работе рассмотрено создание классического шестиосевого манипулятора на шаговых двигателях без обратной связи на ременных передачах, а также моделирование адаптивной системы управления манипулятором, включающей в себя алгоритм реконфигурации манипулятора при появлении в рабочей области инородного тела без изменения координат и положения инструментального звена.

Ключевые слова

Шестиосевой манипулятор, система управления, обработка данных, алгоритм реконфигурации, MatLab.

В связи со значительным развитием промышленных роботов, призванных заменить человека на тяжелых, опасных или рутинных участках производства, все большую популярность приобретают многоосевые манипуляторы с достаточной и избыточной кинематикой. Особое внимание здесь уделяется промышленным роботам с адаптивными системами управления. Основные разработки здесь направлены на создание манипуляторов, способных работать в воздушной и безвоздушной средах, однако сегмент подводных манипуляторов остается малоразвитым. Существующие разработки пока не обладают достаточно сложными системами управления, фактически, реализуя модель «робот - оператор» [1].

В настоящей работе была поставлена цель создать функциональный прототип шестиосевого манипулятора, способного выполнять простейшие задачи (завинчивание болтов, сверление отверстий) в бесперебойном цикле. Манипулятор оснащен ультразвуковой сенсорной системой, определяющей наличие в рабочей зоне манипулятора препятствий и запускающую алгоритм реконфигурации звеньев манипулятора с удержанием целевой точки.

В процессе выполнения работы был разработан, изготовлен и собран прототип шестиосевого манипулятора, пригодный для отработки алгоритмов управления с описанными выше особенностями.

В табл. 1 приведены основные тактико-технические характеристики прототипа.

Таблица 1

Характеристики разрабатываемого манипулятора

№	Характеристики	Величина
1	Грузоподъемность	0.2 кг
2	Радиус действия (не менее)	500 мм
3	Количество управляемых осей (не менее)	5
4	Монтажное положение	плоское основание (ось 7)

С учетом требуемых характеристик, был разработан макет манипулятора, представленный на рис. 1.

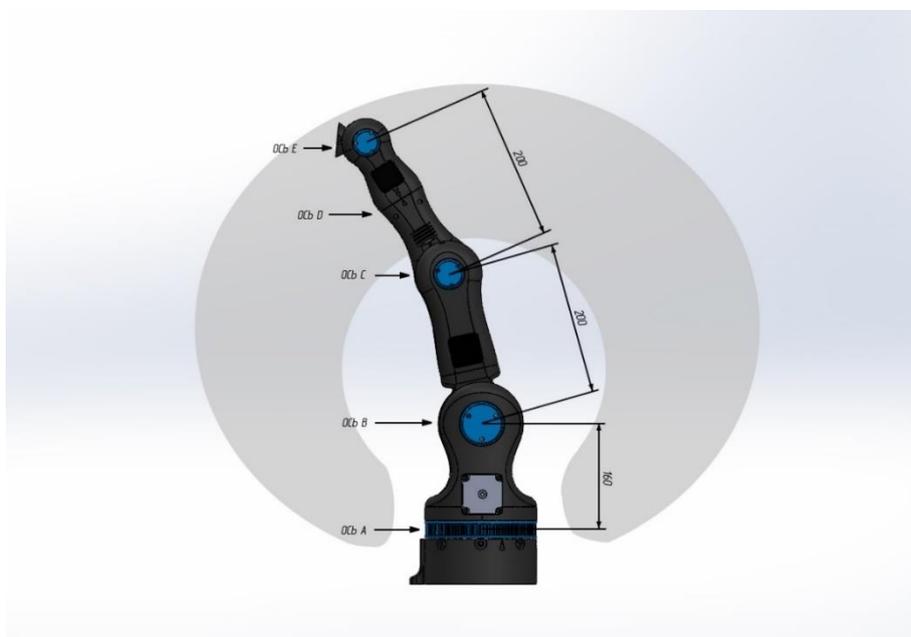


Рис. 1. Макет прототипа манипулятора

В ходе выполнения работ по проектированию, был произведен подбор шаговых двигателей, а также выполнен расчет ременных передач между сочленениями.

Работы по изготовлению манипулятора производились методом быстрого прототипирования, с использованием термопластичного алифатического полиэфира полилактид [2, 3].

В качестве системы мониторинга наличия препятствий и детектирования расстояния от манипулятора до препятствия в рабочей хоне была выбрана ультразвуковая система. Ультразвуковой дальномер способен, в зависимости от мощности излучающего элемента, детектировать наличие объектов на определенном расстоянии. Точно также поступают некоторые высокоорганизованные живые организмы: генерируют сигнал на частоте около 40 кГц и слушают эхо отраженного сигнала. По времени распространения прямой и отраженной волн можно однозначно определить расстояние до предмета. А в зависимости от частоты дискретизации интерпретирующего устройства, можно также получать информацию о скорости и траектории движения наблюдаемого объекта.

Для разработки системы управления манипулятора, в общем виде была формализована конфигурация манипулятора. Данные представлены в табл. 2

Таблица 2

Конфигурация осей манипулятора

Номер сочленения, i	ω_i	$v_i = -\omega_i \times q_i$	q_i
1	(0,0,1)	(0,0,0)	(0,0,0)
2	(0,1,0)	($-L_1, 0, 0$)	(0,0, L_1)
3	(0,1,0)	($-L_1, 0, L_2$)	($L_2, 0, L_1$)
4	(1,0,0)	(0, $L_1, 0$)	($L_2, 0, L_1$)
5	(0,1,0)	($-L_1, 0, (L_2 + L_3)$)	(($L_2 + L_3$), 0, L_1)
6	(0,1,0)	($-L_1, 0, (L_2 + L_3 + L_4)$)	(($L_2 + L_3 + L_4$), 0, L_1)

где $\omega_i = (\omega_{ix}, \omega_{iy}, \omega_{iz})$ – единичный вектор в положительном направлении осей в базовой системе координат, нулевого положения манипулятора; $q_i = (q_{ix}, q_{iy}, q_{iz})$ – точка, на оси сочленения записанная в базовой системе координат нулевого положения; $v_i = -\omega_i \times q_i$ – векторное произведение векторов в правом ортонормальном базисе [3], т.е.

$$v_i = (-\omega_{iy}q_{iz} + \omega_{iz}q_{iy}, -\omega_{iz}q_{ix} + \omega_{ix}q_{iz}, -\omega_{ix}q_{iy} + \omega_{iy}q_{ix}).$$

Зная параметры манипулятора, мы можем решить уравнение прямой кинематики в экспоненциальной форме, определяя ориентацию и координаты локальных систем координат, связанных с вращательными сочленениями, относительно глобальной системы координат:

$$\begin{aligned} T_{01} &= e^{[S_1]\theta_1} M_1 \\ T_{02} &= e^{[S_1]\theta_1} e^{[S_2]\theta_2} M_2 \\ T_{03} &= e^{[S_1]\theta_1} e^{[S_2]\theta_2} e^{[S_3]\theta_3} M_3 \\ T_{04} &= e^{[S_1]\theta_1} e^{[S_2]\theta_2} e^{[S_3]\theta_3} e^{[S_4]\theta_4} M_4 \\ T_{05} &= e^{[S_1]\theta_1} e^{[S_2]\theta_2} e^{[S_3]\theta_3} e^{[S_4]\theta_4} e^{[S_5]\theta_5} M_5 \\ T_{06} &= e^{[S_1]\theta_1} e^{[S_2]\theta_2} e^{[S_3]\theta_3} e^{[S_4]\theta_4} e^{[S_5]\theta_5} e^{[S_6]\theta_6} M_6 \end{aligned}$$

выразив связь глобальной системы координат с инструментальной точкой как

$$T_{0p} = e^{[S_1]\theta_1} e^{[S_2]\theta_2} e^{[S_3]\theta_3} e^{[S_4]\theta_4} e^{[S_5]\theta_5} e^{[S_6]\theta_6} M_p$$

В MatLab был реализован скрипт решения прямой задачи кинематики с помощью «облаков» значений инструментальной точки, графически изображенный на рис. 2.

После получения решений, произведена оценка скорости решения ПЗК, реализованной разными способами: методом произведения экспонент (РОЕ) (две вариации) и методом Денавита-Хартенберга [4].

Решение обратной задачи кинематики (ОЗК) выполнено численным методом с использованием алгоритма Левенберга-Маркварда. Данный алгоритм реализован в Matlab в функции «fsolve» и представляет собой метод решения нелинейных систем уравнений.

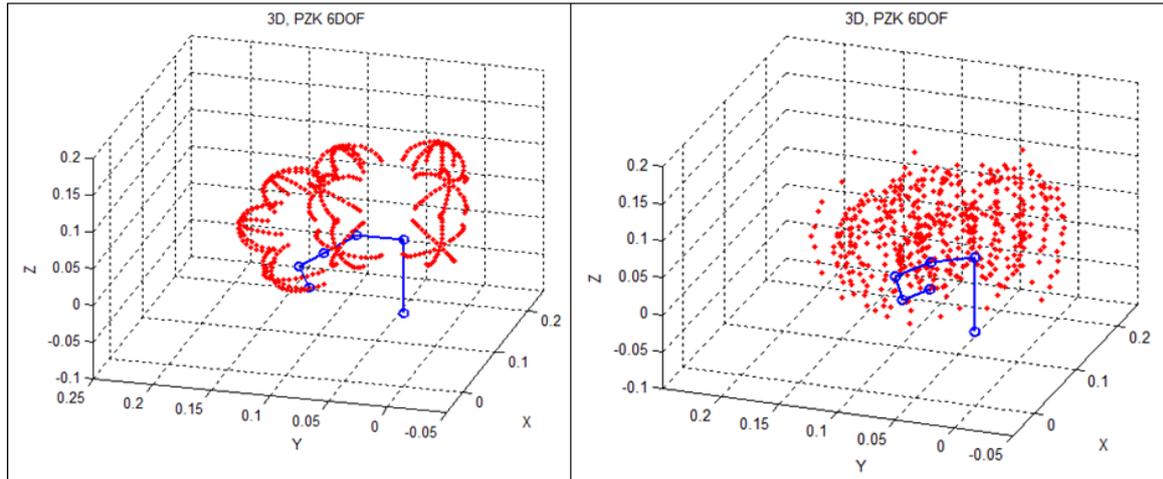


Рис. 2. «Облака» значений инструментальной точки решения ПЗК

Далее была решена задача динамического позиционирования инструментальной точки путем разбиения основной задачи на три подзадачи:

- задача приведения ИТМ к неподвижной целевой точке;
- задача приведения ИТМ к неподвижной ЦТ с определенной ориентацией;
- задача слежения ИТМ за подвижной ЦТ с определенной ориентацией ИТМ [5].

Важно отметить, что в данной работе был разработан алгоритм, работающий с рядом важных допущений:

- требуемые координаты ЦТ, в каждый момент времени, точно известны;
- требуемые углы ориентации ЦТ, в каждый момент времени, точно известны;
- пренебрежём временем решения ОЗК, т.е. считаем, что ОЗК решается мгновенно, и не будем рассматривать влияние запаздывания решения на динамику работы манипулятора;
- пренебрегаем ограничениями на развиваемые угловые скорости и угловые ускорения сочленений;
- пренебрегаем динамикой переходных процессов в приводах сочленений, т.е. изменения угловых скоростей могут происходить мгновенно.

Алгоритм разрешения задачи динамического позиционирования представлен на рис. 3.

Для расчета параметров алгоритма реконфигурации примем, что M_o определяют местоположение препятствия и введем допустимый (безопасный) радиус R_o , который обеспечивает компенсацию ошибок управления.

В каждый момент времени, необходимо определить для каких сочленений $R_i < R_o$. Как только это условие выполнилось необходимо дополнить целевую функцию новым условием $F_i = R_o - \|M_3 - M_o\| \leq err$. При этом кол-во уравнений может непрерывно менять, что бы этого избежать переформулируем общую целевую функцию, как

$$F^{LM} = \sqrt{\sum F_i^2} \leq err$$

тогда если для всех выбранных сочленений выполняется $R_i < R_o$, то

$$F^{LM} = \sqrt{F_3^2 + F_5^2 + F_6^2 + F_p^2 + (F_1^{LM})^2 + (F_2^{LM})^2}$$

где F_3, F_5, F_6, F_p – целевые функции уклонения от препятствия, F_1^{LM}, F_2^{LM} – целевые функции по положению и ориентации.

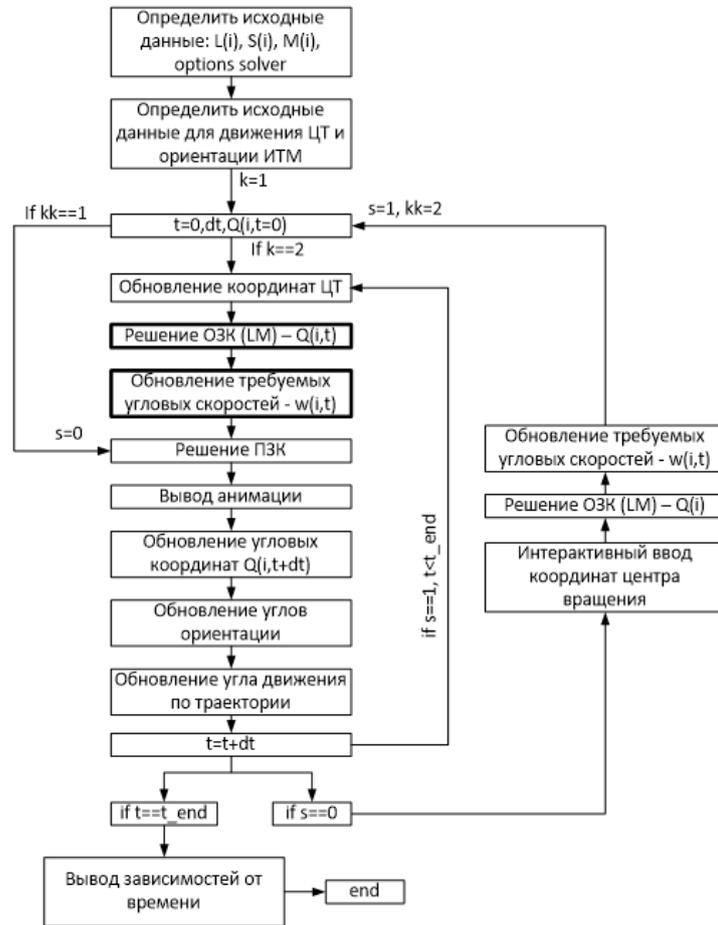


Рис. 3. Схема алгоритма динамического позиционирования

Если положения всех сочленений находятся на безопасном расстоянии от препятствия, то целевая функция будет

$$F^{LM} = \sqrt{(F_1^{LM})^2 + (F_2^{LM})^2}$$

Результат выполнения данного алгоритма в среде MatLab представлен на рис. 4.

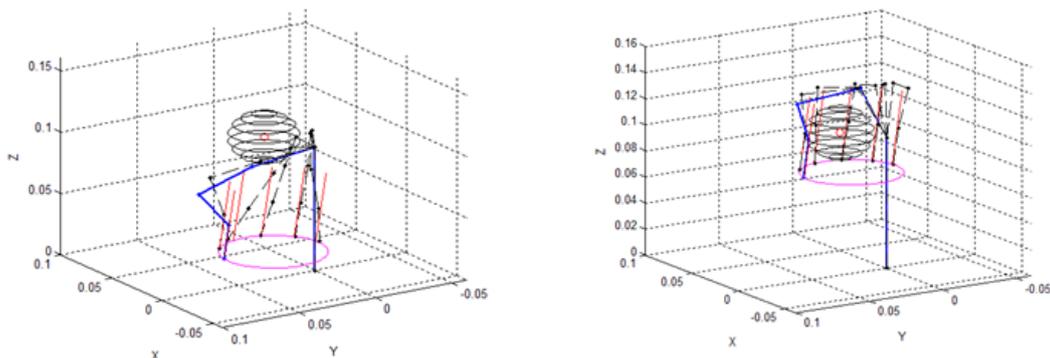


Рис. 4. Результаты работы алгоритма уклонения

В результате выполнения работы был спроектирован и изготовлен шестиосевой манипулятор и разработана адаптивная система управления манипулятором, включающая в себя механизм реконфигурации звеньев манипулятора без изменения положения и координат целевой точки. В качестве триггеров алгоритм использует данные, получаемые от УЗ датчиков расстояния.

По результатам выполненных работ уже поставлены задачи для дальнейшего развития проекта:

- оптимизация конструкции манипулятора и герметизация всех соединений;
- отказ от ременных передач и переход к гидравлическим актуаторам;
- добавление седьмой оси для дополнительной компенсации дрейфа манипулятора и расширения возможностей решения ОЗК и ПЗК;
- доработка алгоритма реконфигурации введением плавающих координат объекта-препятствия;
- оптимизация скорости расчета траектории движения и скорости работы алгоритма в целом.

Литература

1. Юревич Е.И. Основы робототехники 2-е издание. Учебное пособие. Издательство БХВ-Петербург. 2005. 416 с.
2. PLA-пластик для 3D печати | 3D Today [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/PLA_plastic/ (дата обращения: 19.03.2021).
3. Kevin M. Lynch and Frank C. Park, MODERN ROBOTICS MECHANICS, PLANNING, AND CONTROL. Modern Robotics, Lynch and Park, Cambridge U. Press. 2017. <http://modernrobotics.org>.
4. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А., Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 108 с.
5. Peter Corke Robotics, Vision and Control Fundamental Algorithms in MATLAB: Springer. 2011. 570 с.

Кириллова Елизавета Владимировна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42053с,

направление подготовки: 15.04.04 – Автоматизация

технологических процессов и производств,

e-mail: e.kir98@mail.ru

Киприянов Кирилл Васильевич

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

ассистент,

e-mail: kvkipriianov@itmo.ru

УДК 004.056.52

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ
"УМНОЙ ФАБРИКИ" НА ОСНОВЕ NFC-ТЕХНОЛОГИЙ**

Е.В. Кириллова

Научный руководитель – ассистент К.В. Киприянов

Аннотация

В работе рассмотрен метод управления персоналом на основе NFC-технологии с использованием активных и пассивных устройств. Эксперимент проводился с применением контроллера Arduino Nano и считывателя RFID RC522, а также NFC-метки.

Ключевые слова

NFC, СКУД, ограничение доступа, учет рабочего времени, Arduino.

Системы контроля и управления доступом присутствуют на каждом предприятии. Достаточно часто требуется ограничить круг лиц, для которых разрешён доступ на определённую территорию или к определенному оборудованию. При этом часто используют в качестве защиты помещений от несанкционированного доступа физические ключи, пароли или специальные карты. Основной целью данного проекта является описание безопасной и удобной системы аутентификации.

Процедура аутентификации основывается на использовании смартфона с NFC. Его можно заменить, например, на смарт-часы, кольцо или браслет, также поддерживающие технологию NFC. Но смартфон в данном случае имеет преимущество, так как обладает дополнительной степенью защиты в виде биометрической идентификации (отпечаток пальца или FaceID).

По оценке Группы «М.Видео-Эльдорадо» каждый второй приобретенный россиянами в 2019 году смартфон поддерживает технологию NFC – а это порядка 15 млн штук. А по данным на январь 2021 года 59% выпускаемых смартфонов обладают данной технологией, а 84% – системой биометрической идентификации [1].

Near field communication, NFC («коммуникация ближнего поля», «ближняя NFC (Near field communication) – технология беспроводной передачи данных малого радиуса действия, которая даёт возможность обмена данными между устройствами. NFC посылает радиоволны используя RFID (Radio-frequency Identification), при этом может делать это в обоих направлениях в отличие от оригинальной технологии. То есть NFC

объединяет интерфейс смарт-карты (RFID-метки) и считывателя в единое устройство.

Устройство NFC работает на частоте 13,56 МГц и состоит из считывающего устройства (ридера) и антенны или из метки и антенны. Активное устройство создает электромагнитное поле для отправки данных, которое питает пассивный приемник, когда он входит в зону действия

На рис. 1 представлена динамика популярности запроса в поисковой системе Гугл по теме NFC. По горизонтали указано время, начиная с 2004 г., когда ввели данную аббревиатуру, по вертикали – уровень интереса к теме по отношению к наиболее высокому показателю в таблице для определенного региона и периода времени. Можно заметить, что, заинтересованность людей только растет. Наибольший подъем связан с тем, что данную технологию стали использовать в смартфонах [2].



Рис. 1. Динамика популярности запроса NFC в Google по миру

Для обеспечения связи необходимо иметь одно устройство для передачи, а другое для приема сигнала. Поэтому разделяют пассивные и активные устройства.

К пассивным устройствам NFC относятся различные метки и другие небольшие передатчики. Главная особенность – это отсутствие необходимости в собственном источнике питания. Они хранят в своей памяти некую информацию, будь то текст или ссылка на сайт, которую отправляют активному устройству. Два пассивных устройства связываться между собой не могут.

Активные устройства имеют собственный источник питания и могут отправлять, получать, обмениваться данными друг с другом или с пассивными устройствами. Смартфоны – самый распространенный вид, также популярны различные считыватели карт или платежные терминалы [3].

Устройства с поддержкой NFC поддерживают три режима работы:

1. Режим чтения / записи.

Данный режим позволяет производить простые манипуляции с информацией – записывать и считывать ее на пассивные устройства.

2. P2P (Peer-to-peer) режим.

Одноранговый режим не так популярен, как два других. С его помощью можно передавать информацию между двумя активными устройствами – смартфонами.

3. Режим эмуляции карты.

Режим эмуляции позволяет NFC-совместимым устройствам работать как смарт-карты.

Было проведено два эксперимента с записью управляющей программы на пассивное устройство. Для работы были предоставлены различные виды меток. На рис. 2 представлен их внешний вид. Метки различаются по объему памяти, защищенности, способу крепления. Также существуют метки, которые возможно крепить к

металлическим поверхностям и не будут создаваться помехи для передачи информации.

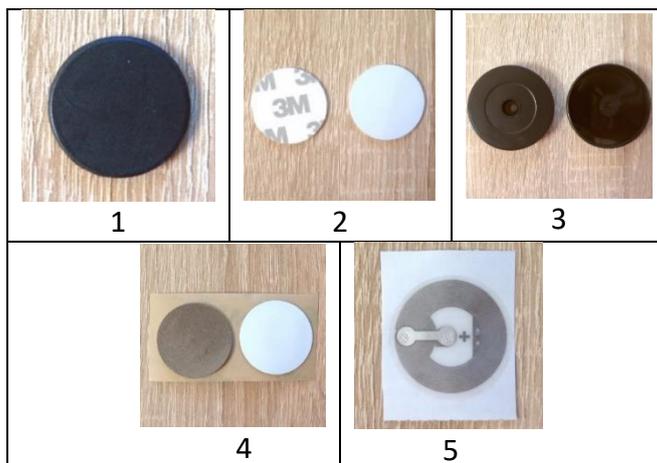


Рис. 2. Внешний вид меток

В конечном результате была выбрана метка «NTAG216 защищенная эпоксидная анти-металл круглая 52мм» под номером 3, так как метка будет крепиться к металлической поверхности. Также она обладает достаточным объемом памяти.

В качестве приложения для программирования были выбраны NFC Tools + NFC Tasks, так как имеют достаточно простой и интуитивно понятный интерфейс на русском языке, а также обладают большим набором различных команд и задач, которые можно настраивать на одной метке на разных пользователей.

С помощью меток на производстве можно избавиться от ведения бумажных журналов и другой отчетности. Например, если сотрудник берет какой-либо инструмент или ключ, он «отчитывается» с помощью своего смартфона, а информация сразу отправляется на сервер.

В первом случае при прикладывании телефона к NFC метке должно создаваться и отправляться электронное сообщение на специально созданную почту test_nfc@mail.ru. В поле «объект» указывается тема сообщения. В поле «сообщение» задаются следующие переменные: дата, время, ID метки, пользователь.

На рис. 3 представлен процесс записи информации на метку и внешний вид готового сообщения. Оно отправляется автоматически, при этом пользователь не может его изменять самостоятельно.

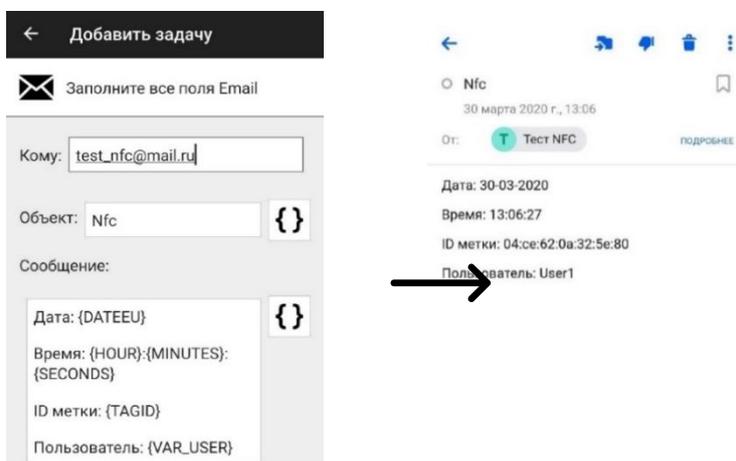


Рис. 3. Отправка данных на почтовый ящик

Во втором случае информация отправлялась на локальный web-сайт. На метке настраивается. Для этого используем задачу «URL». В поле вводим URL локального сайта и все тэги, которые будут отображаться на странице. Web-страница на локальном сервере имеет следующий вид (рис. 4).

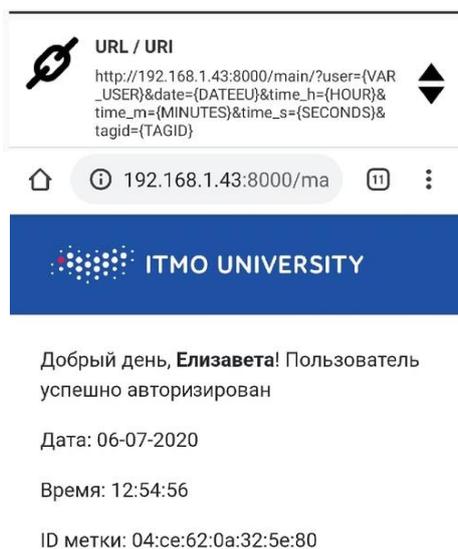


Рис. 4. Отправка данных на web-сайт

Также был проведен эксперимент с активным устройством NFC. Для выполнения проекта был выбран микроконтроллер Arduino Nano и модуль RFID-RC522.

Arduino Nano входит в тройку самых популярных плат ардуино. Она позволяет создавать компактные устройства.

В проектах Arduino в качестве считывателя очень часто используют модуль RFID-RC522. Модуль выполнен на микросхеме MFRC522 фирмы NXP, которая обеспечивает работу с метками, работающими на частоте 13,56 МГц.

На рис. 5 представлена схема подключения Arduino и RFID-модуля. Также присутствуют светодиоды для визуальной идентификации разрешения или запрета доступа.

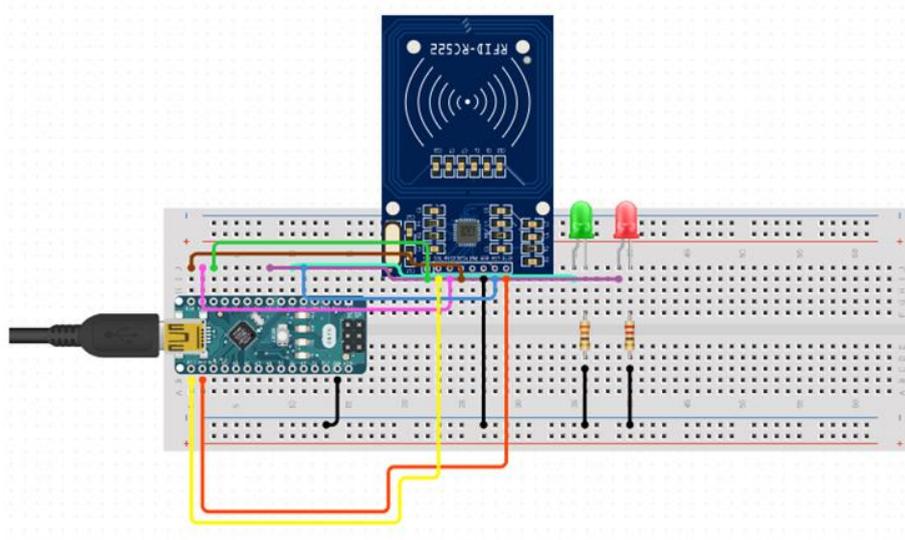


Рис. 5. Схема подключения

Смартфон прикладывается к считывателю, считыватель идентифицирует смартфон по ID, передает информацию на Arduino. Arduino по USB связывается с компьютером, к которому он подключен. Далее происходит проверка ID и уровню доступа в базе данных. Если есть информация о данном ID и уровень соответствует заданному, то – зеленый сигнал, если нет – красный.

Для начала необходимо внести информацию на каждый идентификатор о его владельце – фамилия, имя и уровень доступа. Уровень доступа присваивается каждому сотруднику на основе его компетенций.

Запись проходит в программе Arduino IDE. Для этого загружаем скетч на плату Ардуино, затем прописываем информацию в монитор порта

После того, как информация присвоена каждому идентификатору, можно проверить работу системы: например, доступ в данное помещение разрешен от 5 уровня доступа. Если доступ разрешен – появляется соответствующая надпись и загорается зеленый светодиод, если нет – красный (рис. 6).

```
Поднесите карту для считывания ...
*****
Номер карты:      57 A8 3E B3
Фамилия:         KIRILLOVA
Имя:             ELIZAVETA
Уровень доступа № 9
**Доступ разрешен**

**Конец считывания**

Поднесите карту для считывания ...
*****
Номер карты:      99 3A 6F E9
Фамилия:         IVANOV
Имя:             IVAN
Уровень доступа № 4
**Доступ запрещен**

**Конец считывания**
```

Рис. 6. Результат работы программы

Помимо этого, выводим информацию в программу Excel для визуального отображения и построения графиков в реальном времени.

Для этого использовался готовый макросом для Excel - PLX DAQ, который позволяют передавать информацию с Arduino.

И когда подносим смартфон к считывателю в таблицу начинает выводиться информация, заранее записанная в сектор памяти (рис. 7). Для вывода даты и времени воспользовались штатными средствами Excel.

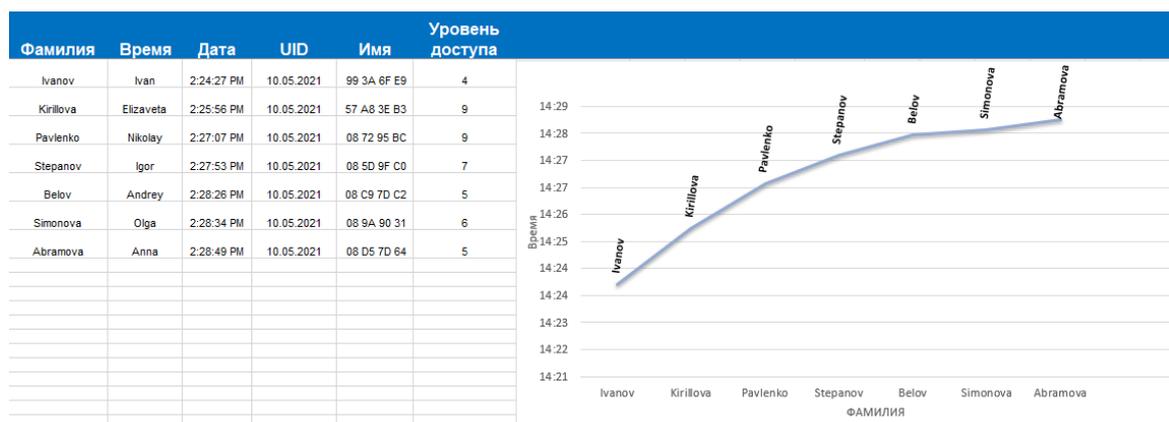


Рис. 7. Вывод данных в Excel

В результате работы был предложен алгоритм работы системы при запросе от пользователей с различными уровнями доступа, основанными на компетенциях. При использовании считывателя в совокупности с различными устройствами, например, с сервоприводами, возможно применять данную систему в различных ситуациях. Благодаря распространенности смартфонов и доступности NFC меток, у систем контроля доступа, разработанных с использованием данного способа, будут присутствовать большие возможности в плане идентификации и аутентификации пользователей

Также данную систему можно рассматривать как комбинированную СКУД, так как она соединяет в себе биометрическую идентификацию пользователя в смартфоне. Ее можно использовать и как автономную систему, предварительно задав в настройках необходимый уровень доступа, и как сетевую, подключив контроль за временем ухода и прихода каждого человека.

Литература

1. Near Field Communication (NFC). Ближняя бесконтактная связь | TADVISER [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// www. tadviser. ru/index. php/Статья:NFC_-_Near_Field_Communication_ Ближняя _бесконтактная_ связь](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:NFC_-_Near_Field_Communication_Ближняя_бесконтактная_связь) (дата обращения: 12.11.2020).
2. Google Trends: NFC | Google Trends [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trends.google.ru/trends/explore?q=nfc&geo=RU> (дата обращения: 16.01.2021).
3. NFC от «А» до «Я» подробно рассказываем что такое, и как NFC в телефоне изменит жизнь каждого | Интемс [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// securityrussia. com/blog/nfc.html](https://securityrussia.com/blog/nfc.html) (дата обращения: 27.03.2020).

Киричек Ксения

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V42372с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: ravt-777@mail.ru

Вартанян Тигран Арменакович

Год рождения: 1953

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., профессор, г.н.с.,

e-mail: tigran.vartanyan@mail.ru

УДК 535.379

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА
В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУРАХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРОВ**

К. Киричек

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Т.А. Вартанян

Аннотация

Исследованы фотофизические свойства люминола в присутствии металлических наночастиц, обладающих локализованным плазмонным резонансом. Достигнуто усиление интенсивности хемилюминесценции люминола за счет использования коллоидных плазмонных наночастиц и самоорганизованной метаповерхности, состоящей из наночастиц серебра. Создан прототип хемилюминесцентного сенсора, позволяющего выявить избыточную концентрацию активных форм кислорода, являющихся причиной таких серьезных заболеваний, как сахарный диабет, мужское бесплодие, отклонение от нормального эмбрионального развития и т.д.

Ключевые слова

Плазмонный резонанс, хемилюминесценция, люминол, металлические наночастицы, хемилюминесцентные сенсоры, коллоидные наночастицы, метаповерхность.

Введение

Хемилюминесценция (ХЛ) представляет собой нетепловое излучение света, которое является результатом протекания специфических химических реакций. Благодаря высокой чувствительности и быстрому отклику хемилюминесценция стала основой для создания высокочувствительных сенсоров, которые применяются в исследовании влияния различных факторов на состояние окружающей среды, фармацевтике, контроле за качеством пищевых продуктов и клинической диагностике [1].

Однако, большинство хемилюминесцентных реакций, происходящих между люминолом и активными формами кислорода (АФК), характеризуются низким квантовым выходом, что является причиной возникновения слабого и плохо детектируемого сигнала [2]. Низкая интенсивность хемилюминесценции накладывает определенные ограничения при проведении различных качественных и количественных анализов на определение избыточной концентрации АФК, которые, в свою очередь,

играют существенную роль в развитии таких серьезных болезней, как мужское бесплодие, отклонение от нормального развития у эмбрионов, сахарный диабет и т.д.

Одним из методов увеличения сигнала хемилюминесценции стало внедрение наноматериалов, которые отличаются уникальными оптическими и каталитическими свойствами. В настоящее время, приводится все больше работ, в которых усиление интенсивности сигнала ХЛ происходит за счет использования металлических наночастиц (НЧ). Одними из наиболее часто используемых наночастиц благородных металлов являются серебряные наночастицы (Ag НЧ), которые доказали свою эффективность в усилении ХЛ. Значительное усиление сигнала ХЛ наблюдалось не только при использовании коллоидного серебра [3], но и с применением простых в изготовлении и недорогих подложек с нанесенной серебряной пленкой [4].

В данной работе, для усиления сигнала ХЛ используются коллоидный раствор серебряных наночастиц, полученных методом лазерной абляции и прошедших процедуру центрифугирования, а также планарная метаповерхность из наночастиц серебра, обладающая улучшенной стабильностью к механическим и химическим воздействиям. Усиление сигнала достигается за счет эффекта Парселла, заключающегося в ускорении радиационных переходов по сравнению с безызлучательными вблизи металлических НЧ.

Важным результатом данной работы стало создание чувствительного ХЛ сенсора, который позволяет зарегистрировать сигнал ХЛ, возникающей при смешении щелочного раствора люминола с сильным окислителем в каналах микрофлюидного чипа. В качестве окислителей были выбраны растворы гипохлорита натрия (NaOCl) и пероксида водорода (H_2O_2).

Материалы и методы

Синтез коллоидных серебряных наночастиц

Наночастицы коллоидного серебра были получены методом лазерной абляции серебряной мишени (чистота 99,99%) в деионизированной воде. Серебряную мишень облучали на длине волны 355 нм с частотой следования импульсов 10 Гц в течение 60-120 минут. Далее, часть раствора с полученными наночастицами серебра центрифугировали в течение 60 минут при ускорении 15000 g и погружали в ультразвуковую ванну на 5-10 секунд. Из спектров оптической плотности (рис. 1а) видно, что после центрифугирования появляется дополнительный максимум в длинноволновой области.

Формирование метаповерхности из наночастиц серебра

Гранулированные пленки серебра на стеклянных подложках получали физическим осаждением из паровой фазы в вакуумной камере PVD-75 (Kurt J. Lesker) при давлении остаточного газа 10^{-7} Торр. Полученные подложки с нанесенными наночастицами серебра отжигались при температуре 200 °С. Согласно изображениям, полученным с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) MERLIN (Carl Zeiss) перед отжигом, поверхность с нанесенными наночастицами серебра представляла собой пленку с множеством наноостровков различной формы. Эти островки располагались на подложке хаотичным образом на небольшом расстоянии друг от друга. В процессе высокотемпературной обработки форма наноостровков стала приближаться к сферической. Диаметр нанесенных наночастиц после отжига составлял 10 - 200 нм (рис. 1б).

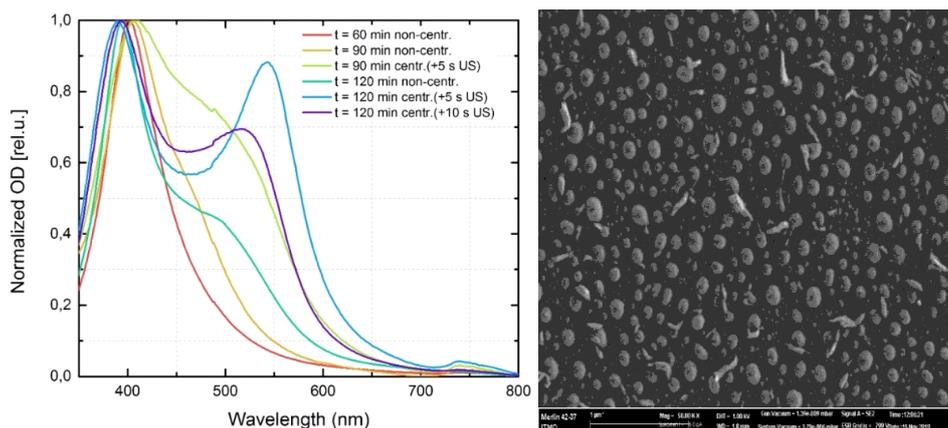


Рис. 1. а) Спектры оптической плотности НЧ серебра, полученных методом лазерной абляции в течение 60, 90 и 120 минут и прошедших центрифугирование в течение 60 минут; б) СЭМ-изображения подложки с осажденной серебряной пленкой после отжига

Разработка хемилюминесцентного сенсора

Разработанный прототип ХЛ сенсора заключен в прочный пластиковый короб, который защищает его от света и других внешних воздействий. Основным элементом прибора являются микрофлюидный чип и диэлектрическая подложка, на которой расположена метаповерхность из серебряных наночастиц (рис. 2а).

Микрофлюидный чип был изготовлен из оптически прозрачного полидиметилсилоксана (ПДМС) методом стандартной мягкой литографии. Микрофлюидный чип был совмещен с диэлектрической подложкой с использованием кислородной плазмы в системе плазменной очистки Plasma Finish (рис. 2б).

Для регистрации ХЛ излучения, возникающего в каналах чипа, использовался высокочувствительный счетчик фотонов, который позволяет детектировать даже весьма слабый сигнал ХЛ. Каналы чипа были накрыты поляроидными пленками с ортогональными направлениями поляризации пропускаемого излучения, а перед счетчиком фотонов была установлена жидкокристаллическая (ЖК) твист-ячейка и дополнительный полярироид. Таким образом, в зависимости от величины управляющего напряжения на ЖК ячейки, обеспечивающей вращение плоскости поляризации падающего на нее излучения, можно было попеременно регистрировать сигнал хемилюминесценции с каждого из двух каналов микрофлюидного чипа.

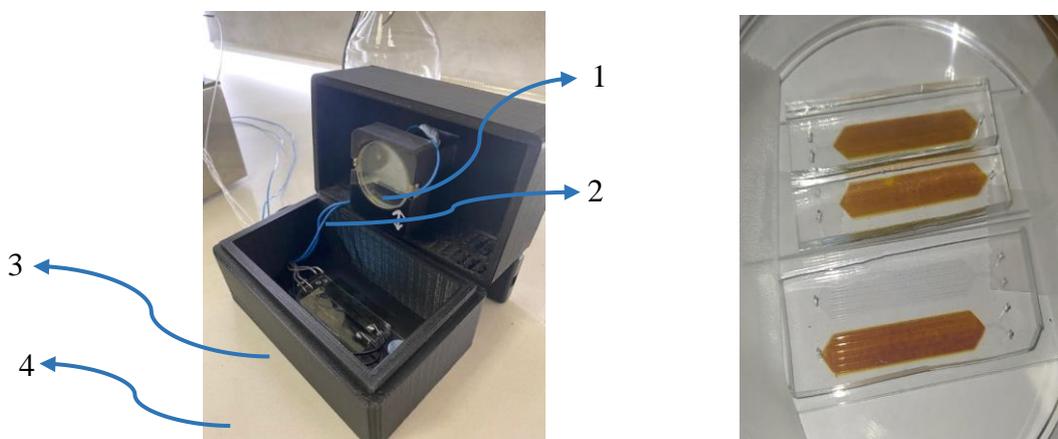


Рис. 2. а) внутренняя конструкция ХЛ сенсора: 1 – счетчик фотонов, 2 – ЖК твист-ячейка, 3- микрофлюидный чип, 4 – защитный корпус; б) микрофлюидный чип с прикрепленной подложкой с осажденной метаповерхностью из наночастиц серебра

Результаты и обсуждения

Усиление ХЛ за счет использования коллоидных серебряных наночастиц

В данной части была исследована кинетика ХЛ щелочного раствора люминола с $\text{pH}=12.3$ (рис. 3), возникающая при его смешении с раствором NaOCl в каналах микрофлюидного чипа при скорости инфузии 10 мкл/мин. Из рис. 3 видно, что наибольший коэффициент усиления ХЛ наблюдается при добавлении 66 мМ коллоидных серебряных наночастиц, прошедших процедуру центрифугирования.

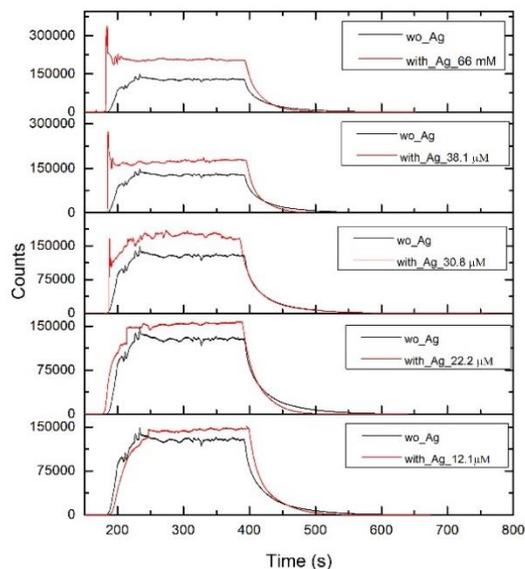


Рис. 3. Кинетика ХЛ люминола без Ag НЧ (черная кривая) и в присутствии Ag НЧ (красная кривая) при смешении с NaOCl

Далее была исследована кинетика ХЛ люминола (рис. 4) при его окислении пероксидом водорода в случае различных скоростей инфузии, а именно при 5 мкл/мин, 10 мкл/мин и 100 мкл/мин. Максимальный коэффициент усиления составил порядка 2.5 в случае 5 мкл/мин, 2.9 в случае 10 мкл/мин и 2.8 при скорости 100 мкл/мин. Природа усиления объясняется большей площадью перекрытия спектров поглощения НЧ серебра со спектром люминесценции люминола, что является одним из условий наблюдения усиленного сигнала.

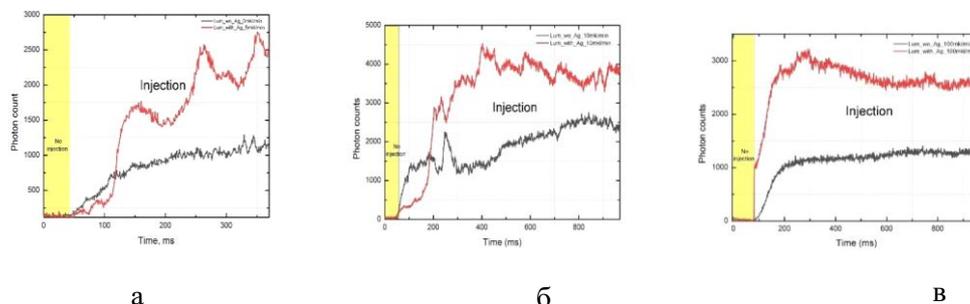


Рис. 4. Кинетика ХЛ люминола без Ag НЧ (черная кривая) и в присутствии Ag НЧ (красная кривая) при скорости инфузии а) 5 мкл/мин, б) 10 мкл/мин, в) 100 мкл/мин

Исследование стабильности метаповерхности из НЧ серебра

Осажденная и отожженная метаповерхность из наночастиц серебра была подвергнута лазерному излучению 3-й гармоники лазера с плотностью энергии в импульсе равной 17.75 мДж/см^2 и 35.5 мДж/см^2 . Затем облученные области были

подвергнуты промывке в растворах толуола, этанола, смеси щелочного раствора люминола и H_2O_2 и гексана. Было также проведено исследование стабильности метаповерхности после протирки ватным диском. Как видно из рис. 5, снижение оптической плотности метаповерхности после вышеописанных воздействий составляло не более 20%, что говорит о хорошей стабильности и возможности повторного использования облученной метаповерхности.

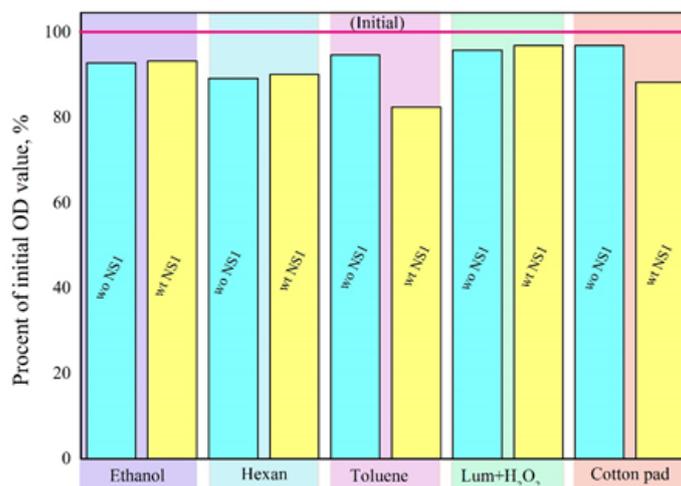


Рис. 5. Диаграмма уменьшения значений оптической плотности после химического и механического воздействия при облучении с плотностью энергии в импульсе равной 17.75 мДж/см^2 (синие блоки) и 35.5 мДж/см^2 (желтые блоки)

Влияние метаповерхности из серебряных наночастиц на интенсивность ХЛ люминола

В данном разделе использовался подвижный механизм, который позволил совместить чистую подложку с нанесенным раствором $NaOCl$ и подложку с метаповерхностью из серебра, поверх которой нанесен раствор люминола. При совмещении подложек наблюдалось характерное синее свечение в видимом спектральном диапазоне, которое являлось результатом химической реакции окисления люминола гипохлоритом натрия. Анализ полученных фотографий (рис. 6), на которых запечатлена ХЛ люминола показал, что интенсивность регистрируемого сигнала в той части подложки, где присутствовали серебряные наночастицы, была в 3 раза выше в сравнении с сигналом в области без серебряных наночастиц.

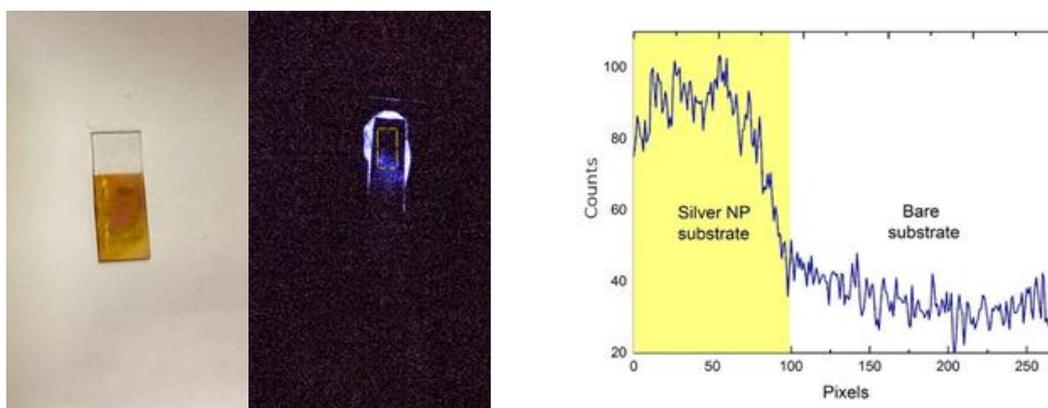


Рис. 6. Фотография (слева) и профиль интенсивности ХЛ люминола, полученной от областей без (желтый сектор) и в присутствии Ag НЧ (белый сектор)

Функциональные возможности разработанного сенсора

На рис. 7 изображена кинетика хемилюминесценции люминола при смешении с растворами гипохлорита натрия различной концентрации. Хемилюминесценция регистрировалась попеременно с двух каналов путем подачи напряжения на ЖК твист-ячейку, установленную перед счетчиком фотонов. Благодаря использованию твист-ячейки стало возможным проводить сравнительный анализ в режиме реального времени, что является большим преимуществом при использовании разработанного сенсора в биомедицинских приложениях.

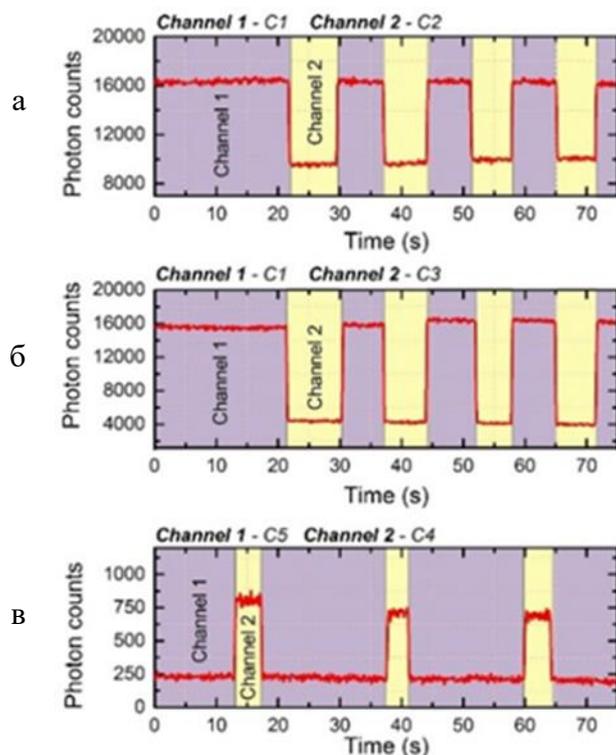


Рис. 7. Кинетика ХЛ люминола, возникающая в результате смешения с растворами NaOCl с концентрацией: а) 61.01 мМ (Channel 1) и 13.16 мМ (Channel 2), б) 61.01 мМ (Channel 1) и 6.65 мМ (Channel 2), в) 0.67 мМ (Channel 1) и 0.34 мМ (Channel 2)

Заключение

В данной работе было проведено комплексное исследование усиления ХЛ в присутствии наночастиц серебра, полученных методом лазерной абляции и метаповерхности, состоящей из серебряных НЧ и обладающей улучшенной стабильностью. Продемонстрированы функциональные особенности разработанного хемилюминесцентного сенсора, имеющего потенциал для внедрения в качестве диагностического прибора в различные медицинские учреждения и лаборатории. В ходе работы удалось получить трехкратное увеличение интенсивности ХЛ сигнала как при использовании коллоидных НЧ, так и в присутствии серебряной метаповерхности.

Литература

1. Liu A., Zhao F., Zhao Y., Shanguan L., & Liu S. A portable chemiluminescence imaging immunoassay for simultaneous detection of different isoforms of prostate specific antigen in serum // Biosensors and Bioelectronics. 2016. P. 97–102.
2. Hananya N., Eldar Boock A., Bauer C.R., Satchi-Fainaro R. & Shabat D. Remarkable Enhancement of Chemiluminescent Signal by Dioxetane–Fluorophore Conjugates: Turn-

- ON Chemiluminescence Probes with Color Modulation for Sensing and Imaging // Journal of the American Chemical Society. 2016. P. 13438–13446.
3. Chen H., Gao F., He R. & Cui D. Chemiluminescence of luminol catalyzed by silver nanoparticles // Journal of Colloid and Interface Science. 2007. P. 158-163.
 4. Dadadzhanov D.R., Gladskikh I.A., Baranov M.A., Vartanyan T.A., Karabchevsky A. Self-organized plasmonic metasurfaces: The role of the Purcell effect in metal-enhanced chemiluminescence (MEC) Safety // Sensors and Actuators B: Chemical. 2021. P. 129453.

Климова Алина

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

студент группы № А42402,

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

e-mail: alinka3024@mail.ru

Кривошапкина Елена Федоровна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

к.х.н., доцент (квалификационная категория "ординарный доцент"),

e-mail: kef@scamt-itmo.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ИНКАПСУЛЯЦИИ
НУТРИЕНТОВ И КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ /
POLYSACCHARIDES FOR NUTRIENT ENCAPSULATION AND FOOD
CONTROL APPLICATIONS**

А. Климова

Научный руководитель – к.х.н. Е.Ф. Кривошапкина

Аннотация

Была получена стабильная инкапсулированная система бета-глюкан – бета-каротин, которая позволила увеличить водорастворимость и стабильность нутриента. Для этого была проведена модификация бета-глюкана, чтобы получить сложный эфир жирной кислоты бета-глюкана. Полученная система была исследована рядом физико-химических методов анализа, а также проведен анализ цитотоксичности. Также был разработан «умный» материал на основе нанокристаллической целлюлозы, на поверхности которой были синтезированы углеродные точки, флуоресцирующие синим. Была изучена зависимость флуоресценции от различных факторов, таких как рН среды, температура и присутствие различных веществ. Полученные данные свидетельствуют о возможном применении полученного материала в качестве сенсора свежести продуктов питания.

Ключевые слова

Инкапсуляция, функциональный продукт, бета-глюкан, нанокристаллическая целлюлоза, углеродные точки, порча продуктов.

Человечество должно быть полноценно обеспечено физиологически сбалансированным питанием, т. к. та пища, что поступает в наш организм, а также и то, что поступает вместе с ней, влияет не только на здоровье человека, но и на продолжительность его жизни. Отсюда появляется необходимость в разработках в области пищевой промышленности, которые были бы направлены на отслеживание качества продуктов питания, а также дополнительное обогащение рациона различными нутриентами.

Обогащение продуктов питания различными нутриентами и биоактивными веществами – это вмешательство в уже сформированную традиционную структуру питания, ставшее необходимостью в современных экологических условиях.

В процессе обогащения рациона человека нутриентами, учитываются современные данные о роли питания и отдельных пищевых веществ, необходимых для поддержания здоровья и жизнедеятельности организма человека.

Контроль качества продуктов, включенных в ежедневный рацион – это одна из приоритетных научных и практических задач в сфере пищевой промышленности в развитых странах. Отравление некачественным и просроченным продуктом может привести к болезням пищевого происхождения и серьезные последствия. Существует необходимость в разработках различных сенсорных систем, которые могли бы обеспечить обнаружение патогенных бактерий или веществ, которые они выделяют в процессе своей жизнедеятельности, приводящих к порче продуктов [1-3].

В данной работе для решения обозначенных задач используются полисахариды – биополимеры, которые являются биосовместимыми и биоразлагаемыми. Помимо этого, хочется отметить, что источники полисахаридов относятся к возобновляемым природным ресурсам, использование которых не несет негативное воздействие на окружающую среду.

Разработанный в данной работе подход позволил заинкапсулировать водонерастворимый нутриент бета-каротин, благодаря чему увеличилась его растворимость в воде и биодоступность. Для этого, на основе научных работ, был разработан метод синтеза, где бета-глюкан превратили в полусинтетический полисахарид (сложный эфир жирной кислоты бета-глюкана) [4]. В результате образуется амфифильный агент, который способен образовывать мицеллы в водных растворах. Образованные самоагрегаты способны улавливать водонерастворимые компоненты, увеличивая их растворимость. Полученная стабильная инкапсулированная система бета-глюкан – бета-каротин изучалась комплексом физико-химических методов. ИК-спектры капсул состоят из пика в области $1700-1750\text{ см}^{-1}$, что свидетельствует об успешном проведении модификации бета-глюкана (Nicolet iS5) (рис. 1).

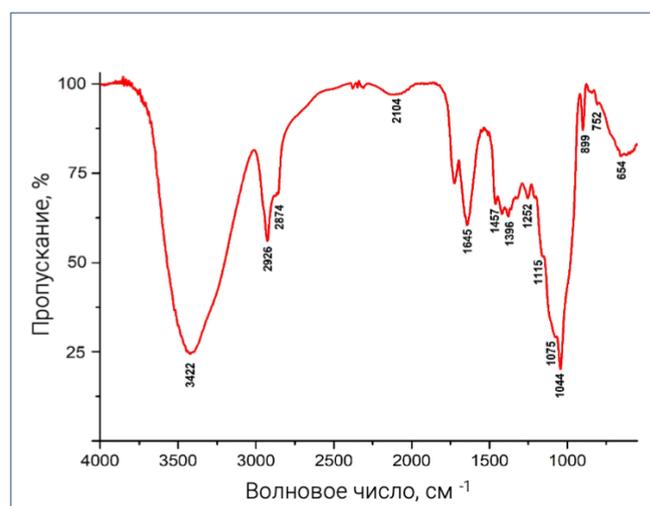


Рис. 1. ИК-спектр полученной инкапсулированной системы

При помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) был получен топографический контраст системы (Tescan Vega 3 SBH, Чехия), а используя динамическое рассеяние света (ДРС) был определен размер частиц 220 нм (Photocor Contrast-Z analyser), что коррелирует с данными СЭМ. Помимо этого, был определен дзета-потенциал системы, который равен -24 мВ , что указывает на стабильность полученной системы (рис. 2).

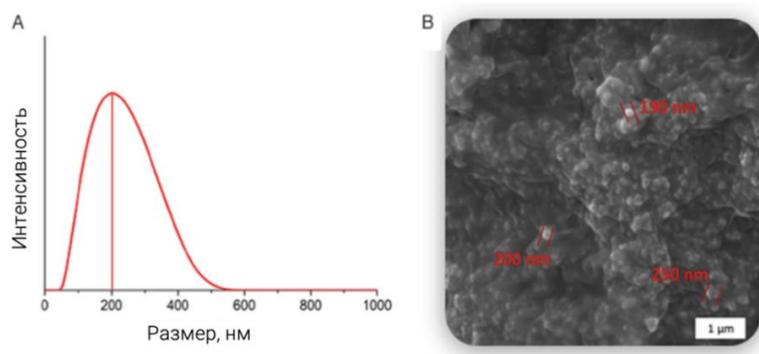


Рис. 2. А- ДЛС полученных капсул, В- изображение СЭМ полученных капсул

Анализ цитотоксичности показывает, что полученная инкапсулированная система обладает низким уровнем цитотоксичности, однако, для дальнейших выводов о потенциальном вредном воздействии на человека, необходимы дополнительные исследования *in vivo*.

Для решения второй поставленной проблемы, была использована нанокристаллическая целлюлоза – наиболее распространенный полисахарид в мире. Поверхность целлюлозы содержит много активных гидроксильных групп, которые позволяют ей образовывать множество различных модификаций.

На основе нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) был получен «умный материал». Для этого, НКЦ была модифицирована, в результате чего на ее поверхности образовались углеродные точки (допированные азотом) [5]. Полученные квантовые объекты флуоресцируют синим, что может быть использовано как отклик.

Использование углеродных точек в качестве объекта с откликом имеет следующие преимущества:

- сильное взаимодействие с поверхностью материала;
- изделия не будут загрязнены дополнительным выделением красителей;
- углеродные точки не проявляют токсичности для биологических объектов;
- углеродные точки не подвержены фотообесцвечиванию.

Данные рентгенофазового анализа (D8 Advance Bruker) полученного материала показывают, что условия реакции модификации НКЦ практически не влияют на степень кристаллическость полисахарида, что не изменяет его физические и механические свойства (рис. 3).

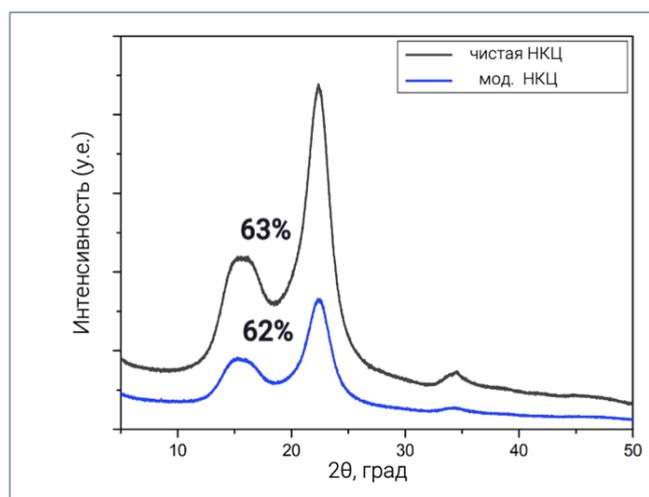


Рис. 3. Рентгенофазовый анализ полученного материала

Была изучена зависимость флуоресценции от различных факторов, таких как pH среды, температура и т.д. Из полученных данных, был сделан вывод, что щелочная среда и присутствие аммония (основной продукт порчи морепродуктов) значительно гасят флуоресценцию, а такие параметры, как температура (от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$), условия вакуума, присутствие CO_2 газа не влияют на флуоресценцию. Также были сформированы и применены в условиях присутствия настоящих продуктов гидрогели на основе исследуемого материала (в качестве пищевого тест объекта – креветки). В результате данного опыта наблюдалось почти полное гашение флуоресценции углеродных точек на поверхности НКЦ, что свидетельствует о возможном применении полученного материала в качестве сенсора для контроля свежести продуктов (рис. 4, 5).

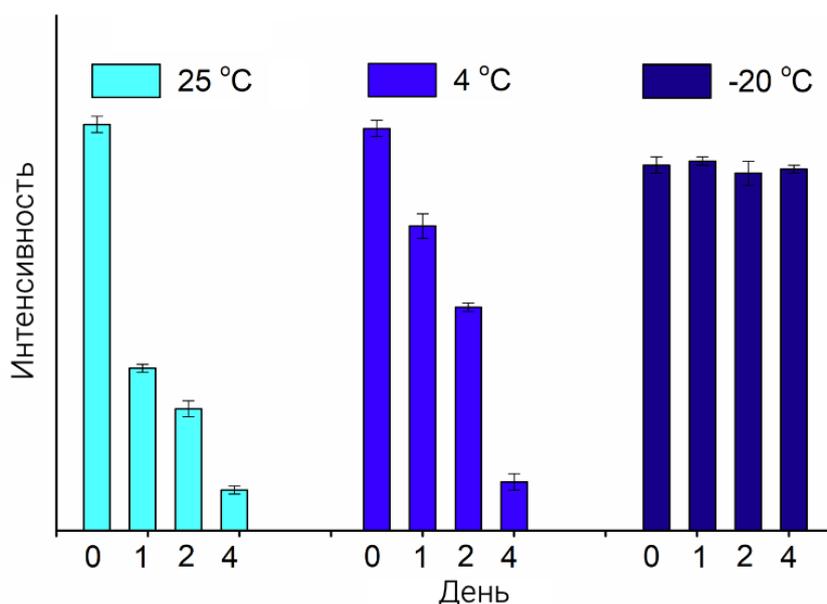


Рис. 4. Интенсивность флуоресценции сенсорных меток во время хранения креветок при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 4 дней наблюдения (возб. 370 нм, испуск. 465 нм) (микропланшетный считыватель Spark)

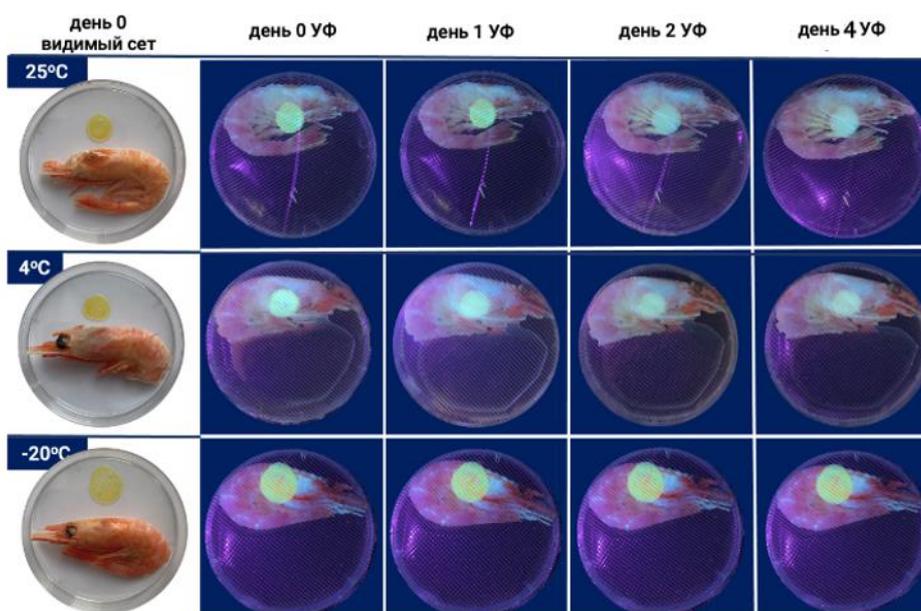


Рис. 5. Визуализация полученных результатов: интенсивность флуоресценции сенсорных меток во время хранения креветок при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 4 дней наблюдения

Литература

1. Motarjemi Y. and Fritz K. Mortarjemi 1999 increase in FBillness paradox // 1999. Vol. 10 P. 325–333.
2. Valeeva N.S., Khasanova G.B. Biopolymers - A promising vector for the development of the polymer industry // Industrial biotechnologies. 2013. Vol. 16. No. 22. P. 184– 187.
3. Radovanovi N. Prospect of Polysaccharide-Based Materials as Advanced Food Packaging // Molecules. 2020. Vol. 25(1). No. 135.
4. Climova A. Application of extracted β -glucan from oat for β -carotene encapsulation // Journal of Food Science and Technology. 2020.
5. Chekini M., Prince E., Zhao L., Mundoor H., Smalyukh I. I. and Kumacheva E. Chiral Carbon Dots Synthesized on Cellulose Nanocrystals // Advanced Optical Materials. 2020 Vol. 8. No. 4. P. 1–9.

Козачёк Ольга Андреевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42382,

направление подготовки: 27.04.03 – Управление киберфизическими системами,

e-mail: oakozachek@mail.ru

Николаев Николай Анатольевич

Год рождения: 1978

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: nikona@yandex.ru

УДК 681.51

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

О.А. Козачёк

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.А. Николаев

Аннотация

В данной работе разработан наблюдатель потока статора и алгоритм оценки нагрузочного момента для синхронного двигателя с постоянными магнитами. Описанные методы основаны на применении линейных фильтров и линейной регрессии. Сопротивление и индуктивность обмотки статора приняты известными.

Ключевые слова

Синхронный двигатель с постоянными магнитами, бездатчиковое управление, наблюдение потока статора, оценка нагрузочного момента.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами один из наиболее распространённых типов электродвигателей на данный момент. Актуальность проблемы управления такими двигателями обусловлена высокой производительностью и возможностью сохранения постоянной скорости при ударных нагрузках и колебаниях напряжения. В течение последних десятилетий в сфере автоматического управления становится все более популярным бездатчиковый метод управления СДПМ. Такая тенденция объясняется тем, что это позволяет сократить стоимость системы и повысить надежность за счёт отсутствия дополнительных элементов (датчиков) в системе. Для осуществления бездатчикового управления СДПМ необходимо идентифицировать некоторые параметры системы. В данной работе целью является оценка нагрузочного момента двигателя.

В работе используется классическая модель СДПМ в координатах статора [1]:

$$\begin{aligned}\dot{\lambda} &= u - Ri, \\ J\dot{\omega} &= \tau_e - \tau_L, \\ \dot{\theta} &= \omega,\end{aligned}$$

где: $\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix}$ – магнитный поток статора СДПМ, Вб; $i = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$ – токи, А;

$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$ – напряжения, В; R – сопротивление обмотки статора, Ом; J – момент инерции ротора, кг·м²; $\theta = [0, 2\pi)$ – угол поворота ротора, рад; ω – угловая скорость, рад/с; τ_L – момент нагрузки, Н·м; τ_e – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Электромагнитный момент задан выражением:

$$\tau_e = n_p i^T J_a \lambda,$$

где n_p – количество пар полюсов; J_a – матрица вида:

$$J_a = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Для СДПМ с поверхностной установкой постоянных магнитов полный магнитный поток определяется выражением:

$$\lambda = Li + \lambda_m C(\theta),$$

где L – индуктивность статора, Гн; λ_m – постоянный магнитный поток, возбуждаемый постоянными магнитами, Вб; $C(\theta)$ – матрица вида:

$$C(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(n_p \theta) \\ \sin(n_p \theta) \end{bmatrix}.$$

Целью работы является разработка алгоритма оценки постоянного нагрузочного момента. При разработке приняты известными сопротивление обмотки статора и момент инерции ротора, количество пар полюсов, индуктивность статора и постоянный магнитный поток, возбуждаемый постоянными магнитами. Токи и напряжения измеряемы. Угловая скорость вращения ротора и его положение не известны.

Нагрузочный момент математически связан с магнитным потоком. Из этого следует, что решение поставленной задачи будет состоять из двух этапов: построение наблюдателя магнитного потока и построение наблюдателя нагрузочного момента.

При разработке алгоритма применен адаптивный наблюдатель с оценкой параметра (метод РЕВО – parameter-estimation based observer), описанный в [2]. Суть метода в том, чтобы перейти от проблемы наблюдения сигнала к проблеме оценки постоянных параметров. Для этого необходимо разложить функцию потока следующим образом:

$$\lambda_j(t) = z_j(t) + \eta_j, j = 1, 2,$$

где η_j – неизвестный постоянный параметр, а z_j – решение следующего уравнения:

$$\dot{z}_j = R i_j + u_j.$$

Теперь задача состоит в оценке параметров η_1 и η_2 .

Выражение, полученное после применения метода РЕВО содержит неизвестные переменные, такие как $\frac{d}{dt} i_1$ и $\frac{d}{dt} i_2$. Для того, чтобы избавиться от них, можно применить линейную фильтрацию, а затем воспользоваться Леммой о перестановках (Swapping lemma), описанной в [3].

Применение линейного фильтра и данной леммы позволяет преобразовать

исходную модель к форме линейной регрессии:

$$y = \phi^T \eta,$$

где:

$$\begin{aligned} y &= \frac{k}{k+p} [f_1 z_1 - L i_1 f_1 + f_2 z_2 - L i_2 f_2] - L \psi_1 + \\ &\quad + \frac{L^2}{2} \frac{pk}{k+p} [i_1^2] - L \psi_2 + \frac{L^2}{2} \frac{pk}{k+p} [i_2^2], \\ \psi_j &= z_j \frac{pk}{k+p} [i_j] - \frac{1}{k+p} \left[\left(\frac{pk}{k+p} [i_j] \right) (R i_j + u_j) \right], \\ \phi &= \left[L \frac{pk}{k+p} [i_1] - f_1 \quad L \frac{pk}{k+p} [i_2] - f_2 \right]^T, \\ \eta &= \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Теперь вектор неизвестных параметров может быть найден любым удобным методом. Например, градиентным:

$$\dot{\hat{\eta}} = \gamma \phi (y - \phi^T \hat{\eta}),$$

где $\gamma > 0$ – коэффициент адаптации.

Получив параметры η_1 и η_2 можно получить оценку магнитного потока статора $\hat{\lambda}$.

Следующий шаг работы – разработка наблюдателя нагрузочного момента. Для того, чтобы приступить к этому этапу, рассмотрим преобразованную модель СДПМ:

$$\begin{cases} \lambda_1 - L i_1 = \lambda_m \cos(n_p \theta) \\ \lambda_2 - L i_2 = \lambda_m \sin(n_p \theta) \end{cases}, \\ \ddot{\theta} = \frac{1}{J} (-\tau_L + \tau_L i^T J_a \lambda) = -\frac{1}{J} \tau_L + \frac{1}{J} \tau_e.$$

Введём дополнительные переменные:

$$\begin{cases} r_1 = \lambda_m \cos(n_p \theta) \\ r_2 = \lambda_m \sin(n_p \theta) \end{cases}.$$

Применяя линейный фильтр и упомянутую ранее лемму о перестановках, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \dot{\bar{r}}_1 = r_1 + n_p \dot{\theta} \bar{r}_2 + n_p \frac{1}{J} \tau_L \frac{1}{p+1} \bar{r}_2 - n_p \frac{1}{J} \frac{1}{p+1} (\tau_e \bar{r}_2) \\ \dot{\bar{r}}_2 = r_2 - n_p \dot{\theta} \bar{r}_1 - n_p \frac{1}{J} \tau_L \frac{1}{p+1} \bar{r}_1 + n_p \frac{1}{J} \frac{1}{p+1} (\tau_e \bar{r}_1) \end{cases}.$$

Введем замену для удобства при переходе к форме линейной регрессии:

$$\xi_1 = \bar{r}_1 - r_1 + n_p \frac{1}{J} \frac{1}{p+1} (\tau_e \bar{r}_2),$$

$$\begin{aligned}\xi_2 &= \bar{r}_2 - r_2 - n_p \frac{1}{J} \frac{1}{p+1} (\tau_e \bar{r}_1), \\ \omega_1 &= n_p \frac{1}{J} \frac{1}{p+1} \bar{r}_2, \\ \omega_2 &= n_p \frac{1}{J} \frac{1}{p+1} \bar{r}_1.\end{aligned}$$

Преобразовав систему уравнений и перейдя к новым переменным, получим выражение линейной регрессии:

$$y_\tau = \phi_\tau^T \tau_L,$$

где:

$$\begin{aligned}y_\tau &= \xi_1 \bar{r}_1 + \xi_2 \bar{r}_2, \\ \phi_\tau^T &= \omega_1 \bar{r}_1 - \omega_2 \bar{r}_2.\end{aligned}$$

Получив выражение линейной регрессии, можно оценить нагрузочный момент τ_L любым удобным способом. Как и в наблюдателе магнитного потока, мы воспользуемся градиентным методом. Тогда нагрузочный момент τ_L может быть найден из выражения:

$$\hat{t}_L = \gamma_\tau (\omega_1 \bar{r}_1 - \omega_2 \bar{r}_2) (\xi_1 \bar{r}_1 + \xi_2 \bar{r}_2 - \hat{t}_L (\omega_1 \bar{r}_1 - \omega_2 \bar{r}_2)),$$

где γ_τ – коэффициент адаптации.

Для моделирования работы алгоритма был выбран двигатель модели ВМР07F1. Его характеристики представлены в таблице.

Таблица

Параметры двигателя ВМР07F1

Параметр	Значение
Индуктивность L, мГн	40,03
Сопротивление R, Ом	8,875
Момент инерции ротора J, кг·м ²	60*10 ⁻⁶
Количество пар полюсов n _p	5
Магнитный поток λ _m , Вб	0,2086

На рис. 1 представлен график ошибки оценки $e_{\lambda_1} = \lambda_1 - \hat{\lambda}_1$. Оценка проводилась при скорости двигателя $\omega = 10$, нагрузочном моменте $\tau_L = 0$ и коэффициенте адаптации $\gamma = 100$.

На рис. 2 представлен график ошибки оценки $e_{\tau_L} = \tau_L - \hat{t}_L$. Оценка проводилась при скорости двигателя $\omega = 10$, нагрузочном моменте $\tau_L = 0.1$ и коэффициенте адаптации $\gamma_\tau = 25$.

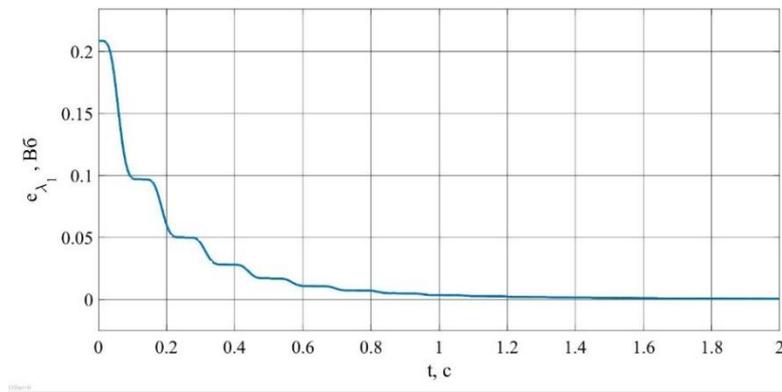


Рис. 1. Ошибка оценки потока e_{λ_1} при $\omega = 10$, $\tau_L = 0$, $\gamma = 100$

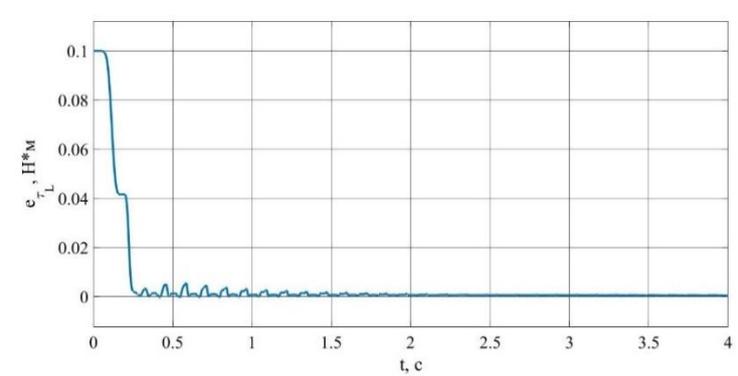


Рис. 2. Ошибка оценки нагрузочного момента e_{τ_L} при $\omega = 10$, $\gamma_\tau = 25$

Во время эксплуатации двигатель подвержен износу. Это может оказать влияние на параметры двигателя такие, как сопротивление и индуктивность. Именно поэтому важно исследовать алгоритм не только при номинальных значениях параметров двигателя, но и с учётом возможных отклонений.

На рис. 3 представлен график ошибки оценки $e_{\tau_L} = \tau_L - \hat{\tau}_L$ при уменьшении сопротивления обмотки статора на 5%. Оценка проводилась при скорости двигателя $\omega = 10$, нагрузочном моменте $\tau_L = 0.5$ и коэффициенте адаптации $\gamma_\tau = 50$.

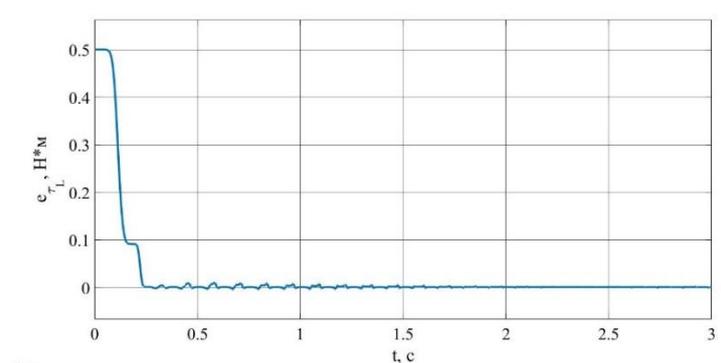


Рис. 3. Ошибка оценки нагрузочного момента e_{τ_L} при уменьшении сопротивления на 5%

На рис. 4 представлен график ошибки оценки $e_{\tau_L} = \tau_L - \hat{\tau}_L$ при уменьшении индуктивности статора 5%. Оценка проводилась при скорости двигателя $\omega = 10$, нагрузочном моменте $\tau_L = 0.5$ и коэффициенте адаптации $\gamma_\tau = 50$.

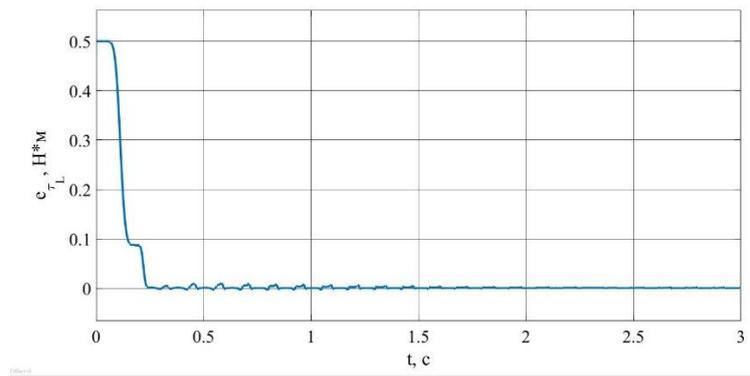


Рис. 4. Ошибка оценки нагрузочного момента e_{τ_L} при уменьшении индуктивности на 5%

В ходе исследования алгоритма в условиях параметрической неопределенности было установлено, что изменения сопротивления и индуктивности статора в пределах $\pm 5\%$ незначительно влияют на ошибку оценки магнитного потока. Тем не менее, во всех рассмотренных случаях ошибка сходится к нулю, что подтверждает, что алгоритм проявляет свойства робастности.

Любые измерения содержат погрешность, а также подвержены влиянию шума. Так как разработанный алгоритм предусматривает измерение токов и напряжений в обмотке статора, необходимо исследовать алгоритм в условиях возмущения в измеряемых сигналах. Для этого можно прибавить к измеряемому сигналу какое-либо значение меньше амплитуды измеряемого сигнала.

На рис. 5 представлен график ошибки оценки $e_{\tau_L} = \tau_L - \hat{\tau}_L$ при прибавлении к измеряемому значению напряжения постоянного параметра, равного 3, а к измеряемому значению тока – постоянного параметра, равного 0,2. Оценка проводилась при скорости двигателя $\omega = 10$, нагрузочном моменте $\tau_L = 0.5$ и коэффициенте адаптации $\gamma_\tau = 50$.

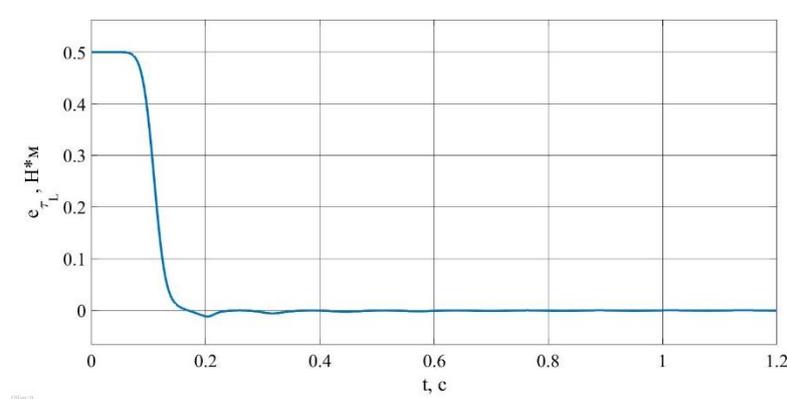


Рис. 5. Ошибка оценки нагрузочного момента e_{τ_L} при смещении в измеряемом сигнале напряжения на 3 и в измеряемом сигнале тока на 0,2

Исследование показало, что незначительные смещения в измеряемых сигналах не оказывают влияния на скорость сходимости ошибки оценки нагрузочного момента к нулю.

В работе проведено исследование на тему идентификации параметров СДПМ. Синтезирован наблюдатель для оценки магнитного потока. При его разработке применены адаптивный наблюдатель с оценкой параметра, линейная фильтрация и лемма о перестановках. Разработан наблюдатель постоянного нагрузочного момента СДПМ. При его разработке так же применены линейная фильтрация и лемма о перестановках. Проведено моделирование обоих наблюдателей. Результаты

моделирования подтверждают эффективность разработанных алгоритмов. Наблюдатель нагрузочного момента был исследован в условиях параметрической неопределенности и возмущения в измеряемых сигналах. Моделирование показало, что отклонения в значениях сопротивления и индуктивности обмотки статора до 5% не влияют на эффективность алгоритма. Смещения в измеряемых сигналах (до 0,2 в сигнале тока и до 3 в сигнале напряжения) также не оказывают влияние на сходимость ошибки оценки нагрузочного момента к нулю. Результаты исследования позволяют сделать заключение о некоторых свойствах робастности, проявляемых разработанным наблюдателем.

Литература

1. Chiasson J. Modeling and high performance control of electric machines. John Wiley & Sons. 2005.
2. Bazylev D.N., Doria-Cerezo A., Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Ortega R. A new approach for flux and rotor resistance estimation of induction motors. IFAC-PapersOnLine. 2017. 50(1). 1885–1890.
3. Jönsson U., Rantzer A. Systems with uncertain parameters – Time-variations with bounded derivatives. 33rd Conference on decision and control. 1994. 3074–3079.

Коняшов Вячеслав Владимирович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42772,

направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,

e-mail: konyashovslavaa@mail.ru

Федоров Алексей Владимирович

Год рождения: 1962

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н.,

e-mail: avfedorov@itmo.ru

УДК 004.932.2

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ СБОРА И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ОПТИЧЕСКИХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

В.В. Коняшов

Научный руководитель – д.т.н. А.В. Федоров

Аннотация

В исследовании рассматриваются вопросы разработки, и экспериментальной отработки алгоритма и программного обеспечения для сбора и первичной обработки результатов оптических дистанционных измерений перемещений контрольной точки (маркера) от начального положения. Представлены основные принципы, подходы к разработке алгоритма обработки изображений, изложены предпочтительные решения по его реализации. Проведена экспериментальная отработка полученного алгоритма с расчетом относительной погрешности полученных измерений.

Ключевые слова

Поиск объектов на изображении, машинное зрение, оптические методы диагностики, распознавание объектов, измерение перемещений.

Расчет и моделирование поведения (колебаний) высотных сооружений ставят перед инженерами такие задачи, как обеспечение сохранности конструкций при переменных погодных условиях, особенно ветровых и гарантирование их надежности.

Для того чтобы выяснить что будет происходить высотным сооружением во время его эксплуатации используют методы моделирования. Однако, очень часто, такие модели содержат неопределенности, игнорирование которых может приводить к существенному искажению результатов расчетов, в том числе и на прочность

Поэтому было решено разработать способ подтверждения смоделированных результатов. Был выбран перспективный способ измерения и получения информации состояния объектов – это дистанционные оптические измерения. Достоинством их использования является возможность дистанционного автоматизированного применения, локальность, высокая потенциальная точность и достоверность [1].

Результаты измерений могут быть применены для подтверждения надежности высотных сооружений, а также снижения массы конструкции основываясь на полученных перемещениях контрольных точек.

Актуальность работы определяется необходимостью наблюдения за сооружением, содержащим маркеры для получения перемещений частей объекта, необходимостью автоматизации процесса сбора и обработки информации, а также потенциальной возможностью уточнения результатов моделирования, на основе полученных перемещений.

В качестве контрольной точки в исследовании (маркера) был выбран рисунок в виде «креста» размерами 100x100 мм и шириной линии 15 мм.

В алгоритме первичной обработки изображений реализуются следующие операции:

- расчет масштабных коэффициентов;
- получение интегрального изображения;
- бинаризация изображения;
- получение интегрального изображения по бинаризованному;
- поиск объектов на фотографии похожих на маркер;
- проверка соответствия объектов на фотографиях изображению маркера и удаление ложных;
- поиск вертикальных и горизонтальных линий, описывающих маркер;
- аппроксимация контуров;
- расчет точек пересечения линий маркера;
- расчет координат центра масс маркера.

После получения бинарного изображения (рис. 1) проводится преобразование изображения в интегральное представление.

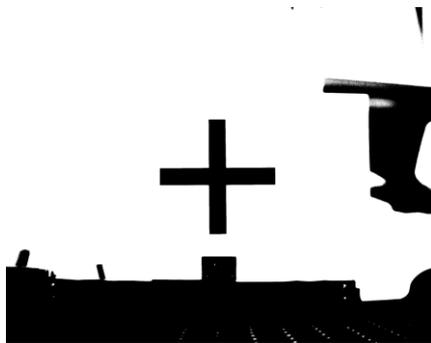


Рис. 1. Бинарное изображение

Интегральное представление изображения – это матрица, которая равна размерности исходного изображения и в каждом ее элементе записана сумма интенсивностей пикселей, которые находятся выше и левее данного элемента [2]. Так же на данном этапе проводится проверка на корректность фотографии. Эта проверка заключается в расчете отношения площадей, которые занимают черные и белые пиксели на фото. Данное отношение не может приближаться к 0 или бесконечности. Если это условие не выполняется значит изображение некорректно. Цель этой проверки сделать быстрый анализ массива пикселей с заданным шагом и убедиться, что на фото пиксели с разной интенсивностью яркости.

На следующем этапе обработки происходит поиск объектов на изображении и их контуров. Для поиска маркера используется интегральное представление. Для этого выполняется обход всего изображения, анализируя область в форме квадрата с рассчитанным размером исходя из параметров контрольной точки. Если в области есть черные пиксели, выполняется определение положения объекта, а также его площади и контура.

Для каждого объекта выполняется проверка нахождения других объектов в заданной окрестности и анализ возможности того, что близлежащие объекты должны быть одним. Также выполняется анализ нахождения белых пикселей внутри контура маркера, эта проверка позволяет учесть засвеченные области изображений (блики). После этих действий анализируется размер объекта, на этом этапе отфильтровываются слишком маленькие и слишком большие объекты по заданной минимальной и максимальной площади объектов. Минимальная и максимальная допустимая площадь объектов рассчитывается исходя из заданных размеров маркера.

В результате предыдущих операций формируется список объектов, которые совпадают по площади с предполагаемым местом расположения «креста». Если список не содержит объектов, то обработка фото признается неудачной и изображение помещается в папку с неудачно обработанными фотографиями. Если список содержит несколько объектов, то для каждого объекта находится соотношение площадей «черных» и «белых» пикселей. Это соотношение сравнивается с вычисленным и выбирается наиболее подходящий объект, но если при последующей обработке будет неудовлетворительный результат, то будут использованы оставшиеся объекты.

После определения наиболее подходящего объекта производится поиск его контура и поиск уравнений для отрезков, которые формируют «крест» на маркере (отрезки синего цвета на рис. 2). Для этого все точки контура объекта заносятся в список и разбиваются на группы. Для каждой из групп производится аппроксимация RANSAC. Модель, для которой количество соответствующих ей точек максимально считается формулой отрезка креста на маркере.

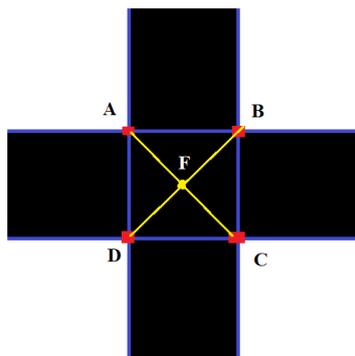


Рис. 2. Условное изображение маркера

После определения четырех уравнений отрезков, которые формируют «крест»:

$$y_1 = k_1 x_1 + b_1, y_2 = k_2 x_2 + b_2, y_3 = k_3 x_3 + b_3, y_4 = k_4 x_4 + b_4,$$

где x – независимая переменная, k – угловой коэффициент, b – свободный коэффициент. По следующим формулам находят точки пересечения этих отрезков.

$$x = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2}, y = k_1 \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2} + b_1$$

Пересечения остальных отрезков находятся аналогично по данным формулам.

Четыре точки (точки A, B, C, D на рис. 2), которые были найдены, формируют условный квадрат. Для этого квадрата находятся координаты его центра (точка F на рис. 2). Координата центра считается координатой расположения всего «креста».

Далее процесс повторяется со следующим изображением, и результаты центра метки сравниваются друг с другом для расчета ее перемещения. Показания площади, центра, и перемещения маркера будут записаны для дальнейшей обработки смещений, выявления деформации.

После разработки алгоритма обработки маркерного поля, было проведено испытание на стенде для оценки погрешности результатов измерения перемещений (рис. 3).

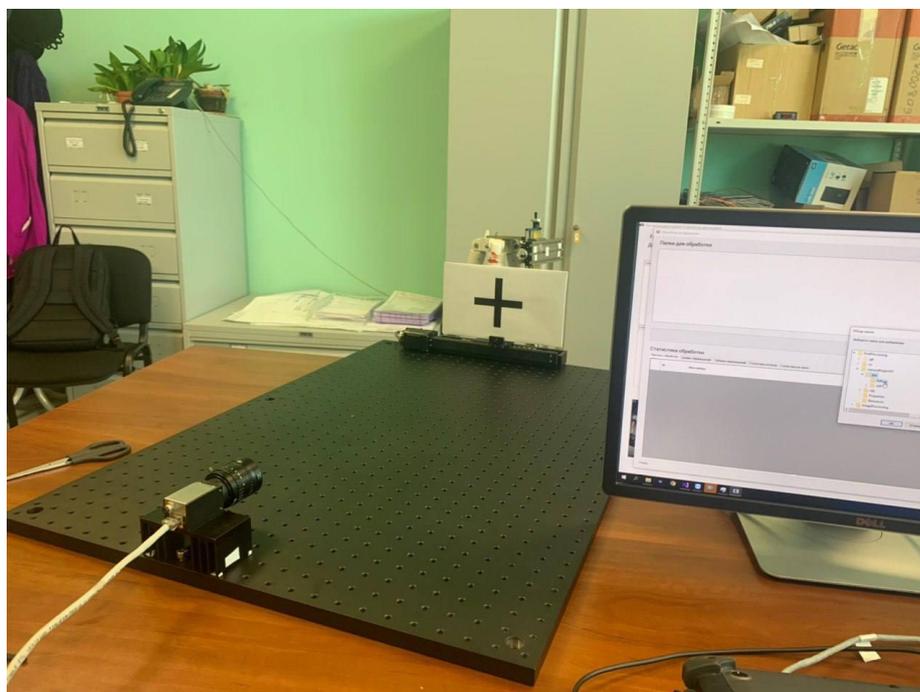


Рис. 3. Испытательный стенд

Стенд выполнен на железной плите, которая обеспечивает ровную поверхность. С одной стороны плиты установлена камера, на другом конце расположен двигатель с энкодером (погрешность энкодера 2мкм) в комплекте с программным обеспечением для компьютера, который использовался для перемещения маркера.

Во время эксперимента были произведены перемещения контрольной точки с диапазонами: от -10 мм до +10 мм и от -30 мм до +30 мм от начального положения маркера на стенде и запущено измерение перемещений с помощью разработанного программного обеспечения с описанным алгоритмом.

Данный эксперимент показал, что максимальным отклонением рассчитанных перемещений с помощью алгоритма от показаний энкодера двигателя было в районе 0,2 мм (при масштабном коэффициенте равным 0,1428 мм/пиксель)

Для расчета относительной погрешности использованы изображения, записанные на испытательном стенде. Для удобства расчета составлена табл. 1 крайних положений метки на основе показаний стенда и разработанного программного обеспечения.

Расчёт абсолютной и относительной погрешности приведен в табл. 2.

Исходя из расчетов можно сделать вывод, что относительная погрешность на интервале -30мм, +30мм от начальной позиции не превышает 1%, что удовлетворяет заданным условиям (относительная погрешность не должна превышать 10%, максимальное возможное отклонение метки в задаче 36мм). Так же из результатов видно, что погрешность постоянна на всех промежутках перемещений метки.

Таблица 1

Крайние положения метки на стенде

№	Перемещение метки на стенде по оси X, мм	Полученное перемещение метки после обработки алгоритмом, мм
1	-10	-10,1
2	+10	+10,1
3	-30	-30,3
4	+30	+30,2

Таблица 2

Расчёт погрешности

№	Абсолютная погрешность, мм	Относительная погрешность, %
1	$-10,1 - (-10) = -0,1$	$-0,1 / -10 * 100 = 1$
2	$10,1 - 10 = 0,1$	$0,1 / 10 * 100 = 1$
3	$-30,3 - (-30) = -0,3$	$-0,3 / -30 * 100 = 1$
4	$30,2 - 30 = 0,2$	$0,2 / 30 * 100 = 0.66$

В дополнение к испытанию на стенде, была произведена запись изображений через телескоп на расстоянии 120м между камерой и меткой для проверки алгоритма в предполагаемых рабочих условиях (в дополнение к реальным условиям в день записи был небольшой дождь и пасмурная погода). Алгоритм в рабочих условиях на изображении (рис. 4) корректно нашел метку (рис. 5), центр и определил его параметры, что доказывает работоспособность разработанного алгоритма.

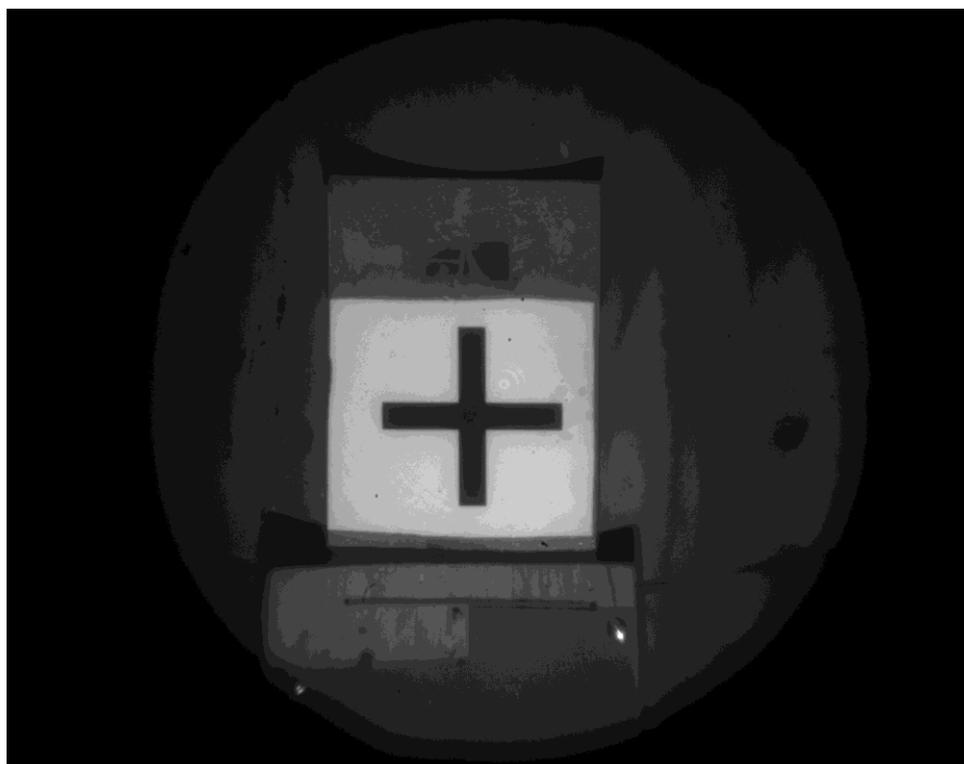


Рис. 4. Оригинальное изображение на расстоянии 120м

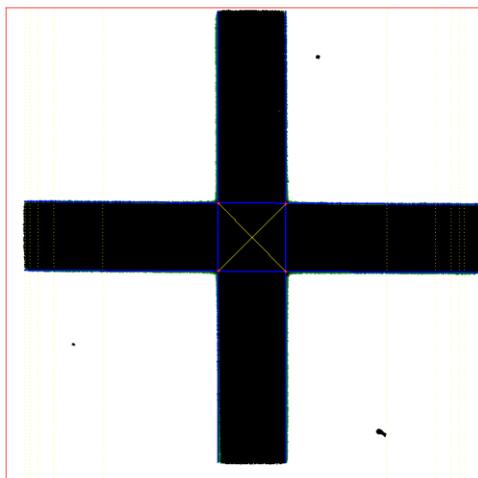


Рис. 5. Обработанное изображение (кадрированное изображение)

В ходе исследования разработан алгоритм и программное обеспечение для сбора и первичной обработки результатов оптических дистанционных измерений перемещений контрольной точки от начального положения. Экспериментальная отработка показала, что разработанный алгоритм пригоден для определения перемещений метки.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. В процессе анализа методов и средств поиска объектов на изображении:
 - проанализированы существующие алгоритмы поиска объектов на изображениях в двумерном пространстве. Выявлены их достоинства и недостатки. В результате анализа алгоритмов по критериям точности и надежности работы с шумными и/или размытыми изображениями был выбран метод на основе комбинации из алгоритмов поиска значимых элементов метки, выделения контура и анализ, что объект удовлетворяет заданным условиям;
 - проведено исследование основных алгоритмов для подготовки изображения к анализу: бинаризации, аппроксимации, выделения контура. По результатам которого для реализации в алгоритме было выбрано три метода бинаризации, аппроксимация RANSAC, и реализован упрощенный метод описания контура предложенный автором.
2. Реализован алгоритм поиска центра метки на изображении.
3. Разработано программное обеспечение для записи с камер изображений метки и взаимодействия с алгоритмом распознавания.
4. Проведена апробация разработанного программного обеспечения и алгоритма:
 - проведено большое количество испытаний алгоритма поиска центра метки в разных условиях съемки, на стенде и в условиях приближенных к реальным;
 - испытания на стенде показали, что относительная погрешность определения перемещений не превышает 1%.

Литература

1. Федоров А.В., Прохорович В.Е., Бахтин А.Г., Мощенко А.И., Сороковой Д.Б., Хруничева М.В. Техническая диагностика и диагностический анализ как инструмент повышения летно-технических характеристик ракетно-космической техники // Международный журнал по неразрушающему контролю «Территория NDT». Москва. 2016. № 4. С. 28–35.
2. Селянкин В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений: Учебное пособие / Селянкин В.В. СПб.: Лань. 2019. 152 с.

Копырулина Ольга Александровна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы N42516с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: KOPURULIO@Mail.ru

Швед Виктор Григорьевич

Год рождения: 1949

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

д.т.н., с.н.с.,

e-mail: shved1949@mail.ru

УДК 004.4

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КАТЕГОРИРОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

О.А. Копырулина

Научный руководитель – д.т.н., с.н.с. В.Г. Швед

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка методики автоматизации процессов категорирования объектов критической информационной инфраструктуры».

Аннотация

В работе предложена методика категорирования ОКИИ. Дается описание программной реализации данной методики, которая позволяет сократить время, затрачиваемое специалистами по обеспечению КИИ на категорирование ОКИИ. Проведён эксперимент, показывающий преимущество данной технологии перед классическими решениями.

Ключевые слова

Субъект критической информационной инфраструктуры, объект критической информационной инфраструктуры (ОКИИ), значимый объект критической информационной инфраструктуры (ЗОКИИ), безопасность критической информационной инфраструктуры (ОКИИ), критическая информационная инфраструктура (КИИ).

В связи с вступлением в силу Федерального Закона № 187 от 26 июля 2017, который регулирует меры по обеспечению информационной безопасности на критически важных объектах, на повестку дня специалистов по информационной безопасности предприятий встал вопрос об обеспечении безопасности ЗО [1]. Для того, чтобы выявить ЗОКИИ, а также обеспечить оптимальные меры по защите, необходимо провести категорирование [2]. Зачастую специалист, занимающийся данным процессом, тратит слишком много временных ресурсов на составление документации по категорированию.

Программный продукт «Автоматизированная система категорирования ОКИИ» реализует автоматизированный вариант категорирования ОКИИ согласно Постановлению Правительства РФ № 127 от 8 февраля 2018 года [2]. Программа реализует алгоритм категорирования согласно параметрам, а также возможность отнесения объекта к ЗОКИИ, автоматизированное заполнение акта категорирования,

согласно данным, введенным пользователем. Результаты вычислений с информацией об объектах представляются пользователю в виде готового акта категорирования. Программа предназначена для использования на субъектах критической информационной инфраструктуры, а также в учебном процессе ВУЗ по направлению «Информационная безопасность», при проведения лабораторных работ.

Для работы ПО используется ПК, удовлетворяющий следующим системным требованиям:

Минимальная конфигурация:

- процессор с частотой не менее 800 МГц;
- свободное место на жестком диске не менее 1 Мб;
- объем оперативного запоминающего устройства 512 Мб.

Требования к информационной и программной совместимости:

1. ПО разработано в среде Microsoft Visual Studio на языке C++.
2. Прикладная программа ОС: Windows 8/8.1/10.
3. Объем программы: 2 Кб (рисунок).

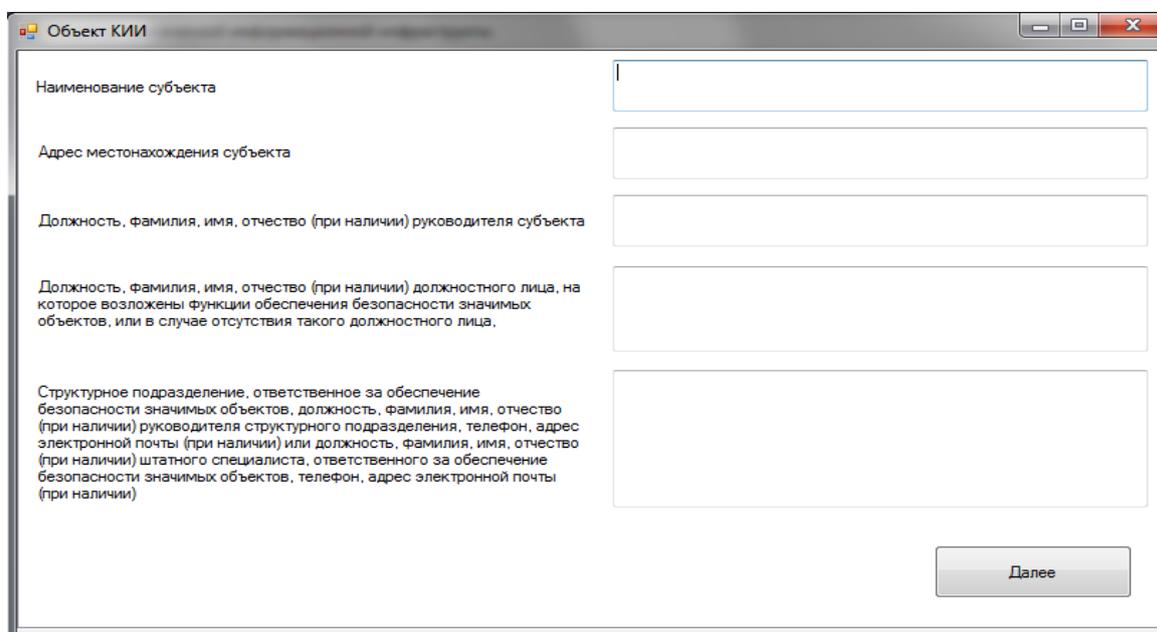


Рисунок. Работа программного обеспечения

После сохранения акт категорирования будет представлен в виде документа Microsoft Word, согласно приказу ФСТЭК России от 22 декабря 2017 № 236.

Для тестирования ПО были выбраны три предприятия.

Специалисты трех организаций, в чьи должностные обязанности входит категорирование ОКИИ провели категорирование с помощью программного обеспечения «Автоматизированная система категорирования ОКИИ».

Эксперты (3 человека) заблаговременно ознакомились с методикой категорирования объектов КИИ. Хронометраж времени выполнения работ осуществлялся с момента постановки задачи на проведение категорирования до момента получения результатов.

На первом этапе каждый эксперт выполнил категорирование традиционным методом. На втором этапе – с использованием разработанного программного продукта и методики.

Результаты вычислений, выполненные в соответствии с рассмотренным выше порядком представлены в таблице.

Результаты хронометража и расчета времени

Наименование величины		Значения величины	
		При традиционном методе работы	При работе с использованием методики
Продолжительность категорирования T_i	T_1	$T_{T1} = 51,8$	$T_{M1} = 46,52$
	T_2	$T_{T2} = 52,5$	$T_{M2} = 45,41$
	T_3	$T_{T3} = 53,2$	$T_{M3} = 45,76$
Среднее значение ($T = \bar{X}$)		$T_T = 52,5$	$T_M = 45,88$
Погрешности отдельных измерений (Δx_i)	(Δx_1)	0,7	-0,64
	(Δx_2)	0	0,47
	(Δx_3)	-0,7	0,12
Квадраты погрешностей отдельных измерений	$(\Delta x_1)^2$	0,49	0,409
	$(\Delta x_2)^2$	0	0,22
	$(\Delta x_3)^2$	0,49	0,014
Среднеквадратичная ошибка среднего арифметического ($S_{\bar{x}}$)		0,326	0,214
Надёжность (P)		0,95	0,95
Коэффициент Стьюдента (t)		4,302	4,302
Доверительный интервал (Δx)		1,4	0,92
Окончательный результат $x = T_M$		$52,5 \pm 1,4$	$45,88 \pm 0,92$

Был произведен расчет времени, затрачиваемого на категорирование объектов КИИ.

По результатам работы был проведен опрос специалистов, учтены пожелания по совершенствованию программного обеспечения. В ходе опроса выяснилось, что всем специалистам данное программное обеспечение понравилось, большинство склонялось к тому, что программа во многом упрощает процесс категорирования: уменьшаются временные затраты на составление актов, а также автоматически рассчитывается категория (нужно ввести только исходные данные и программа выведет готовый акт категорирования), что значительно упрощает процесс категорирования.

Таким образом, в результате исследования программное обеспечение показало себя с наилучшей стороны. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований предлагаемой методики с использованием программы показал, что оперативность категорирования объектов КИИ повышается на 12,6-14,4 % по сравнению с традиционными методами.

Специалисты исследуемых предприятий отметили удобство интерфейса программного обеспечения, а также простоту использования, что значительно упрощает работу персонала любой возрастной категории.

На основании вышеперечисленных факторов, можем считать данный программный продукт полностью пригодным для категорирования ОКИИ и рекомендуем для использования субъектами.

В ходе работы была рассмотрена программная реализация методики, которая позволяет сократить время, затрачиваемое специалистами по обеспечению безопасности КИИ на категорирование ОКИИ. Рассмотренный эксперимент подтвердил эффективность использования программного обеспечения, что должно обеспечить повышение оперативности процесса категорирования ОКИИ.

Литература

1. Федеральный Закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26 июля 2017 №187-ФЗ // Российская газета. 2017 г.
2. Постановление Правительства РФ «Об утверждении правил категорирования объектов КИИ РФ, а также перечня показателей критериев значимости объектов КИИ РФ и их значений от 8 февраля 2018 №127 //Российская газета. 2018.

Коржова Анастасия Евгеньевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы № Т42505с,

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

e-mail: korzhova_nastena@mail.ru

Молодкина Нелли Ринатовна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: nrkh25@hotmail.com

УДК 631.879.42

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
КОМПОСТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ МУНИЦИПАЛЬНЫХ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ, ДЛЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ**

А.Е. Коржова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Р. Молодкина

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

Аннотация

Цель данной работы состояла в анализе компоста из органической фракции ТКО, полученного на полигоне «Новый Свет - Эко» для возможности его использования в качестве удобрения при лесовосстановлении. Методами исследования являлись качественный анализ исследуемого компоста на наличие тяжелых металлов в нем, а также эксперимент на фитотоксичность компоста. Были предложены способы улучшения качества компоста для его дальнейшего использования в качестве удобрения для лесовосстановления.

Ключевые слова

лесовосстановление, компостирование твердых коммунальных отходов, фитотоксичность компоста.

На сегодняшний день традиционные органические и минеральные удобрения имеют высокую стоимость, что иногда ограничивает возможность их использования для восстановления лесов. Многие виды органических отходов содержат минеральные вещества, необходимые для питания и роста растений. Это позволяет рассматривать возможность их применения в лесном хозяйстве для восстановления леса. Компост, полученный из органической фракции твердых коммунальных отходов (ТКО), является потенциальным источником удобрений для лесных почв.

Компостирование представляет собой биохимический процесс разложения органической фракции отходов с помощью микроорганизмов. На полигоне «Новый Свет – Эко», расположенного вблизи Санкт-Петербурга, ведётся компостирование ТКО с получением готовой продукцией «Грунт техногенный», который используется для изоляции твердых коммунальных отходов на полигонах. Также можно рассмотреть его потенциальное использование для лесовосстановления. Исходным сырьем для

производства готовой продукции являются остатки сортировки твердых коммунальных отходов при совместном сборе. Исходное сырье производится на комплексах по обработке и утилизации ТКО, посредством отделения от ТКО фракции размером до 80 мм, содержащей пищевые отходы, бумагу, упаковку, полимеры, текстиль, стеклобой и прочее [1].

Качественный анализ на определение валового содержания тяжелых металлов

Основным препятствием для получения чистого компоста является его загрязнение тяжелыми металлами (ТМ).

Тяжелые металлы, доступные растениям для поглощения, присутствуют как растворимые компоненты в растворах почвы. Они подавляют цитоплазматические ферменты, разрушают структуру клетки, снижают активность почвенных организмов.

В почве металлы находятся в связанном (неподвижном), или в подвижном (биодоступном) состоянии. Неподвижная форма тяжелых металлов не оказывает негативного влияния на живые организмы [2].

Наибольшую опасность представляют подвижные формы тяжелых металлов. В биодоступной форме с изменением внешних условий среды (кислотность, содержание растворенного кислорода, деятельность микроорганизмов) тяжёлые металлы могут высвободиться и накапливаться растениями и животными [3].

Для исследования содержания ТМ в компосте был проведен качественный анализ рентгенофлуоресцентным методом. Были обнаружены следующие тяжелые металлы: Zn, Cu, Sr, Pb, Mn, Ti.

Настоящий анализ не позволяет сделать заключение о количестве и форме присутствия каждого элемента. Рекомендуется провести исследование о наличии металлов в биодоступной форме.

Анализ исследуемого компоста на фитотоксичность

В рамках работы был проведен опыт на фитотоксичность, чтобы посмотреть на практике как повлияет компост на рост растений.

Под фитотоксичностью понимается способность загрязняющих веществ оказывать отравляющее воздействие на растения.

Опыт на фитотоксичность проводился согласно методике ГОСТ Р ИСО 18763–2019 «Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений» [4].

Объектами исследования являлись:

1. Контрольная почва (положительный контроль), состоящая из смеси торфа и чистого компоста, полученного из органических отходов в домашних условиях, в соотношении 2:1.

2. Исследуемая почва (опыт) - компост из ТКО, полученный на полигоне «Новый Свет-Эко».

3. Дистиллированная вода (отрицательный контроль).

Данный метод исследования заключается в сравнении всхожести семян трех растений: Сорго сахарное, Кресс-салат весенний и Горчица белая.

Результаты опыта с Кресс-салатом (*Lepidium Sativum*)

В табл. 1 приведены результаты опыта с растением Кресс-салат. На рис. 1 показаны проросшие семена растения Кресс-салат в трех средах.

Семена Кресс-салата, выращенные на контрольной почве, проросли очень хорошо. На исследуемом компосте семена проросли, однако не все. В дистиллированной воде взошли все 10 семян, что говорит о том, что для всхожести семян достаточно было питательных веществ, содержащихся в дистиллированной воде. Согласно измерениям

длины корней, как дистиллированная вода, так и контрольная почва являлись идеальными средами для начального роста растений. Корни растений, выращенных на исследуемой почве, оказались не такими длинными.

Таблица 1

Результаты опыта с Кресс-салатом

Критерий	Кресс салат (<i>Lepidium Sativum</i>)		
	Контроль	Опыт	Дистиллят
Средняя длина корня, мм	37,74 ± 7,82*	11,60 ± 0,73*	48,17 ± 4,02*
Среднее число проросших семян, %	96,67	73,33	100,00



Рис. 1. Проросшие семена Кресс-салата в контрольной почве (слева), в исследуемом компосте (посередине) и в дистиллированной воде (справа)

Результаты опыта с Горчицей белой (*Sinapis alba*)

В табл. 2 приведены результаты опыта с растением Горчица белая.

Таблица 2

Результаты опыта с Горчицей белой

Критерий	Горчица белая (<i>Sinapis alba</i>)		
	Контроль	Опыт	Дистиллят
Средняя длина корня, мм	31,08 ± 11,35*	14,85 ± 9,96*	8,47 ± 3,29*
Среднее число проросших семян, %	66,67	56,67	63,33

На рис. 2 показаны проросшие семена растения Горчица белая в трех средах.



Рис. 2. Проросшие семена Горчицы белой в контрольной почве (слева), в исследуемом компосте (посередине) и в дистиллированной воде (справа)

Из рис. 2 можно также заметить, что на контрольной почве растения проросли намного лучше, чем в контроле и по качеству, и по количеству.

Результаты опыта с Сорго Сахарным (*Sorghum Saccharatum*)

Результаты опыта с растением Кресс-салат приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты опыта с Сорго Сахарным

Критерий	Сорго сахарное (<i>Sorghum Saccharatum</i>)		
	Контроль	Опыт	Дистиллят
Средняя длина корня, мм	28,77 ± 5,57*	3,51 ± 7,92*	20,17 ± 10,67*
Среднее число проросших семян, %	93,33	63,33	100,00

* Доверительный интервал посчитан с учетом коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$

На рис. 3 показаны проросшие семена растения Горчица белая в трех средах.



Рис. 3. Проросшие семена Сорго Сахарного в контрольной почве (слева), в исследуемом компосте (посередине) и в дистиллированной воде (справа)

По изображениям можно заметить, как быстро проросли семена в контрольной почве, и как плохо идет всхожесть в исследуемом компосте.

Обсуждения и выводы

На основе международных межлабораторных исследований на фитотоксичность, а также в методике ГОСТ Р ИСО 18763–2019 «Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений» обозначены следующие критерии фитотоксичности [4]:

1. 70% семян должны прорасти в исследуемой почве по окончании эксперимента (после 72 часов).

2. средняя длина корней в исследуемой почве должна составлять не менее 30 мм.

В табл. 4 выделены результаты эксперимента на исследуемом компосте (опыте) с тремя видами растений согласно критериям фитотоксичности.

Результаты экспериментальной проверки компоста из ТКО по критериям фитотоксичности

Критерий	Кресс салат		Горчица белая		Сорго сахарное	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Средняя всхожесть, %	96,67	73,33	66,67	56,67	93,33	63,33
Средняя длина корня, мм	37,74 ± 7,82*	11,60 ± 0,73*	31,08 ± 11,35*	14,85 ± 9,96*	28,77 ± 5,57*	3,51 ± 7,92

* Доверительный интервал посчитан с учетом коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$

Как видно из табл. 4, для всех трех видов растений компост обладает фитотоксичностью. Причем по большей мере она выражена недостаточной длиной корней. По всхожести лишь с Кресс-салатом компост подходил под критерий (больше 70% семян взошло).

Рекомендации по улучшению качества компоста

Можно предложить следующие рекомендаций по улучшению качества компоста:

1. Улучшенная сортировка сырья на первом этапе. Удаление нежелательных включений до компостирования.
2. Разбавление готового компоста субстратом, не содержащим тяжелые металлы, но содержащим гумусовые соединения.
3. Дополнительная сортировка на последующих стадиях компостирования, когда влажность компоста будет уменьшаться.
4. Использование изначально незагрязненных органических отходов, например, из торговых сетей, овощебаз.

Таким образом, исследование компоста по его составу, наличию тяжелых металлов, наличию фитотоксичности показало непригодность его использования в существующем виде для лесовосстановления. Для использования компоста в качестве удобрения нужно улучшать его качество для соответствия с ГОСТ «Удобрения органические на основе ТБО», поэтому были предложены рекомендации по улучшению качества компоста.

Литература

1. Постоянный технологический регламент производства грунта техногенного. «Новый Свет – ЭКО». Санкт-Петербург. 2017. 6–12 с.
2. Manohara B., Belagali S.L. Characterization of Essential Nutrients and Heavy Metals during Municipal Solid Waste Composting // Municipal Solid Waste. 2014. Vol.9. №3. P. 565.
3. Югай В.С., Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. Содержание биодоступных форм соединений металлов в донных отложениях водоёмов и коэффициент накопления как показатели экологической обстановки водоёмов // Геоэкология. 2013. № 1. С. 591.
4. ГОСТ Р ИСО 18763–2019 Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений. М.: Стандартинформ. 2019.

Крючкова Анастасия Владимировна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

студент группы №42422,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: kryuchkova.0897@gmail.com

Кривошапкин Павел Васильевич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

д.х.н., доцент,

e-mail: krivoshapkin@scamt-itmo.ru

УДК 57.05

**БИОАКТИВНЫЕ ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО ПАУЧЬЕГО
ШЕЛКА С МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

А.В. Крючкова

Научный руководитель – д.х.н., доцент П.В. Кривошапкин

Работа выполнена в рамках темы НИР №620155 «Гибридные материалы на основе биополимеров и неорганических наночастиц: дизайн и применение».

Аннотация

В работе описывается получение различных видов биосовместимых материалов на основе натурального паучьего шелка и неорганических наночастиц, а также исследуются перспективы их применения. Для модификации природных волокон паучьего шелка были использованы два подхода: пропитка паутины в водном растворе ферромагнитных частиц и влияние на естественный процесс бисинтеза пауков стабильными наночастицами оксида железа. Наночастицы ферромагнетика диаметром около 70 нм были получены в результате гидротермального синтеза. Частицы обладают достаточно низкой температурой Кюри 40–45 градусов, которая полностью контролируется магнитным полем. Разнозаряженные золи магнетита были получены из хлоридов железа II и III с последующей ультразвуковой обработкой. Средний диаметр наночастиц составил 30 нм и ζ -потенциал 30 мВ. Модифицированные материалы отличаются высокими прочностными характеристиками, эластичностью, чувствительностью к магнитному полю, а также биосовместимостью и способностью к адгезии клеток.

Ключевые слова

Паучий шелк, магнитные наночастицы, биомедицинские материалы, биосинтез.

Паучий шелк – это натуральный биополимер, не вызывающий иммунного ответа у живых организмов, обладающий низкой токсичностью и уникальными механическими свойствами, такими как высокая прочность на разрыв, эластичность, проводимость, высокий модуль Юнга [1]. Благодаря своей биосовместимости и биоразлагаемости паучий шелк перспективен для широкого спектра применений, от мягкой робототехники и гибкой электроники до медицинских приложений, в частности, для адресной доставки лекарств, лечения рака и регенерации тканей, а также для получения искусственных сухожилий и связок, опор для сосудов и хирургических нитей [2]. Понимание

естественного структурирования и синтеза этого белка и изучение корреляции между поведением, свойствами и структурой материала позволяет разрабатывать биосовместимые функционально оптимизированные гибридные композиты на основе паучьего шелка.

Одним из наиболее эффективных способов модификации этого биополимера является включение в его структуру различных наночастиц, что приводит к изменению тепловых, магнитных и механических свойств. Такие превращения осуществляются в процессе биоминерализации, пропитки паучьего шелка, синтеза наночастиц на поверхности волокон и биоинтеграции путем воздействия на биосинтез. В этих случаях для производства интеллектуальных композитов, демонстрирующих уникальные исключительные свойства, паучий шелк действует как прочная структурно упорядоченная матрица, объединяющая функциональные характеристики неорганических наноматериалов.

В этом исследовании мы модифицируем шелк паука с помощью магнитных наночастиц несколькими методами, чтобы разработать оптимизированную многофункциональную систему доставки лекарств для регенерации тканей и создать проводящие волокна шелка паука с улучшенными механическими свойствами в качестве инновационного материала для гибких электронных приложений.

Первый способ получения модифицированных магнитных волокон – это биоинтеграция наночастиц магнетита в структуру полимера паучьего шелка путем воздействия на процесс биосинтеза. В соответствии со спросом на материалы, которые одновременно являются гибкими, проводящими и сверхпрочными, магнитный паучий шелк действительно перспективен для использования в мягкой робототехнике, гибкой электронике и других приложениях.

Другая часть исследований посвящена разработке оптимизации системы для регенерации тканей с сопутствующей адресной доставкой лекарств. Восстановление нервной ткани по-прежнему остается серьезной проблемой из-за различных факторов, особенно чрезмерной пролиферации фибробластов, которые рубцуют место повреждения [3]. Направление регенерации с целью изолирования растущих нейронов от загрязнения соединительной ткани требует поддержания локальной стимуляции, клеточной адгезии и физического прекращения пролиферации фибробластов. В этой работе мы разрабатываем комбинированную многофункциональную систему на основе натурального паучьего шелка, модифицированного ферромагнитными наночастицами и липосомами, которая обеспечивает согласованный путь регенерации нервной ткани и реализует целевую доставку лекарств, стимулирующих рост и активность аксонов. Поскольку можно контролировать морфологию, химическую структуру и механические свойства материалов из паучьего шелка, биоактивные трансплантаты на основе паучьего шелка используются для настройки контролируемой кинетики, точной концентрации с низким токсическим эффектом, что делает этот белок уникальной матрицей для регенерации тканей. Это также включает создание подходящей биосовместимой среды для клеточной адгезии, что особенно полезно для восстановления нейронных связей. Из-за биосовместимости и биоразлагаемости материалов паучьего шелка имплантация неиммуногенных искусственных каркасов в поврежденные нервы является многообещающей терапевтической стратегией для лечения нервных травм. Продукты распада биоматериала безопасно метаболизируются и выводятся из организма. Кроме того, соответствие времени деградации шелка времени регенерации нервной ткани является важным требованием для биологически активных материалов, используемых в регенеративной медицине. Это свойство позволяет сохранять механические свойства и структурную целостность растущей ткани на всех этапах процесса ее регенерации.

Кроме того, волокна должны доставлять подходящие сигналы, чтобы стимулировать восстановление нервов контролируемым, локализованным образом. Эта

работа предлагает разработать липидную везикулярную систему доставки лекарств, которая нацелена на медицинские агенты в конкретную поврежденную ткань или клетку и контролирует их высвобождение. Липосомы считаются лучшими носителями для доставки лекарств из-за целого ряда преимуществ, таких как универсальная самосборка, структура, подобная клеточной мембране, регулировка за счет специфических мягких взаимодействий, которые контролируют коллоидную стабильность гидрофильных и гидрофобных терапевтических препаратов в жестких условиях, состоянии биоокружения пораженных тканей и улучшение их биораспределения. В данной работе был разработан гибридный биоматериал паучьего шелка, импрегнированный ферромагнитными наночастицами с низкой температурой Кюри 41°C , способный повреждать липидные мембраны липосом при нагревании, вызванном воздействием переменного магнитного поля, тем самым инициируя высвобождение лекарственных препаратов [4]. Таким образом, описанная технология предлагает сложный и эффективный подход к заживлению травм с клеточной и молекулярной точностью и, как следствие, к восстановлению тканей.

Многочисленные методы визуализации с высоким разрешением, такие как атомно-силовая микроскопия (АСМ) и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), показали эту выровненную фибриллярную субструктуру. Согласно снимкам на рис. 1, волокна шелка паука имеют гладкую поверхность, что видно на рисунке, и составляют от 0,2 до 3 мкм в диаметре.

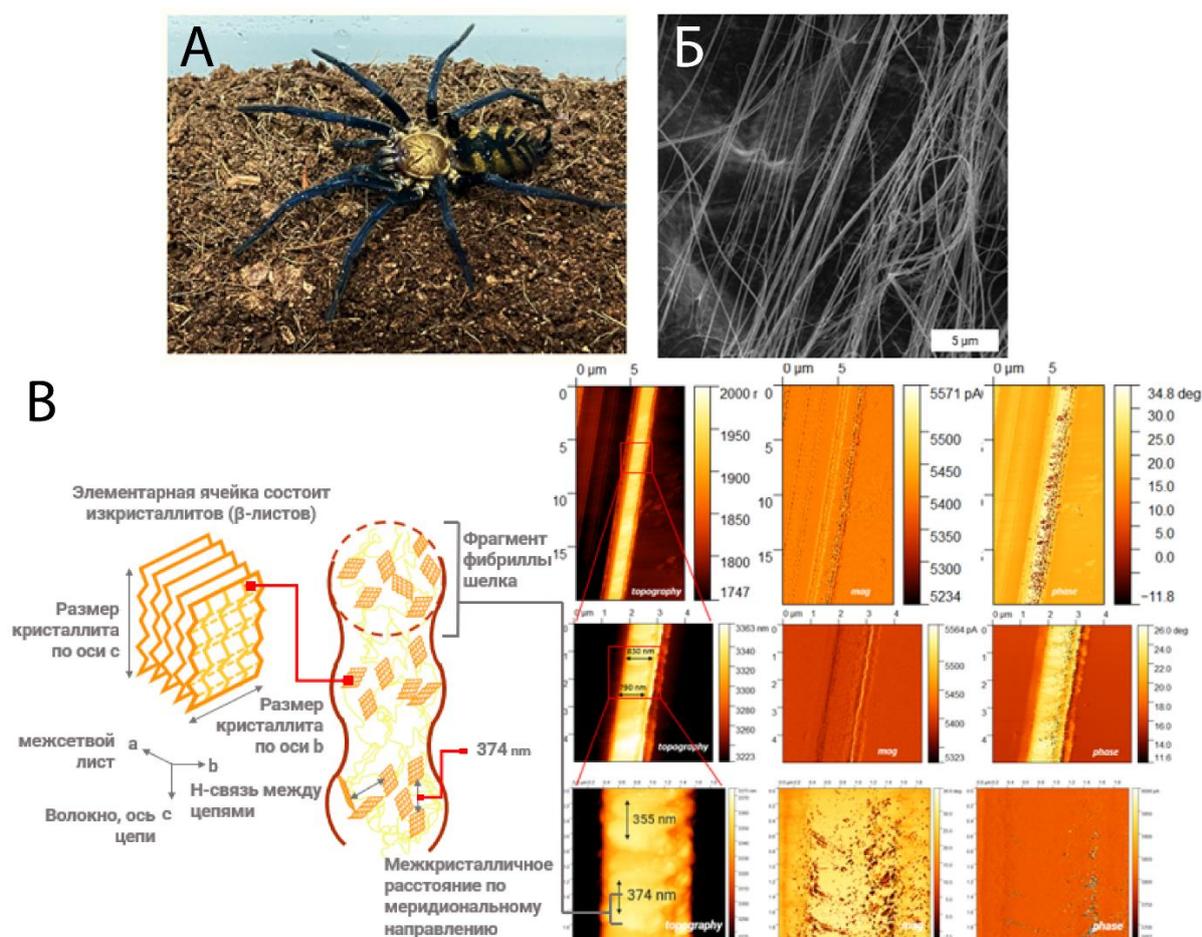


Рис. 1. А – изображение особи *Linothele Fallax* в инсектарии СКАМТ, Б – СЭМ изображение шелка драглайна *Linothele Fallax*, В – АСМ изображения натурального паучьего шелка

Эти фрагменты фибрилл шелка показаны, как предполагается, состоят из множества β -листов, связанных случайной спиралью или α -спиралью, чтобы сформировать сеть полипептидных цепей белка. Межкристаллитное расстояние определяет размер ячейки сети от 350 до 390 нанометров в высоту. Ширина спиралей составляет 780–850 нанометров, что составляет почти полную ширину волокна, не считая оболочки шелковых волокон.

Модуль Юнга нативного паучьего шелка был измерен методом наноиdentации и составил 39 ± 7 ГПа.

Первый подход модификации паутины заключался в воздействии на естественные процессы биосинтеза. Для этих целей были использованы наночастицы магнетита в стабильном водном растворе синтезированные в процессе аммиачной обработки раствора из хлоридов железа II и III путем магнитного осаждения с последующей обработкой в ультразвуке. Гидродинамический размер агрегатов наночастиц в растворе измеряли с помощью метода динамического рассеяния света (DLS) и составил 30 нм, морфология и состав частиц изучены сканирующей электронной микроскопией (SEM) и EDX-анализом. Полученными биосовместимыми золями с регулярностью в каждые три дня были инъецированы особи пауков *Linothele fallax*. В соответствии с разработкой методики модификации волокон паучьего шелка воздействием на биосинтез были получены гибридные материалы, чувствительные к магнитному полю. В результате взаимодействия наночастиц магнетита и аминокислотных остатков паучьего шелка полученные волокна становятся магнитоуправляемыми, что было изучено в магнитном поле катушек Гельмгольца, и приобретают улучшенные механические свойства, модуль Юнга модифицированных волокон значительно увеличился за счет образования новых связей в структуре между β -листами и цепями в аморфной фазе и составил 71 ± 4 ГПа.

Чтобы оценить присутствие наночастиц магнетита в структуре паучьего шелка, содержание железа было измерено с помощью EDS-анализа для паучьего шелка, и составило 1,6. На ИК-спектрах биоинтегрированных волокон паучьего шелка в сравнении с нативными волокнам, наблюдались характерные пики, соответствующие колебаниям функциональных групп оксида железа, подтверждающие наличие наночастиц магнетита встроенных в структуру шелк.

Во втором подходе паучий шелк пропитывался наночастицами ферромагнетика состава $(\text{Mn}_{(1-x)}\text{Zn}_x)\text{Fe}_2\text{O}_4$ с диаметром около 70 нм, полученными в результате гидротермального синтеза. Из-за малого диаметра наночастиц, значительно меньшего, чем размер волокон нативного паучьего шелка, наночастица заполнила всю поверхность волокон и не повлияла на диаметр волокон по сравнению с нативным паучьим шелком. Сканирующая электронная микроскопия использовалась для изучения морфологии поверхности ферромагнитно-модифицированных волокон паучьего шелка, что показано на рис. 2.

Из-за малого диаметра наночастиц, значительно меньшего, чем размер волокон нативного паучьего шелка, положительно заряженные наночастицы под действием сил электростатического притяжения прикрепляются к отрицательно заряженной поверхности волокна и покрывают всю поверхность, образуя тонкий монослой, что также было изучено с помощью магнитно-силовой микроскопии.

Кроме того, были проведены эксперименты по наноиdentации для оценки механических свойств ферромагнитного шелка паука. За счет значительного увеличения модуля Юнга волокон паучьего шелка после пропитки ферромагнитными наночастицами, составляющего 72 ± 5 ГПа, механические свойства волокон улучшаются почти в два раза за счет образования на его поверхности прочного плотного монослоя металлических наночастиц.

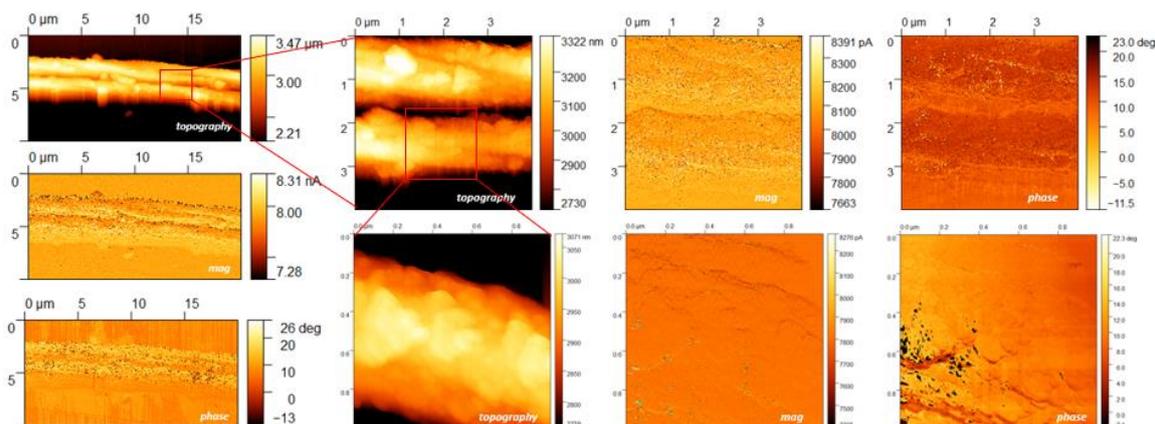


Рис. 2. АСМ-изображение ферромагнитных шелковых волокон паука

Волокна шелка паука, обработанные в растворе липосом, подвергались воздействию магнитного поля, чтобы показать возможность использования этих биосовместимых белков в области доставки лекарств. Модифицированный шелк магнитного паука помещали в раствор липосом с предварительно загруженным красителем родамином-6g, который использовали в качестве модельного реагента для демонстрации высвобождения липосом после нагревания. Раствор с паутиным шелком и липосомы подвергали воздействию магнитного поля в условиях, близких к медицинским. Ферромагнитные наночастицы, которые покрывают поверхность волокон, наночастицы имеют низкую температуру Кюри 41°C , эта температура подходит для живых организмов, а также способна повреждать липидные мембраны липосом при нагревании, вызванном воздействием переменного магнитного поля, что приводит к высвобождению лекарственного средства или красителя в данном случае.

Для изучения способности модифицированных ферромагнетиком волокон паутины к адгезии клеток мы использовали клетки нейробластомы человека, широко применяемые в качестве модельного материала для тестирования нервных клеток. Это злокачественные нервные клетки, сходные по свойствам с нейронами, но со значительно более интенсивным ростом. Нейроны связываются с шелком в течение двух дней после посева, в то время как не прилипающие нейроны падают на дно культурного слоя, что продемонстрировано на рис. 3.

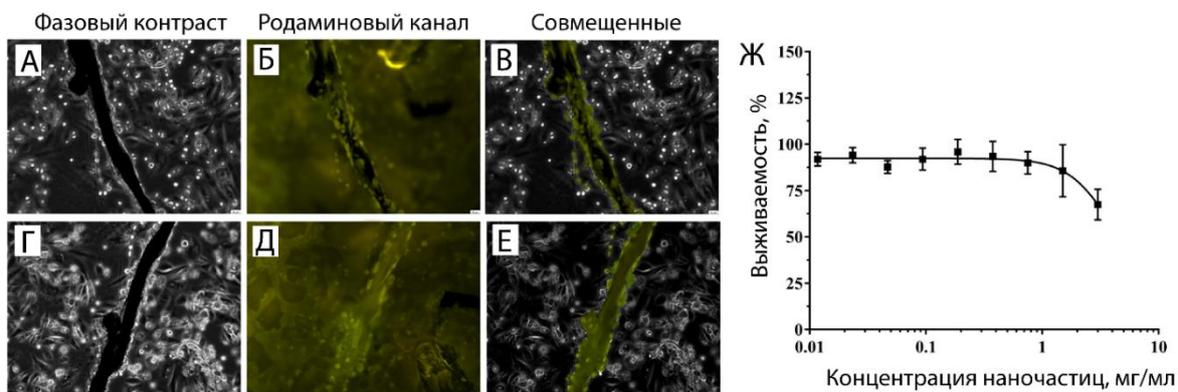


Рис. 3. Адгезия клеток нейробластомы человека (IMR-32) к волокнам шелка паука, модифицированным ферромагнитными наночастицами, вид сверху (А-В), вид снизу (Г-Е), Ж – МТТ-анализ ферромагнитных наночастиц на клетках нейробластомы человека

МТТ-анализ использовали для оценки жизнеспособности клеток нейробластомы человека, культивированных с ферромагнитными наночастицами в концентрациях от 0,01 до 10 мг / л, для определения токсических эффектов. Данные, представленные на рисунке 3Ж, показывают, что на клетках IMR-32, инкубированных с неорганическими ферромагнитными наночастицами, не выявлено токсического эффекта ни в одном из проведенных тестов.

Таким образом, это исследование демонстрирует эффективность предлагаемых методов при поражении нервной системы и открывает доступ к новым возможным разработкам. Многофункциональные волокна паучьего шелка действуют как мощные опорные матрицы для аксонов, увеличивают выживаемость и стимулируют рост выровненных нейронов.

В заключение, это исследование предоставляет данные для понимания естественного структурирования и синтеза этого природного белкового биополимера, который важен не только для производства инновационных функциональных материалов, но и для развития фундаментальной науки. Кроме того, исследование корреляции между поведением, свойствами и структурой материала позволяет нам разработать стратегии для разработки биосовместимых функционально оптимизированных гибридных композитов на основе паучьего шелка.

Различные типы биополимерных материалов на основе натурального паучьего шелка и магнитных наночастиц были получены пропиткой поверхности неорганическими наночастицами и влиянием на биосинтез. Модифицированные волокна демонстрируют улучшенные механические свойства, изменения структуры, со следующими изменениями в поведении материалов. Все эти факторы делают гибридные материалы на основе паучьего шелка уникальным биополимером, имеющим множество применений как в медицине, так и в интеллектуальной электронике.

В данной работе описан эффективный метод повышения прочности волокон натурального шелка путем прямого введения золя магнетита в шелковую железу паука. Предполагается, что наночастицы магнетита могут влиять на конформационные изменения волокон паучьего шелка, встраиваясь в его структуру. В этих случаях паучий шелк действует как прочная структурно упорядоченная матрица для соответствия функциональным характеристикам неорганических наноматериалов с целью создания интеллектуальных композитов, которые демонстрируют уникальные исключительные свойства и остаются одновременно гибкими, проводящими и чрезвычайно прочными. Эти данные показывают, что влияние на биосинтез наночастиц магнетита может быть жизнеспособным вариантом для изменения механических свойств волокон паучьего шелка.

Более того, для достижения соответствующих механических качеств и требуемых эффектов восстановления в конкретных приложениях, таких как разработка покрытий для нервных имплантатов и повреждений периферических нервов, функциональная основа может включать в себя интеграцию различных материалов и лекарств. В этой работе были разработаны инновационные гибридные материалы на основе нативных волокон шелка пауков, модифицированных ферромагнитными наночастицами, для обеспечения непрерывного высвобождения лекарственного средства из каркасов на основе шелка для регенерации нервной ткани. Описанная технология предлагает сложный и эффективный подход к заживлению травм с клеточной и молекулярной точностью, а также многообещающую стратегию имплантации для восстановления нервных травм с использованием новых типов нервных проводников на основе биологически активных материалов на основе белка шелка паука.

Литература

1. Kiseleva A. et al. Optically Active Hybrid Materials Based on Natural Spider Silk: research-article // ACS Appl. Mater. Interfaces. American Chemical Society, 2019. Vol. 11. № 26. P. 22962–22972.
2. Kundu B. et al. Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations // Adv. Drug Deliv. Rev. Elsevier B.V., 2013. Vol. 65, № 4. P. 457–470.
3. Hard T., Barnes, H., Larsson, C., Gustafsson., Lund J. Purification and expansion of human Schwann cells in vitro // Nature. 1995. Vol. 2, № 11. P. 983–989.
4. Gao L. et al. Intrinsic peroxidase-like activity of ferromagnetic nanoparticles // Nat. Nanotechnol. 2007. Vol. 2. № 9. P. 577–583.

Кубланова Ида Леонидовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

студент группы №L42711,

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: cubeida@yandex.ru

Куликов Андрей Владимирович

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

Институт «Высшая инженерная школа»,

к.т.н., доцент,

e-mail: a.kulikov86@gmail.com

УДК 528.526.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА
С МОДУЛЯТОРОМ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ**

И.Л. Кубланова

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Куликов

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование физических механизмов и природы шумов в интегрально-оптических схемах и их влияния на прецизионные оптические изменения», №12445.

Аннотация

В настоящей работе предложен интерферометрический волоконно-оптический гироскоп с модулятором двулучепреломления, отличающийся от серийного тем, что модулятор из контура Саньяка вынесен за пределы контура, а также является модулятором двулучепреломления. В модуляторе двулучепреломления излучение распространяется по двум ортогональным осям двулучепреломления, и модуляция достигается за счет разницы электрооптических коэффициентов по этим осям. Таким образом, модуляция наводится между двумя волнами ортогональной поляризации. Такой подход позволяет существенно уменьшить влияние воздействия поверхностных пьезо- и пьезоэлектрических эффектов в МИОС, что влияет на точность измерений гироскопа. Был собран интерферометрический волоконно-оптический гироскоп с модулятором двулучепреломления, получено значение коэффициента, а также проведены эксперименты с неподвижным основанием и термические испытания.

Ключевые слова

Интерферометрический волоконно-оптический гироскоп, модулятор двулучепреломления, диффузия титана, пьезоэлектрический эффект, пьезоэлектрический эффект.

Интерферометрические волоконно-оптические гироскопы (И-ВОГ) используются в навигации и гиростабилизации для определения угловой скорости [1]. Важной составляющей работы И-ВОГ является модуляция, она обеспечивает чувствительность И-ВОГ, удерживая сигнал в рабочей точке и компенсируя набег фаз, который возникает на предыдущей итерации обработки сигнала. Стандартный И-ВОГ (рис. 1) использует

два электрооптических фазовых модулятора в составе многофункциональной интегрально-оптической схемы (МИОСа).

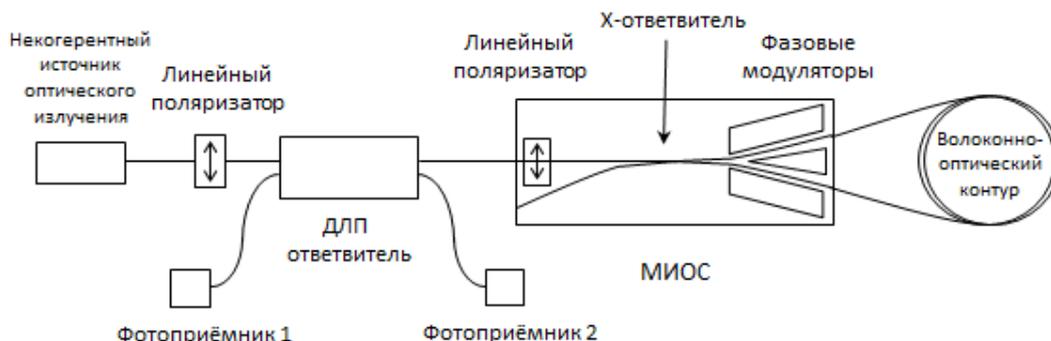


Рис. 1. Схема стандартного И-ВОГ

МИОС стандартного И-ВОГ основан на электрооптическом кристалле в котором выполнены волноводы, поддерживающие одно состояние поляриации, и состоит из линейного поляризатора, X-ответвителя и двух фазовых модуляторов. Модуляция наводится за счет разности фаз между волнами, распространяющимися по разным волноводам, вследствие чего поверхностные пиро- и пьезоэлектрические эффекты, возникающие в электрооптическом кристалле, действуют на модулируемые волны по-разному и вызывают неизвестный набег фаз, что негативно сказывается на точности измерений гироскопа.

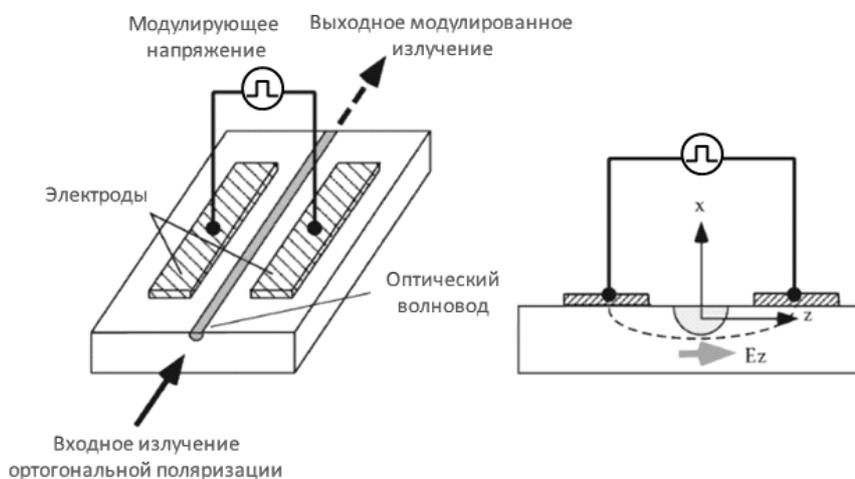


Рис. 2. Схема модулятора двулучепреломления

В модуляторе двулучепреломления (рис. 2), основанном на электрооптическом кристалле, в котором методом диффузии титана выполнен поддерживающий два состояния поляриации волновод, описанная проблема отсутствует [2-5]. Модуляция в нем осуществляется за счет набег фаз между волнами, распространяющимися в одном волноводе, но по разным осям двулучепреломления, вследствие чего поверхностные пиро- и пьезоэлектрические эффекты, возникающие в электрооптическом кристалле, действуют на модулируемые волны в соотношении, пропорциональном разности электрооптических коэффициентов по этим направлениям, а значит, может быть скомпенсирован. На основе этого был разработан и собран И-ВОГ с модулятором двулучепреломления (рис. 3).

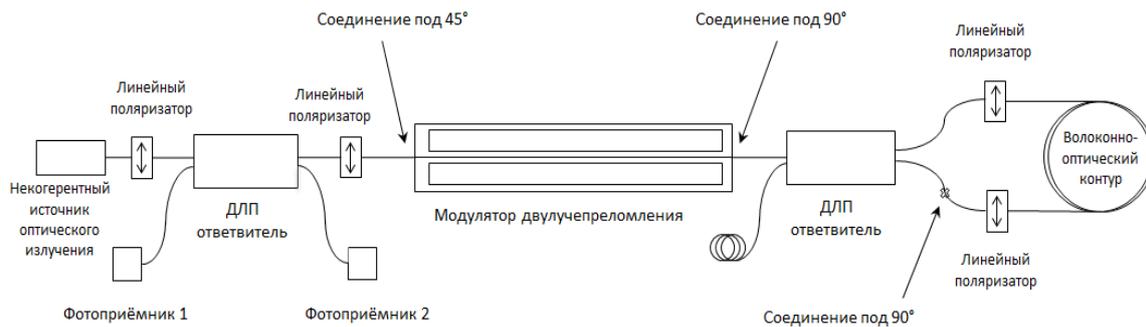


Рис. 3. Схема И-ВОГ с модулятором двулучепреломления

И-ВОГ с модулятором двулучепреломления работает следующим образом. Широкополосное неполяризованное излучение проходит через линейный поляризатор, затем линейно поляризованное излучение заходит в ДЛП-ответвитель, где делится по интенсивности. Часть излучения попадает в опорный фотоприёмник (Фотоприёмник 2) для компенсации флуктуаций мощности источника. Другая часть излучения без изменений проходит через второй линейный поляризатор и направляется в двулучепреломляющий волновод модулятора через соединение с ориентацией осей двулучепреломления 45° , из-за которого линейно поляризованное излучение распространяется по двум осям двулучепреломления волновода. В модуляторе двулучепреломления на излучение оказывает влияние наведенное между электродами напряжение. Из-за разницы электрооптических коэффициентов и показателей преломления вдоль разных осей двулучепреломления между ортогонально поляризованными волнами возникает набег фаз. После выхода из двулучепреломляющего волновода модулятора излучение попадает во второй ДЛП-ответвитель, где делится по интенсивности. Часть излучения проходит через поляризатор, ось пропускания которого совпадает с медленной осью двулучепреломления волокна и распространяется по волоконно-оптическому контуру по часовой стрелке (рис. 3). Другая часть излучения проходит через соединение с ориентацией осей двулучепреломления 90° , из-за чего излучение, распространявшееся по медленной оси, переходит в быструю ось, и наоборот. Далее излучение проходит через линейный поляризатор, ось пропускания которого согласована с медленной осью двулучепреломления волокна и распространяется по волоконно-оптическому контуру против часовой стрелки (рис. 3). При встречном распространении по волоконно-оптическому контуру волны приобретают набег фаз, пропорциональный скорости вращения контура в данной плоскости.

После выхода из волоконно-оптического контура излучение, распространявшееся по часовой стрелке (рис. 3), проходит без изменений через линейный поляризатор и далее через соединение с ориентацией осей двулучепреломления 90° , из-за чего поворачивается из медленной оси в быструю. Далее излучение заходит в ДЛП-ответвитель. Излучение, распространявшееся против часовой стрелки (рис. 3), проходит без изменений через линейный поляризатор. Далее излучение заходит в ДЛП-ответвитель. Из ДЛП-ответвителя излучение, распространяющееся по двум осям двулучепреломления, попадает в двулучепреломляющий волновод модулятора. При обратном прохождении набег фаз, вызванный разницей электрооптических коэффициентов, удваивается, а набег фаз, вызванный разницей показателей преломления, компенсируется. На выходе из модулятора двулучепреломления излучение проходит через соединение под 45° , после него излучение, распространявшееся по медленной оси двулучепреломления, распространяется и по медленной оси двулучепреломления, и по быстрой, как и излучение,

распространявшееся по быстрой оси двулучепреломления. Затем излучение проходит через линейный поляризатор, где происходит интерференция. Через ДПП-ответвитель излучение попадает на сигнальный фотоприемник (Фотоприемник 1).

С И-ВОГ с модулятором двулучепреломления были проведены эксперименты с неподвижным основанием и с термоциклированием.

В ходе эксперимента с неподвижным основанием И-ВОГ с модулятором двулучепреломления и серийный И-ВОГ были помещены на неподвижное основание. Целью этого эксперимента было наблюдение дрейфа сигнала И-ВОГ с модулятором двулучепреломления и сравнение с сигналом серийного И-ВОГ. Результаты эксперимента (рис. 4) показали что дрейф сигнала И-ВОГ с модулятором двулучепреломления небольшой и при постоянной температуре составляет не более $0,05^\circ/\text{ч}$.

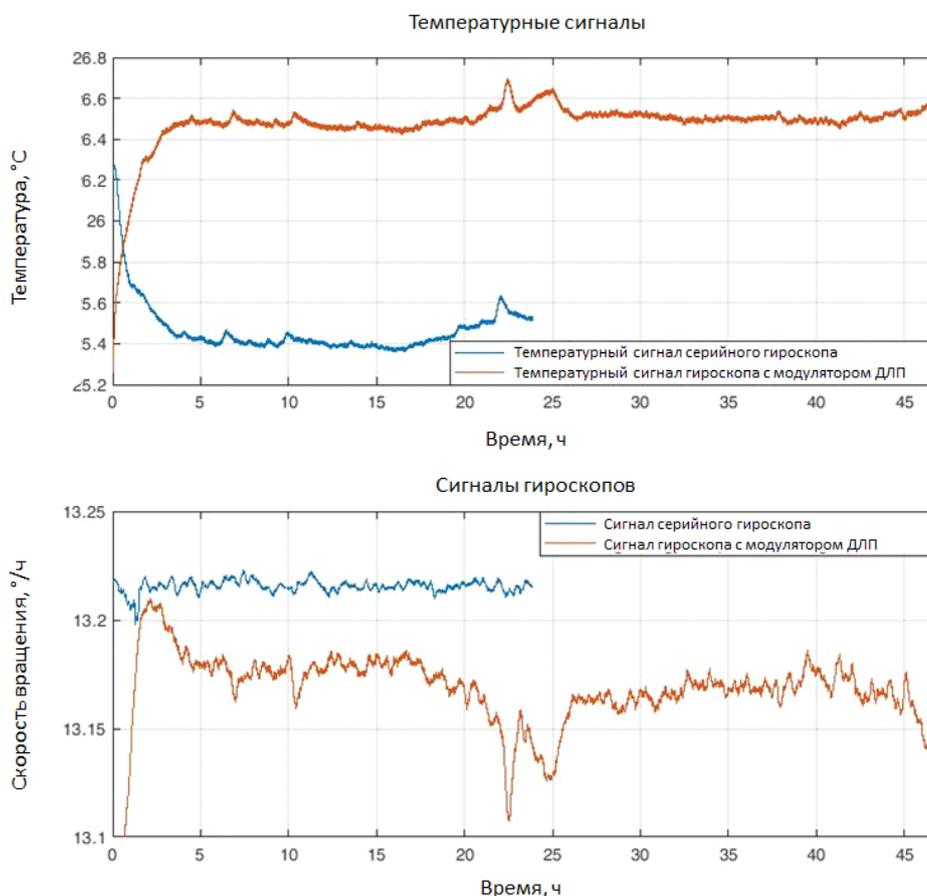


Рис. 4. Графики температуры МИОСа и сигнала ВОГ для стандартного И-ВОГ и И-ВОГ с модулятором двулучепреломления

В ходе эксперимента с термоциклированием И-ВОГ с модулятором двулучепреломления был помещен в термокамеру с запрограммированным термоциклом (рис. 5). Целью эксперимента было выяснение зависимости сигнала И-ВОГ с модулятором двулучепреломления от изменения температуры. По результатам эксперимента (рис. 5) видно, что сигнал И-ВОГ имеет нелинейные участки в областях температурных изменений, что может быть объяснено паразитной интерференцией в одном из элементов или на одном из соединений в И-ВОГ с модулятором двулучепреломления.

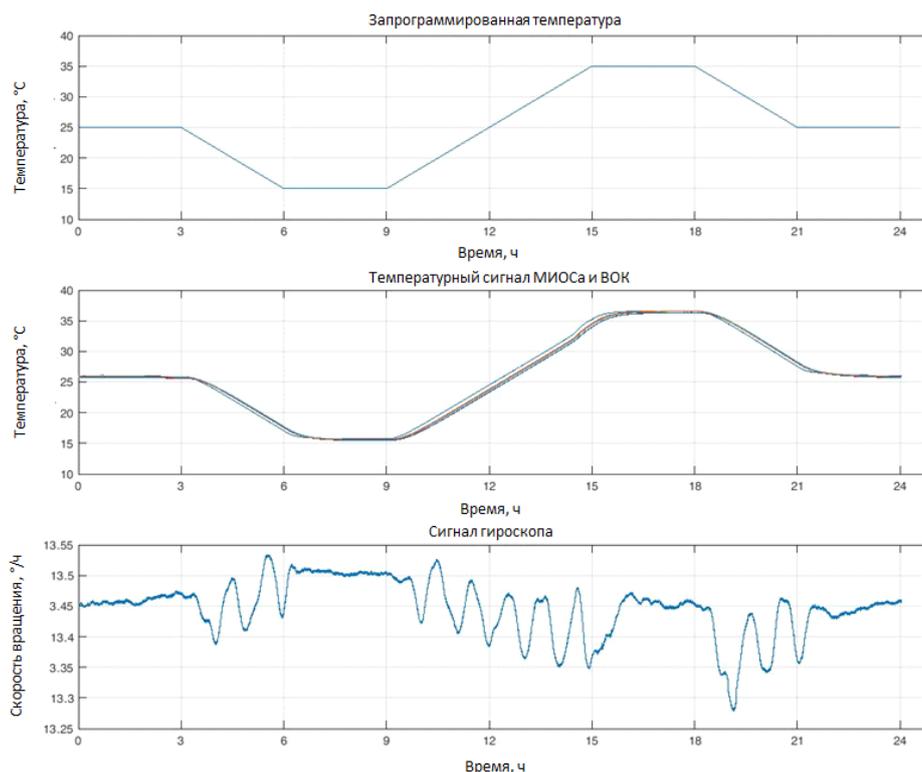


Рис. 5. Графики запрограммированного термоцикла, температурных сигналов МИОСа и катушки, сигнала И-ВОГ с модулятором двулучепреломления при представленном термоцикле

Был разработан, собран и испытан И-ВОГ с модулятором двулучепреломления. Использование модулятора двулучепреломления должно давать возможность компенсации поверхностных пиро- и пьезоэлектрических эффектов, возникающих в электрооптическом кристалле, на котором основан модулирующий элемент И-ВОГ. Сигнал И-ВОГ с модулятором двулучепреломления показал достаточную стабильность во времени и значительную нелинейную зависимость от изменения температуры.

Подана заявка на патент «Интерферометрический волоконно-оптический гироскоп», регистрационный номер 2021109627, дата регистрации 07.04.2021.

Литература

1. Lefevre H.C. The fiber-optic gyroscope. – Artech house. 2014.
2. Noguchi K. Lithium niobate modulators //Broadband Optical Modulators: Science, Technology, and Applications. 2011. С. 151-172.
3. Fang X. et al. A subnanosecond polarization-independent tunable filter/wavelength router using a Sagnac interferometer //IEEE Photonics Technology Letters. 1997. Т. 9. №. 11. С. 1490-1492.
4. Karavaev P. M. et al. Polarization separation in titanium-diffused waveguides on lithium niobate substrates //Technical Physics Letters. 2016. Т. 42. №. 5. С. 513-516.
5. Kip D. Photorefractive waveguides in oxide crystals: fabrication, properties, and applications //Applied Physics B: Lasers & Optics. 1998. Т. 67. №. 2.] [Schmidt R.V., Kaminow I.P. Metal-diffused optical waveguides in LiNbO3 //Applied Physics Letters. 1974. Т. 25. №. 8. С. 458-460.

Кулеш Анастасия Сергеевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42384,

направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управление,

e-mail: kulesh.anastasia.s@gmail.com

Герасимов Дмитрий Николаевич

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: gerasimovdn@mail.ru

УДК 519.71

**СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО СЛЕЖЕНИЯ ВЫХОДА
ПАРАМЕТРИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА ЗА
НЕИЗВЕСТНЫМ МУЛЬТИСИНОСОИДАЛЬНЫМ СИГНАЛОМ**

А.С. Кулеш

Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.Н. Герасимов

Аннотация

Рассматривается задача адаптивного слежения выхода линейного параметрически неопределенного объекта за мультисинусоидальным сигналом с априори неизвестными амплитудами, частотами и фазами гармоник. Вектор состояния объекта недоступен прямому измерению, динамический порядок объекта и максимальное количество гармоник известны. Решения задачи представлены для дискретных и непрерывных объектов. Решения построены на основе градиентного алгоритма адаптации и алгоритма адаптации с ускоренной параметрической сходимостью. Приведены результаты моделирования и эксперимента, проведенного на асинхронном двигателе с частотным преобразователем.

Ключевые слова

Адаптивное управление, задача слежения, принцип внутренней модели, параметрическая неопределенность, ускоренная сходимость.

Введение

Задача слежения для непрерывных и дискретных систем широко изучается в течение нескольких десятилетий. Несмотря на большой опыт, накопленный в этой области, все еще остаются нерешенными задачи, например, связанные с улучшением быстродействия замкнутых систем.

Один из подходов в решении задачи слежения основан на принципе внутренней модели [1, 2]. Принцип предполагает представление внешнего мультисинусоидального сигнала как выход автономного генератора, параметры которого используются в законе управления для обеспечения нулевой установившейся ошибки. Впервые принцип внутренней модели был применен для управления линейными объектами [1, 2] и позднее для нелинейных систем [3] для известных параметров генератора и объекта.

Следующий этап развития задачи включает в себя реализацию принципа внутренней модели для случаев, когда параметры задающего воздействия предполагаются неизвестными [4, 5]. В дальнейшем этот шаг в развитии задачи позволил

расширить применение принципа для параметрически неопределенных объектов [6]. Так же решена задача для неизвестных параметров задающего воздействия и неизмеряемого вектора состояния объекта [7].

В большинстве случаев для построения решения используется стандартный градиентный алгоритм адаптации, который обеспечивает сходимость ошибки управления к нулю, но скорость сходимости может быть сколь угодно плохой. Однако существует оптимальное значение коэффициента адаптации, при котором скорость настройки достигает максимального значения. Для решения проблемы ограничения скорости сходимости настройки регулятора были разработаны алгоритмы адаптации с ускоренной сходимостью, например, алгоритм Крейссельмейера [8, 9].

В статье представлено решение задачи адаптивного слежения выхода параметрически неопределенного объекта за мультисинусоидальным сигналом с априори неизвестными коэффициентами. Предполагается, что вектор состояния объекта является неизмеряемым. Для подтверждения работы алгоритма осуществляется моделирование системы управления и апробация результатов на асинхронном двигателе с частотным преобразователем. В статье представлено решение задачи в дискретном представлении. Рассмотрение непрерывного случая представлено в дипломной работе.

Постановка задачи

Рассмотрим линейную систему

$$y(k) = H(z)[u(k)], \quad (1)$$

где $u \in R$ – входное (управляющее) воздействие, $y \in R$ – выходная (регулируемая) переменная,

$$H(z) = \frac{b(z)}{a(z)} = \frac{b_m z^m + b_{m-1} z^{m-1} + \dots + b_0}{z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_0}$$

– передаточная функция, где $a_i, i = \overline{0, n-1}$ и $b_j, j = \overline{0, m}$ – неизвестные коэффициенты.

Допущение 1. Объект является устойчивым.

Допущение 2. Объект является полностью управляемым.

Задача состоит в построении закона управления, который обеспечивает ограниченность всех сигналов в замкнутой системе и слежение выхода объекта y за сигналом g согласно равенству

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (e(k)) = 0, \quad (2)$$

$$e(k) = g(k) - y(k). \quad (3)$$

Эталонный сигнал формируется мультисинусоидальным воздействием вида

$$g(k) = \sum_{i=1}^N A_i \sin(\omega_i k + \phi_i), \quad (4)$$

где A_i, ω_i, ϕ_i – априори неизвестные амплитуды, частоты и фазы гармоник.

Согласно принципу внутренней модели [1, 2] сигнал (4) может быть представлен как выход автономного генератора

$$\begin{cases} \bar{z}(k+1) = \Gamma \bar{z}(k) \\ g(k) = h \bar{z}(k) \end{cases}, \quad (5)$$

где $\bar{z}(k)$ – неизмеряемый вектор состояния, Γ – неизвестная постоянная матрица, собственные числа которой являются чисто мнимыми и некратными, h – неизвестный вектор.

Допущение 3. Пара (Γ, h) является полностью наблюдаемой.

Допущение 4. Нули передаточной функции $H(z)$ не совпадают с собственными числами матрицы Γ .

Допущение 5. Максимальный порядок генератора (5) m известен.

Параметризация задающего воздействия

В силу Допущения 3 и модели (5) сигнал задания g может быть представлен в качестве выхода линейной регрессии

$$g = \theta^T \xi + \sigma, \quad (6)$$

где $\theta \in R^m$ – вектор неизвестных параметров, σ – экспоненциально затухающий член⁶, ξ – вектор измеряемых функций, который генерируется фильтром

$$\xi(k+1) = G\xi(k) + l g(k), \quad (7)$$

G – произвольная гурвицева матрица, l – вектор, выбираемый из полной управляемости пары (G, l) .

Параметризация выхода объекта

С использованием результата Р. Монополи [9] представим объект (1) в следующем параметризованном виде:

$$y(k) = W_m(z)[\theta_\omega^T \phi_\omega(k) + b_m u(k)], \quad (8)$$

где $\theta_\omega \in R^{2n-1}$ – новый вектор неизвестных параметров параметризованного объекта, $\phi_\omega = \text{col}(v_1^T, v_2^T, y)$, $W_m(z) = \frac{1}{\delta_m(z)}$ – передаточная функция эталонной модели с произвольным гурвицевым полиномом $\delta_m(z)$, векторы $v_1, v_2 \in R^{n-1}$ генерируются следующими устойчивыми фильтрами:

$$\begin{cases} v_1(k+1) = \Lambda v_1(k) + q_{n-1} u(k), \\ v_2(k+1) = \Lambda v_2(k) + q_{n-1} y(k), \end{cases} \quad (9)$$

$q_{n-1} = [0, \dots, 0, 1]^T$ – вектор размерности $n-1$, Λ – произвольная гурвицева матрица размерности $(n-1) \times (n-1)$, представленная в канонической форме

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -\lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & \dots & -\lambda_{n-2} \end{bmatrix}.$$

⁶ Экспоненциально затухающий член не влияет на дальнейшую устойчивость системы, поэтому при решении он опускается.

На основе представления (8) и с учетом (6) параметризуется ошибка управления.

Построение модели ошибки и синтез управления

Подставив параметризованное значение (8) в (3), получаем

$$e = g - W_m(z)[\theta_\omega^T \phi_\omega + b_m u]. \quad (10)$$

С целью включения неопределенностей сигнала g в параметризованную модель ошибки были сформулированы утверждения, представленные в дипломной работе. С учетом этих утверждений получаем

$$g = \bar{\theta}^T \bar{\xi}, \quad (11)$$

где $\bar{\xi}(k) = W_m(z) [\xi(k)]$, $\bar{\theta}$ – новый вектор неизвестных параметров генератора.

Подставляем (11) в (10)

$$\begin{aligned} e(k) &= \bar{\theta}^T W_m(z) [\xi(k)] - W_m(z) [\theta_\omega^T \phi_\omega(k) + b_m u(k)] \\ e(k) &= W_m(z) [\bar{\theta}^T \bar{\xi}(k) - \theta_\omega^T \phi_\omega(k) - b_m u(k)]. \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, мы можем построить реализуемое адаптивное управление. Перепишем полученное выражение (12) в виде

$$e = W_m(z) [\theta^T \phi - b_m u], \quad (13)$$

где $\theta = \text{col}(\bar{\theta}, \theta_\omega)$, $\phi = \text{col}(\bar{\xi}, -\phi_\omega)$.

Вводя новые обозначение для выражения (13), получаем

$$e = \psi^T \bar{\omega}, \quad (14)$$

где $\psi = \text{col}(\theta, b_m)$ – генерируемый вектор неизвестных параметров, $\omega = \text{col}(\phi, -u)$ – регрессор, $\bar{\omega} = W_m(z) [\omega]$ – фильтрованный регрессор.

Исходя из принципа непосредственной компенсации, получаем настраиваемый регулятор

$$u = \frac{1}{\hat{b}_m} \hat{\theta}^T \phi, \quad (15)$$

где $\hat{\theta}$ – вектор оценки настраиваемых параметров, \hat{b}_m – оценка высокочастотного коэффициента.

Подставим управление (15) в модель ошибки (13):

$$e = W_m(z) [\tilde{\theta}^T \phi - \tilde{b}_m u], \quad (16)$$

где $\tilde{\theta} = \theta - \hat{\theta}$ – вектор параметрических ошибок, $\tilde{b}_m = b_m - \hat{b}_m$ – ошибка высокочастотного коэффициента.

Синтез алгоритма адаптации

Согласно принципу расширенной ошибки [10, 11] сформируем ошибку

$$\hat{e} = e - \hat{\psi}^T \bar{\omega} = \tilde{\psi}^T \bar{\omega}. \quad (17)$$

Полученная модель позволяет синтезировать следующие алгоритмы адаптации [4].

Градиентный алгоритм адаптации

Алгоритм имеет следующую форму

$$\hat{\psi}(k+1) = \hat{\psi}(k) + \gamma Pr \left\{ \frac{1}{1 + \gamma \bar{\omega}^T(k) \bar{\omega}(k)} \bar{\omega}(k) \hat{e}(k) \right\}, \quad (18)$$

где γ – положительный коэффициент адаптации, $Pr\{X\}$ – оператор проекции, используемый для предотвращения деления на 0 в управлении (15).

Оператор проекции определяется следующим образом

$$Pr\{X\} = \begin{cases} X, & \text{при } \hat{b}_m(k+1) > \bar{b}_m \\ MX, & \text{при } \hat{b}_m(k+1) \leq \bar{b}_m \end{cases}, \quad (19)$$

где $M = I_{2n+1} - q_{2n+1} q_{2n+1}^T$ – постоянная матрица, \bar{b}_m – положительная константа, которая определяет минимальную границу параметра b_m .

Утверждение 1. Полученное решение, состоящее из алгоритма адаптации (18) и настраиваемого регулятора (15), обеспечивает следующие свойства замкнутой системы:

1. Ограниченность всех сигналов в системе.
2. Асимптотическое стремление ошибки e и \hat{e} к нулю.
3. Если $\bar{\omega} \in PE$, то $\|\tilde{\psi}\| \rightarrow 0$ экспоненциально.
4. Скорость параметрической сходимости ограничена оптимальным коэффициентом адаптации γ и наличием нормирующего фактора.

Полученный алгоритм гарантирует цель управления, но скорость настройки регулятора осуществляется значительно медленно.

Алгоритм адаптации с ускоренной сходимостью

Алгоритм имеет следующий вид [8]

$$\hat{\psi}(k+1) = \hat{\psi}(k) + \gamma Proj \left\{ R^{-1} \left(Y(k) - \Omega(k) \hat{\psi}(k) \right) \right\} \quad (20)$$

где $R = L(z)[I + \gamma \bar{\omega} \bar{\omega}^T]$, $\Omega = L(z)[\bar{\omega} \bar{\omega}^T]$, $Y = L(z)[\bar{\omega} \hat{e}]$, $L(z)$ – устойчивая минимально-фазовая передаточная функция.

Оператор проекции определяется следующим образом

$$Pr\{X\} = \begin{cases} X, & \text{при } \hat{b}_m(k+1) > \bar{b}_m \\ MX, & \text{при } \hat{b}_m(k+1) \leq \bar{b}_m \end{cases}, \quad (21)$$

где $M = I_{2n+1} - q_{2n+1} q_{2n+1}^T$ – постоянная матрица, \bar{b}_m – положительная константа, которая определяет минимальную границу параметра b_m .

Утверждение 2. Полученное решение, состоящее из алгоритма адаптации (20) и настраиваемого регулятора (15), обеспечивает следующие свойства замкнутой системы:

1. Ограниченность всех сигналов в системе.
2. Асимптотическое стремление ошибки e и \hat{e} к нулю.
3. Если $\bar{\omega} \in PE$, то $\|\tilde{\psi}\| \rightarrow 0$ экспоненциально.
4. Скорость параметрической сходимости может быть увеличена при увеличении параметра γ .

Алгоритм гарантирует цель управления и позволяет ускорить параметрическую сходимость и, следовательно, быстродействие системы.

Моделирование

Рассматривается параметрически неопределенный объект второго порядка

$$y(k) = \frac{1.53}{z^2 - 0.705z - 0.25} [u(k)],$$

Задача состоит в синтезе алгоритма адаптивного слежения выхода параметрически неопределенного объекта y за сигналом g с априори неизвестными амплитудами, частотами и фазами гармоник.

Выберем задающее воздействие в следующем виде

$$g(k) = \begin{cases} 50 \sin(2k) + 100, & \text{при } t \in (0, 10] \\ 50, & \text{при } t \in (10, 20] \\ 50 \sin(k) + 100, & \text{при } t \in (20, \infty) \end{cases}.$$

Учитывая форму функции g , выбираем матрицы $G = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0,5 & -0,2 & -0,2 \end{bmatrix}$

и $l = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$. Настраиваемый регулятор $u = \frac{1}{\bar{b}_m} \hat{\theta}^T \phi$, регрессор $\phi = \text{col}(v_1^T, v_2^T, y, \xi) \in R^6$, регрессор $\omega = \text{col}(\phi, -u) \in R^7$, фильтрованный регрессор $\bar{\omega} = W_m(z)[\omega]$, где $W_m = \frac{1}{z^2 - 1.85z + 0.855}$. Граница высокочастотного коэффициента $\bar{b}_m = 0.1$.

Регулятор настраивается с помощью следующих алгоритмов адаптации.

Градиентный алгоритм адаптации

Алгоритм (18) с $\gamma = 0.1$. Результаты представлены на рис. 1. Из графиков видно, что алгоритм достигает цель управления и имеет сравнительно маленькую скорость настройки параметров объекта.

Алгоритм адаптации с ускоренной сходимостью

Алгоритм (20) с $\gamma = 10^{-9}$. Результаты представлены на рис. 2. Из графиков видно, что алгоритм достигает цель управления и скорость параметрической сходимости может быть увеличена за счет изменения коэффициента адаптации γ .

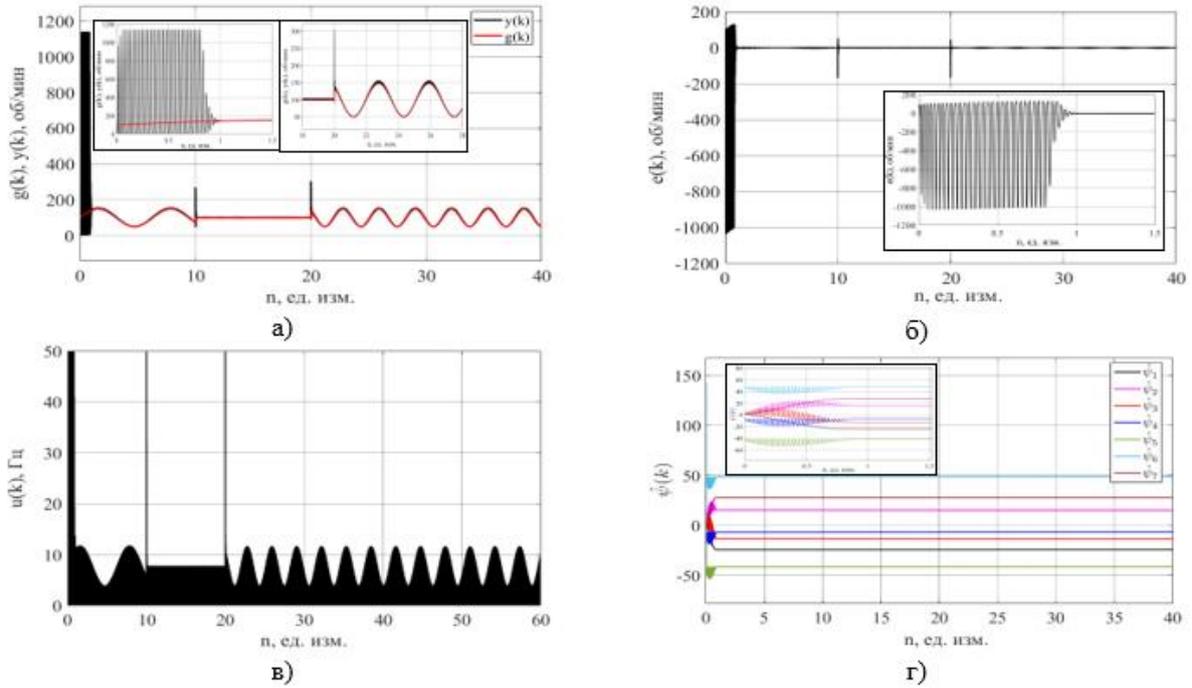


Рис. 1. Графики переходных процессов в системе управления, замкнутой градиентным алгоритмом адаптации: а) сравнение выхода объекта y с задающим воздействием g ; б) ошибка управления e ; в) управляющее воздействие u ; г) настройка параметров $\hat{\psi}$

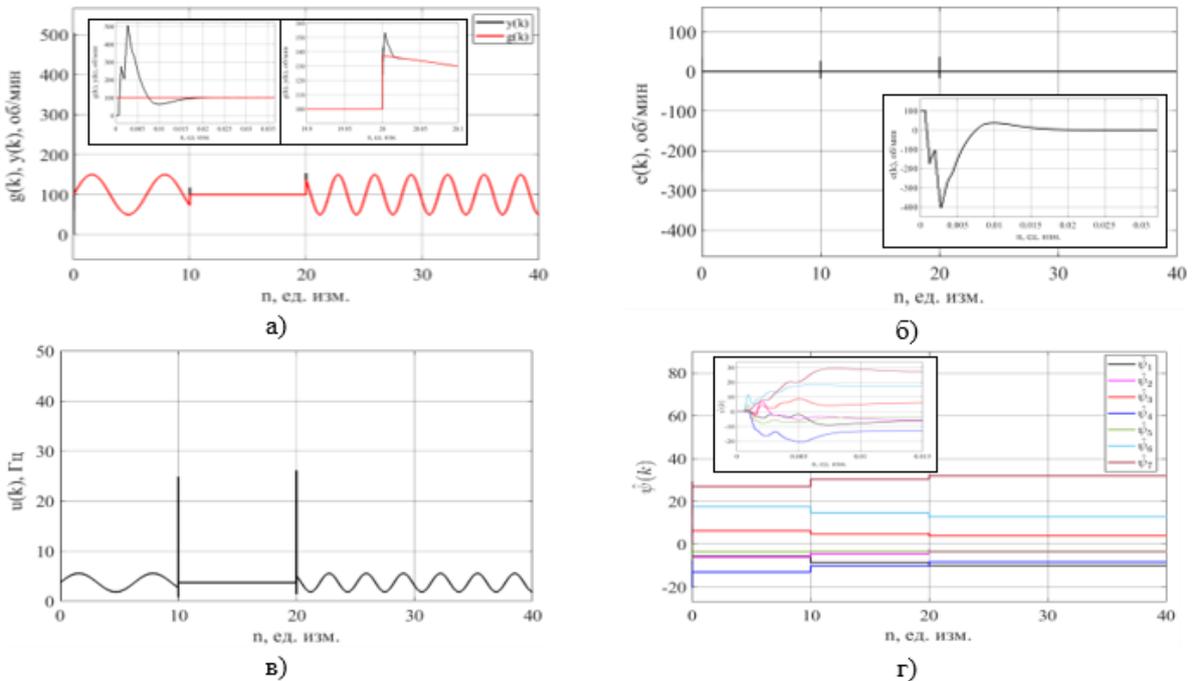


Рис. 2. Графики переходных процессов в системе управления, замкнутой алгоритмом адаптации с ускоренной сходимостью: а) сравнение выхода объекта y с задающим воздействием g ; б) ошибка управления e ; в) управляющее воздействие u ; г) настройка параметров $\hat{\psi}$

Практический результат

Для демонстрации результатов представленные алгоритмы были реализованы на установке, состоящей из асинхронного двигателя типа АИС71В4 (P=0.37 кВт), частотного преобразователя INNOVERT серии ISD mini и контроллера Beckhoff CX1010.

Выбранный для проведения эксперимента асинхронный двигатель может быть представлен следующей моделью

$$y(k) = \frac{b_0}{z^2 + a_1 z + a_0} [u(k)],$$

где $u(k)$ – управляющее воздействие (желаемая частота, Гц), $y(k)$ – регулируемая переменная (скорость вращения двигателя, об/мин), a_0 , a_1 , b_0 – неизвестные параметры.

Задача состоит в синтезе алгоритма адаптивного управления скоростью вращения асинхронного двигателя у согласно задающему сигналу g согласно равенству

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (g(k) - y(k)) = 0,$$

$$\text{где } g(k) = \begin{cases} 150 \sin(0.005k) + 300, & \text{при } t \in (0, 77] \\ 400, & \text{при } t \in (77, 154] \\ 300 \sin(0.001k) + 500, & \text{при } t \in (154, \infty) \end{cases}, \text{ параметры которого априори}$$

неизвестны.

Решение задачи построено на основе трех алгоритмов управления – ПИД-регулятора, градиентного алгоритма адаптации и алгоритма адаптации с ускоренной сходимостью.

ПИД-регулятор

Результаты представлены на рис. 3. Из графиков видно, что ПИД-регулятор хорошо работает при низких, в том числе нулевых, частотах задающего воздействия. При появлении более высоких частот регулятор не обрабатывает задающее воздействие в полном объеме и, как следствие, наблюдается плохая работоспособность системы.

Градиентный алгоритм адаптации

Результаты представлены на рис. 4. Из графиков видно, что система управления, замкнутая градиентным алгоритмом адаптации (20), достигает цели управления, однако скорость настройки параметров регулятора и сходимость ошибки управления являются медленными. Очень медленная сходимость хорошо наблюдается на высоких частотах задающего воздействия.

Алгоритм адаптации с ускоренной сходимостью

Результаты представлены на рис. 5. Из графиков видно, что система управления, замкнутая рассматриваемым алгоритмом адаптации (20), достигает цели управления, обеспечивая ускорение настройки параметров, тем самым повышая работоспособность системы. При изменении задающего воздействия также осуществляется быстрая перенастройка параметров.

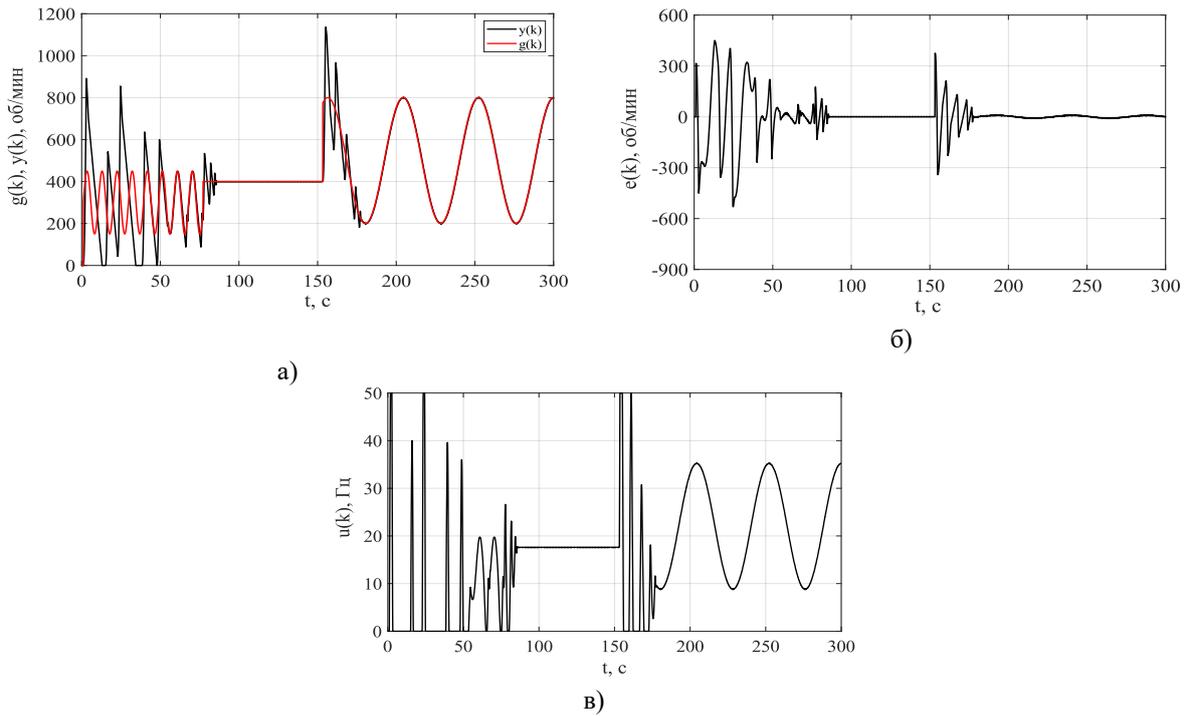


Рис. 3. Графики переходных процессов в системе при управлении ПИД-регулятором: а) сравнение выхода объекта y с задающим воздействием g ; б) ошибка управления e ; в) управляющее воздействие u

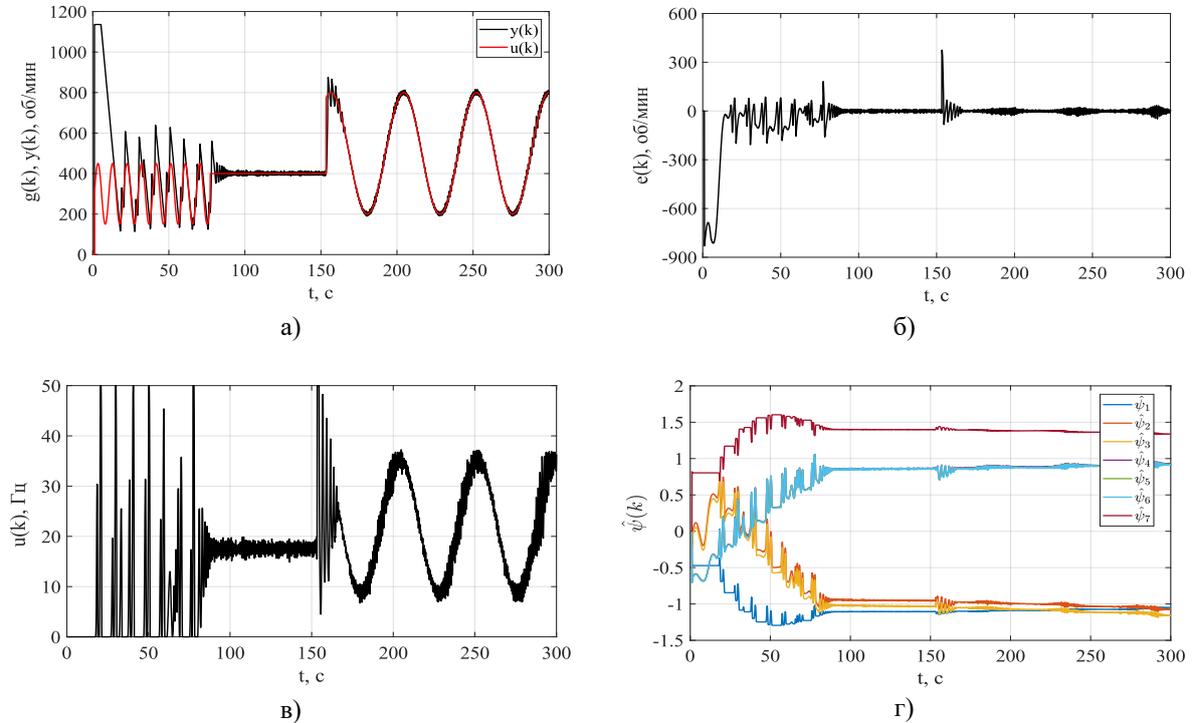


Рис. 4. Графики переходных процессов в системе управления, замкнутой градиентным алгоритмом адаптации: а) сравнение выхода объекта y с задающим воздействием g ; б) ошибка управления e ; в) управляющее воздействие u ; г) настройка параметров $\hat{\psi}$

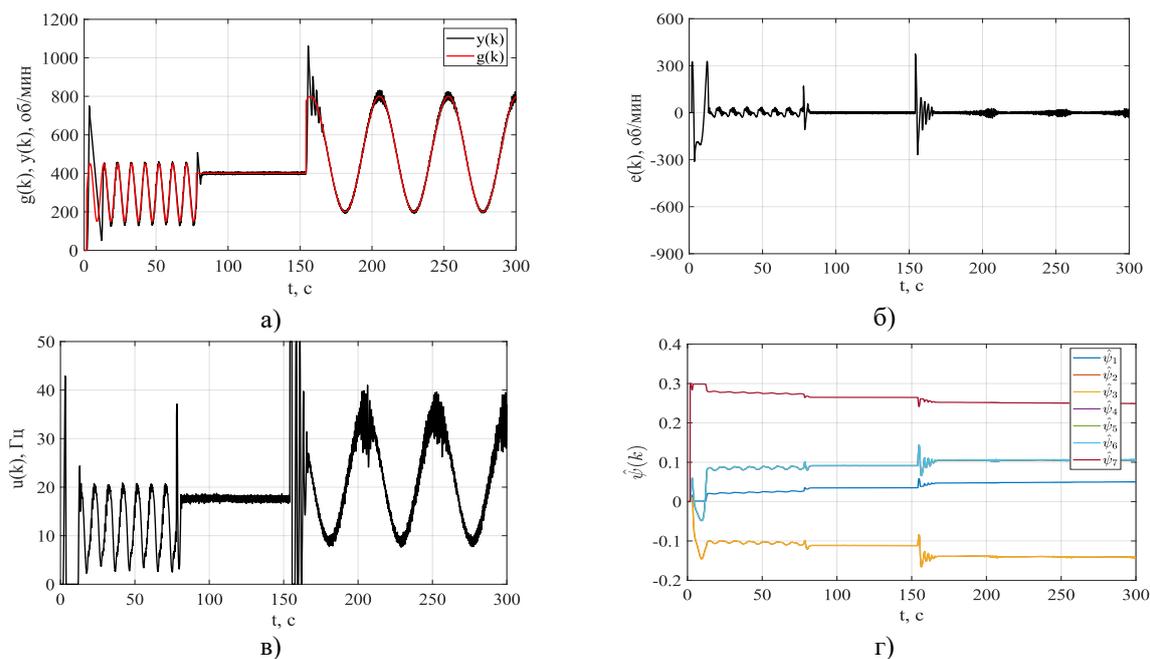


Рис. 5. Графики переходных процессов в системе управления, замкнутой алгоритмом адаптации с ускоренной сходимостью:
а) сравнение выхода объекта y с задающим воздействием g ; б) ошибка управления e ;
в) управляющее воздействие u ; г) настройка параметров $\hat{\psi}$

Заключение

В работе рассмотрена задача адаптивного слежения для класса линейных параметрически неопределенных объектов. Система управления построена на основе градиентного алгоритма адаптации и алгоритма адаптации с ускоренной сходимостью. Полученные алгоритмы обеспечивают ограниченность всех сигналов и асимптотическое стремление ошибки управления к нулю. Осуществлено моделирование алгоритмов и последующая реализация на асинхронном двигателе с частотным преобразователем.

Литература

1. Davison E. The robust control of a servomechanism problem for linear time-invariant multivariable systems. – IEEE Trans. on Automatic Control. 1976. Vol. 21. pp. 25–34.
2. Francis D., and Wonham W. The internal model principle for linear multivariable regulators. – Applied Mathematics and Optimization. 1975. Vol. 2. pp. 170–194.
3. Isidori A., Byrnes C. Output regulation of nonlinear systems. IEEE Trans. on Automatic Control. 1990. Vol. 25. pp. 131–140.
4. Elliot H., Goodwin G. Adaptive implementation of the internal model principle. Proc. of the 23rd IEEE CDC. 1984. pp. 1292–1297.
5. Marino R., Santosuosso G., Tomei P. Robust adaptive compensation of biased sinusoidal disturbances with unknown frequency. Automatica. 2003. Vol. 39. pp. 1755–1761.
6. Nikiforov V. Adaptive servomechanism controller with an implicit reference model. International J. of Control. 1997. Vol. 68. No. 2. pp. 277–286.
7. Marino R., Tomei P., Kanellakopoulos I., Kokotovic P. Adaptive Tracking for a Class of Feedback Linearizable Systems. – IEEE Trans. of Automatic Control. 1994. Vol. 39. No. 6. pp. 1314–1319.
8. Kreisselmeier G. Adaptive Observers with Exponential Rate of Convergence. IEEE Trans. on Automatic Control. 1977. Vol. 22. pp. 2–8.

9. Monopoli R. Model reference adaptive control with an augmented error signal. IEEE Trans. on Automat. Control. 1974. No. 5. pp. 474–484.
10. Feuer A., Morse A.S. Adaptive control of single-input, single output linear systems. – IEEE Trans. on Automatic Control. 1978. Vol. 23. N 4. pp. 557–569.
11. Gerasimov D., Belyaev M., Nikiforov V., Improvement of Transient Performance in MRAC by Memory Regressor Extension. European J. of Control. 2021. Vol. 59. pp. 264–273.

Ларионов Михаил Юрьевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42451,

направление подготовки: 38.04.01 – Экономика,

e-mail: larionoff.mish@gmail.com

Павлова Елена Александровна

Год рождения: 1963

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: ea_pavlova@mail.ru

УДК 338.26

**РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ
РЕГИОНА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ**

М.Ю. Ларионов

Научный руководитель – к.э.н., доцент Е.А. Павлова

Работа выполнена в рамках темы НИР №619404 «Обеспечение коммерциализации и капитализации проектов в области Life Science в ситуации цифровой трансформации инновационных социально-экономических систем».

Аннотация

В работе освещено текущее состояние регионов России и дальнейшее направление их социально-экономического развития в условиях цифровизации. Выявлены особенности социально-экономической политики в условиях кризиса и разработан ряд рекомендаций по передовым практикам способным снизить межрегиональную социально-экономическую разницу регионов и сохранить целостность предлагаемых проектов для дальнейшего масштабирования внутри страны.

Ключевые слова

Цифровизация, передовые практики, инновации, региональное развитие, экономика регионов.

В 2020 году весь мир пережил одно из самых крупных падений экономики за всю историю. Российская Федерация не стала исключением и уже сегодня многие аналитики говорят о сокращении ВВП на 4-5% по итогам года. В 2021 году негативная тенденция продолжится и результаты роста предшествующих лет будут потеряны. Экономический рост ВВП России с 2016 года не превышал 2,5% в год, что считается весьма скромными показателями относительно США и Китая.

Снижение экспорта, уменьшение розничной и оптовой торговли, сжатие целого спектра секторов экономики страны сказалось на доходах всех слоёв населения, что вызвало угрозу не только для экономической активности, но и для социальной устойчивости. Важно также отметить, что из-за снижения экономического движения внутри страны, дефицита финансовых средств, нежелания властей повышать инфляционные ожидания «вертолетными деньгами» и многих других факторов

ограничивают попытки для восстановления предпринимательской и инвестиционной активности.

Во время пандемии, вызванной COVID-19, стало очевидно, что развитие науки, инноваций и цифровых технологий крайне важный и необходимый политический приоритет в ближайшем будущем. Основным течением научно-технологического и инновационного развития в следующее десятилетие является цифровизация. Согласно мнению аналитиков, значительный прирост ВВП России в течение 10 лет возможен за счёт внедрения цифровых проектов. Для этого необходимо уделить внимание следующим аспектам и выполнить ряд условий.

Первым условием является стабильный рост спроса и предложения на цифровые технологии со стороны компаний. В 2020 сервисные сектора такие как, банки, госуслуги, розничная торговля и др. в российской экономике не уступают и даже превосходят по качеству и организации бизнес-процессов зарубежных коллег. Но в промышленной сфере ситуация диаметрально противоположная: доля предприятий, внедривших отдельные цифровые технологии, достаточно высока – около 20-45%, но существует риск качественного отставания в характере и «глубине» цифровизации.

Опросы показывают, что цифровой трансформации российских предприятий во многом препятствуют факторы, неспецифичные для данного процесса, то есть способные препятствовать любым долгосрочным рискованным инвестициям. Речь идет об отсутствии достаточного бюджета (об этом заявляют 59% опрошенных), а также благоприятных и стабильных экономических условий в стране (27%). Среди «специфичных» препятствий – низкая готовность (адаптивность) производства (31% опрошенных), отсутствие проработанной цифровой стратегии (30%), низкий показатель возврата (окупаемости) инвестиций в цифровую трансформацию (22%), недостаток специалистов и компетенций для внедрения цифровых технологий (18%) [1; 39].

Одна из ключевых проблем заключается в том, что интерес российского бизнеса к внедрению новых технологий вообще (не только цифровых) все еще остается довольно низким – как уже отмечено, лишь 19,8% компаний осуществляли технологические инновации в 2018 г. (в странах-лидерах – более 50%) [2].

Чтобы цифровизировать и осовременить производственный сектор экономики РФ, для навязывания конкуренции зарубежным лидерам по качеству и объёму выпуска продукции, а также изменить положение сырьевой структуры в экономике, требуется тотальная перестройка бизнес-процессов на всём жизненном цикле производства. Автоматизация, применение современных цифровых платформ (песочницы, цифровые двойники, интернет вещей, большие данные и цифровые аналитики и т.д.) будут способствовать переходу к цифровой экономике сектора производства. Для этого необходимо привлекать отечественные частные компании малого, среднего и крупного бизнеса с их идеями и проектами, но важно помнить, что цифровая трансформация не будет возможна только за счёт вливания денежных средств в технологические проекты. Таким образом, важно выстроить целую систему контроля дотаций, исполнения и реализации перехода производящих компаний к цифровому формату производства.

Развитие устойчивого спроса и грамотности в сфере цифровых технологий и интернета среди населения страны является вторым условием цифровизации экономики и общества. После перехода граждан на самоизоляцию стало понятно, что огромное количество социально значимых территорий и объектов, особенно сельские местности, не обладают доступом к широкополосному соединению сети Интернет. Студенты и школьники не могли должным образом присутствовать на занятиях, а многие рабочие кадры и вовсе впервые познакомились с цифровой средой для передачи служебной информации из регионов. Владение базовыми цифровыми навыками среди россиян почти в два раза ниже, чем в странах Евросоюза.

Третьим условием необходимо обозначить важную текущую проблему. Так, разработки отечественных компаний не превышают 7-8% (роботы-сборщики, программное обеспечение и др.) на российских промышленностях, большая же доля зарубежного программного обеспечения не способствует полномасштабной цифровизации экономики. Необходимо увеличивать качество и наращивать предложение на российские цифровые технологии не только среди производств РФ, но и среди зарубежных компаний.

Доля отечественного ПО в закупках организаций в 2019 г. составляла менее 25%, критически высока зависимость по тем видам ПО, которые требуют крупных инвестиций в разработку, – системному, промышленному, инженерному. В России сформировался сегмент частных ИТ-компаний, конкурентоспособных не только на внутреннем, но и на зарубежных рынках. Доля отрасли ИТ в ВВП и экспорт услуг в долларовом выражении выросли более чем вдвое за 10 лет.

Налоговое послабление, анонсированное Владимиром Путиным в марте 2020 года, существенно снизит нагрузку по налогу на прибыль (понижение с 20% до 3%) и страховым взносам (понижение с 14% до 7,6%) для ИТ отрасли, с расчетом на увеличение инвестиционных вложений в новые технологические проекты и для найма новых сотрудников.

В то же время Россия обладает неблагоприятным инвестиционным климатом, дефицитом квалифицированных ИТ-специалистов и недостаточно развитыми законодательными ИТ-институтами. Всё это может стать ограничивающими факторами для развития цифрового сектора. Из-за высокой скорости развития технологических компаний и высокой мобильности ИТ-кадров важно нивелировать для них все вышеперечисленные барьеры.

Для этого требуется адаптировать развитие нормативного регулирования для начала качественной работы цифровой экономики, внедрять новые технологии, развивать регулирование в сфере сбора, обработки и оборота данных, формировать доверие к цифровой среде не только у компаний и инвесторов, но и у широких слоёв населения.

В настоящее время трудно прогнозировать глубину и масштабы изменений, которым подвергнутся модели социальной политики. В результате снижения экономической активности, а также объявленных экстренных мер в виде отложенных налоговых платежей (налоговых каникул) неизбежно снижение налоговых поступлений в бюджеты разных уровней, что неминуемо вызовет сокращение объемов средств, которые можно привлечь как в рамках бюджетного финансирования, так и в рамках систем социального страхования.

Пандемический кризис 2020 г. стал своеобразным тестом способности действующих институтов социального государства и инструментов Законодательного Собрания ответить на вызовы резкого увеличения спроса на медицинские услуги и противостоять негативным социальным последствиям периода вынужденного снижения экономической активности вследствие введения карантинных мер. Как на этапе развития кризиса, так и, очевидно, на всем протяжении выхода из него роль государства в преодолении его негативных социальных последствий и корректировки сложившихся направлений перераспределения средств на социальные цели будет возрастать.

При этом, очевидно, изменятся пропорции финансирования социальных нужд и возрастут объемы финансирования здравоохранения и доля государственного участия в этом финансировании, прежде всего за счет прямого бюджетного финансирования возрастающей доли расходов.

Экономическая сфера жизни любого региона в России и так неоднородна по составу функционирующих субъектов, масштабу их экономической деятельности, уровню их развития. Эти различия обусловлены многими факторами: природно-

ресурсным потенциалом, демографической ситуацией, геополитическими и историческими предпосылками.

Указанные факторы определяют разрыв в уровне развития отдельных хозяйствующих субъектов в регионах и разную степень их влияния на экономическую ситуацию на территории их нахождения, что приводит к устойчиво нарастающим социально-экономическим контрастам. Таким образом, многообразие потенциальных возможностей территории трансформируется в многообразие проблем и диспропорций развития. И это неизбежно порождает все новые управленческие вопросы [1].

Взаимодействие современных социально-экономических и политических процессов, проходящих в мире, значительно влияет на отдельные регионы и страны, в частности на российское общество. Управленческие механизмы, которые отражают интересы населения, должны учитывать специфику финансовых, экономических и технологических процессов.

Многие же проблемы в современной российской среде становятся всё более злободневными и без учёта пандемии (в особенности, такие как проблемы демографии, экономического развития, инвестиций, занятости). Имеется безотлагательная необходимость в преобразованиях социальной и политической сфер, приводящих к восстановлению и росту экономики и общественно-социальному развитию регионов. Регионам в современной России необходима государственная поддержка. Укрепление регионов несет огромное социальное, экономическое и политическое значение и выступает как одно из основных условий стабильного экономического и социального развития страны.

Появление новых и креативных рабочих мест, как правило, происходит в наиболее крупных российских городах, имеющих сравнительно высокое качество жизни – Санкт-Петербург, Москва, Новосибирск, Белгород и т.п.

Наличие существенных проблем относительно внутренней доступности российских территорий обосновывает необходимость инвестирования в региональное развитие, так как совершенствование степени доступности территорий приведет к росту региональной конкурентоспособности.

Возможным же путем достижения наилучших результатов социально-экономического развития регионов является использование механизмов и инструментов гибкого государственного управления, ориентированного на результат.

Проектное управление в государственном секторе – один из таких путей, являющийся очередным важным этапом в формировании культуры управления уже сегодня во многих странах мира, в том числе и в России.

На текущий момент в Российской Федерации существует целый пул цифровых платформ, консолидирующих информацию о проектах и практиках, используемых как на уровне отдельных поселений, так и на уровне страны.

Наиболее развитым инструментом, консолидирующим успешные практики устойчивого социально-экономического развития субъектов Российской Федерации, является платформа «Смартека», создаваемая Агентством стратегических инициатив. Ключевая задача «Смартека» – упростить поиск и обмен передовыми практиками социально-экономического развития территорий. Кроме того, проект будет способствовать формированию сообществ активных людей, меняющих жизнь вокруг себя к лучшему вне зависимости от их места работы, должности или социального статуса.

В настоящий момент на ней размещено более 180 практик социально-экономического развития и их количество постоянно увеличивается за счет проведения профессиональных конкурсов и отборов.

Кроме того, на «Смартеке» описаны более 110 решений регионов по преодолению социально-экономических последствий пандемии COVID-19, которые можно перенимать и масштабировать в будущем [3].

Следует отметить, что большинство подобных платформ, содержащих информацию о реализации успешных проектов, практик и управленческих решений на текущий момент ограничены в информации и вследствие этого не могут быть масштабированы и использованы в других отраслях и регионах. Сложность распространения успешных практик по субъектам РФ заключается в отсутствии квалифицированных специалистов в самих регионах, готовых обеспечить внедрение, реализацию и последующий контроль предлагаемых проектов. Также, учитывая сложность региональной специфики, требуются эксперты, обладающие разносторонними знаниями и управленческими компетенциями.

Поэтому сформированы следующие рекомендации по передовым практикам для управления социально-экономическим развитием регионов и целостности жизненных циклов предложенных проектов, способных обеспечить снижение межрегиональной дифференциации на социально-экономическом уровне субъектов Российской Федерации:

- поиск, развитие и отбор успешных практических решений с учётом особенностей отдельно взятого региона;
- составление отдельной выборки проектов и инновационных идей для осуществления их внедрения с оценкой инвестиционной и социально-экономической отдачей, а также с оценкой возможных последствий и стартовых проблем;
- организация сотрудничества на региональном и федеральном уровнях, предпринимателей и общественных организаций на каждом из этапов реализации практик;
- приспособление практик для дальнейшего повсеместного употребления отдельными субъектами и бизнес-проектами с возможностью формирования партнерских отношений на существующих платформах;
- инвестирование и дальнейшее финансирование выбранных проектов на каждом из представленных шагов-рекомендаций с корректно выверенными инвестиционными потоками бюджетных и частных средств.

Распространение передовых и уже опробованных практик, даст возможность достигнуть качественных результатов, сократит издержки в субъектах РФ и позволит быстрее уйти от последствий коронакризиса. Для этого необходимо выделить в первую очередь потенциалы привлечения частных вложений и возможности распространения проектов на другие регионы за счёт систематизированного запуска. Также немаловажным аспектом будет являться взвешенность всех возможных эффектов и рисков для социально-экономического развития территорий страны с учётом инновационных технологий.

Сегодня инновационные и цифровые технологии не стали неотъемлемой частью экономики России, которая продолжает сидеть на «сырьевой игле», а ИТ-сектор пока не приносит заметного вклада в рост ВВП, который до сих пор подвержен колебаниям цен на нефть и газ. Однако ближайшее десятилетие будет являться показательным, так как пандемия 2020 года стала отличным толчком для изменения текущего положения дел для внедрения цифровизации и инновационных предложений в российский бизнес и общество в целом.

Литература

1. Кузьминов Я.И. Россия в новую эпоху: выбор приоритетов и цели национального развития. М.: Издательский дом Высшей школы экономики. 2020. 112 с.

2. Ефремова Н.А., Игнатова Г.В. Особенности цифровизации российских предприятий в современных условиях // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2018. № 3. С. 20-22.
3. ВШЭ [Электронный ресурс] / Кейсы поддержки социально-экономической стабильности в регионах. Режим доступа: https://region.hse.ru/anti-crisis_2. (дата обращения 15.03.2021).

Литвинова Наталья Александровна

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U42718,

направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,

e-mail: hinode-nata@mail.ru

Бурцев Даниил Сергеевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.с.-х.н., преподаватель,

e-mail: forest1641@gmail.com

УДК 334.024

**ТРАНСФОРМАЦИЯ СКВОЗНЫХ ПРОЦЕССОВ
ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ЦИФРОВИЗАЦИИ В СЕКТОРЕ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ**

Н.А. Литвинова

Научный руководитель – к.с.-х.н., преподаватель Д.С. Бурцев

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

Аннотация

В работе проанализированы и систематизированы процессы получения и передачи знаний в секторе науки и образования в условиях цифровой трансформации. Проведена оценка влияния ключевого сквозного процесса, междисциплинарных исследований в вузах, на инновационное развитие национальной экономики. Разработаны критерии и показатели цифровой трансформации сквозных процессов получения и передачи знаний в секторе науки и образования. На основе экспертной оценки даны практические рекомендации по цифровой трансформации исследуемых процессов.

Ключевые слова

Сквозной процесс, сквозные технологии, трансфер знаний, цифровая трансформация, междисциплинарность.

Получение и передача знаний в секторе науки и образования являются основой инновационного развития государства, которое становится актуальной задачей современности в условиях цифровой трансформации общества и перехода к Индустрии 4.0. По субиндексу Глобального инновационного индекса «Результаты в области знаний и технологий» Россия занимала в 2020 году 50 место в рейтинге из 131 страны [1]. В России отставание в этой сфере обусловлено устаревшими подходами к взаимодействию науки с предприятиями. В связи с этим важной задачей в секторе науки и образования становится внедрение механизмов трансфера технологий, то есть передачи знания, позволяющие направить результаты научных исследований в область практического применения. Кроме того, в отечественных вузах в настоящее время недостаточно распространены междисциплинарные исследования. Однако современная действительность показывает, что инновации рождаются именно на стыке различных научных областей, например, экономики и социологии, психологии и менеджмента,

экологии и медицины и т.д. В США, Японии, Латинской Америке междисциплинарные исследования приобретают различные формы. Что касается Стэнфордского университета, то там междисциплинарные исследования строятся по проектному типу, создаются временные структурные единицы, преподаватели привлекаются из основного штата на определенный срок [2]. В Японии создаются целые институты, в Латинской Америке институциональные формы междисциплинарных команд в вузах очень различаются [3, 4]. В России междисциплинарные структуры в вузах только начинают зарождаться. В качестве примера можно привести «Школу перспективных исследований» (SAS) Тюменского государственного университета, которая открылась в 2017 году. Вузы, научные учреждения и их инфраструктура, выступая базовой основой инновационного развития, требуют развития сквозных процессов внутри университетов, сетевых взаимодействий, а также участия государства и предпринимательства в процессах получения и передачи знаний. В настоящее время существенный потенциал имеет цифровизация для повышения уровня коммуникации между студентами, преподавателями, учеными, между представителями различных секторов общества.

Результаты научного исследования, определяющие научную новизну, представлены 3 элементами:

1. Предложена систематизация процессов получения и передачи знаний в секторе науки и образования.
2. Проведена оценка влияния междисциплинарных исследований в вузах на инновационное развитие национальной экономики.
3. Разработаны критерии и показатели трансформации сквозных процессов получения и передачи знаний в секторе науки и образования.

В результате проведенного анализа были выделены основные процессы получения и передачи знаний в секторе науки и образования, среди которых:

1. Создание базовых кафедр, образовательная деятельность вузов.
2. Организация междисциплинарных исследований.
3. Проведение конференций, форумов и других мероприятий для обмена знаниями.
4. Гранты на исследования в вузах.
5. Продажа патентов и лицензирование.
6. Создание малых инновационных предприятий.
7. Модель открытых инноваций.
8. Создание исследовательских парков, технопарков и инкубаторов (инфраструктуры, обеспечивающей связь исследовательского центра и бизнеса).
9. Выполнение контрактного НИОКР, различные формы аутсорсинга бизнес-идей.

Основными предпосылками проблем в сфере получения и передачи знаний, трансфера технологий становятся следующие факторы: отсутствие налаженной коммуникации между наукой и бизнесом; отсутствие обратной связи между государством, наукой и бизнесом; отсутствие механизмов для формирования заказа на инновации со стороны бизнеса; отсутствие независимых механизмов определения приоритетных направлений исследований и другие. Данные факторы указывают на проблемы при реализации сквозных процессов, то есть процессов, проходящих через организации (подразделения), имеющие различную подчиненность, а также при взаимодействии различных секторов: государства, науки, бизнеса. Важно отметить, что в эпоху перехода к цифровой экономике Индустрии 4.0 ведущую роль приобретают сквозные процессы, сквозные технологии, междисциплинарность, так как именно на стыке различных научных областей рождаются инновации. Кроме того, на правительственном уровне вводится термин сквозных технологий, которые принято считать основой будущего инновационного развития страны. Под сквозными

технологиями понимаются технологии, которые одновременно могут применяться в разных отраслях и сферах жизни общества, а их выгодами может воспользоваться не только бизнес, но и общество, и государство.

В ходе исследования применялись такие теоретические подходы к изучению процессов получения и передачи знаний в секторе науки и образования, как: системный подход, процессный и проектный подходы. Чтобы выявить сквозные процессы, понять как они устроены, где наблюдаются проблемы взаимодействия, необходимо их проанализировать и систематизировать. Вероятно, не все процессы получения и передачи знаний требуется анализировать и изучать подробно, а только те, которые являются наиболее актуальными и при реализации которых возникают наибольшие сложности [5]. На рис. 1 представлен алгоритм выявления ключевых сквозных процессов, составленный на основе применения процессного подхода к управлению организациями.

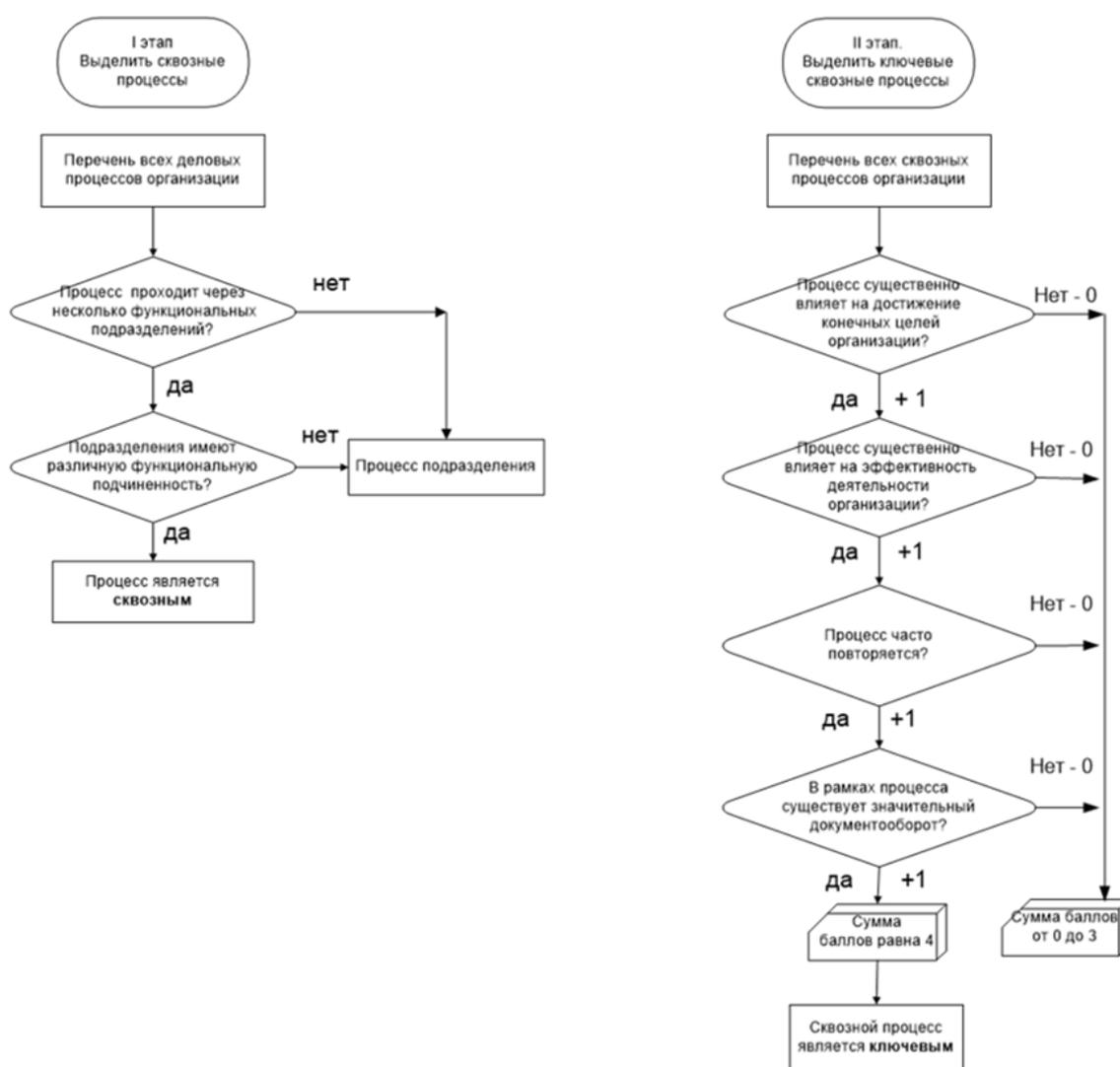


Рис. 1. Алгоритм выявления ключевых сквозных процессов

В ходе применения предложенного алгоритма выявлены ключевые сквозные процессы получения и передачи знаний в секторе науки и образования:

- междисциплинарные исследования в вузах;
- продажа патентов и лицензирование;
- выполнение контрактных НИОКР.

Для подробного исследования был выбран процесс организации междисциплинарных исследований в вузах. Была составлена выборка по количеству статей, опубликованных в одной из крупнейших баз научных публикаций Web of Science, относящихся к междисциплинарным наукам. Статьи принадлежат ученым из 173 вузов, которые входят в международный рейтинг «QS», из 46 стран. Ранжирование стран по инновационному развитию было проведено на основании субиндекса «Результаты в области технологий» Глобального инновационного индекса.

Коэффициент корреляции между двумя рядами данных выборки (место в рейтинге инновационного развития и процент междисциплинарных публикаций) составил $r = -0,5$, корреляция умеренная, результаты исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка влияния междисциплинарных исследований в вузах на инновационное развитие

Число вузов из рейтинга «QS» в выборке	Число стран в ГИИ по субиндексу «Результаты в области технологий»	Процент междисциплинарных публикаций вуза в базе Web of Science	Коэффициент корреляции
173	От 1 до 50 места	Min=0,67% Max=7,7%	R= - 0,501

Отрицательное значение коэффициента корреляции обусловлено тем, что чем больше процент междисциплинарных публикаций, тем меньше значение в рейтинге инновационного развития, то есть тем выше позиция страны. Была проведена проверка статистической гипотезы о принадлежности обеих выборок одной генеральной совокупности с помощью t-критерия или критерия Стьюдента, табл. 2.

Таблица 2

Проверка статистической гипотезы

Коэффициент корреляции	t-критерий Стьюдента	Значение t – критерия при уровне значимости $p=0,05$	Вывод
- 0,501	2,571	1,975	Гипотеза верна

Значение t – критерия при уровне значимости $p=0,05$ меньше критического, коэффициент корреляции является значимым, следовательно гипотеза верна. Данный результат может свидетельствовать о том, что организация междисциплинарных исследований связана с инновационным развитием национальной экономики.

Следующей задачей исследования было формирование показателей и критериев трансформации сквозных процессов. Показатели были выбраны на основе мониторинга эффективности деятельности вузов России, который проводится Российским технологическим университетом ежегодно. Критерии трансформации сквозных процессов были назначены на основе показателей университетов – бенчмарков (5 пилотных университетов, отобранных для разработки и апробации модели цифрового университета): Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, НИУ ВШЭ, НИУ ИТМО, НИУ ТГУ, УрФУ.

Для обоснованной разработки практических рекомендаций был проведен анализ мнений экспертов – участников ежегодного образовательного форума «Университет будущего». Основные тенденции цифровой трансформации сектора науки и образования в 2021 году эксперты сформулировали следующим образом: COVID-19 как главный фактор цифровой трансформации, обратный процесс, «откат» цифровой трансформации, сдерживающая роль государства, геймификация образовательного процесса, переход к субъект-субъектным отношениям, нехватка методической помощи, сетевые формы взаимодействия между вузами.

С учетом экспертных мнений была разработана модель трансформации процессов в секторе науки и образования, которая приведена на рис. 2.

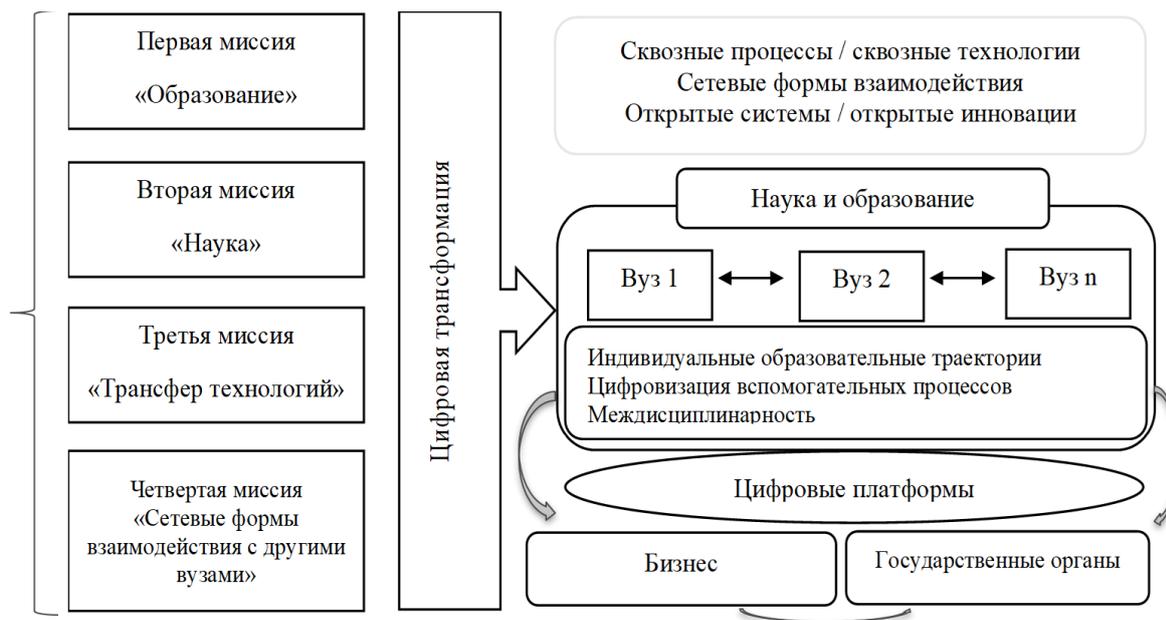


Рис. 2. Модель трансформации процессов в секторе науки и образования

Выделены четыре основные миссии университетов: образование, наука, трансфер технологий и сетевые формы взаимодействия. Ведущую роль в эпоху цифровой трансформации начинают играть сквозные процессы, сетевые формы взаимодействия между участниками. Инновационное развитие национальной экономики обеспечивается взаимодействием трех секторов: науки, бизнеса, государственных органов власти.

Практические рекомендации по цифровой трансформации процессов получения и передачи знаний в секторе науки и образования разработаны с учетом экспертных мнений и полученных данных по результатам исследования. Процесс проведения научного исследования в условиях цифровой трансформации приведен на рис. 3.

Перечислим практические рекомендации для трансформации процесса организации междисциплинарных исследований:

1. Создание цифровых платформ для научных коммуникаций и подбора междисциплинарной команды.
2. Организация специальных междисциплинарных подразделений в вузах по модели Стэнфордского университета.
3. Обеспечение открытого доступа к информации о проводимых исследованиях на сайтах вузов.
4. Создание центров помощи в переводе авторам научных публикаций.
5. Заключение соглашений о сетевом сотрудничестве с другими вузами.

Практическая значимость исследования заключается в сформированной модели и

разработанных рекомендациях по трансформации процессов получения и передачи знаний в секторе науки и образования для повышения уровня развития национальной инновационной системы, которые могут использоваться вузами.



Рис. 3. Процесс организации междисциплинарных исследований в условиях цифровой трансформации

Литература

1. Глобальный инновационный индекс 2020 «Global Innovation Index (GII) 2020: Who Will Finance Innovation?» [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://www.globalinnovationindex.org> (дата обращения: 11.05.2021).
2. Yang Liu, Albats Ekaterina, Etkowitz Henry. «Interdisciplinary organization as a basic academic unit?» // Industry and Higher Education. 2020. V.35 (3). P.173-187.
3. Yonezawa Akiyoshi, Hammond Christopher D., Brotherhood Thomas. «Evolutions in knowledge production policy and practice in Japan: a case study of an interdisciplinary research institute for disaster science» // Journal of higher education policy and management. 2020. V.42. P. 230-244.
4. Bianca Vienni Baptistaa, Federico Vasenb, and Juan Carlos Villa Sotod. «Interdisciplinary Centers in Latin American Universities: The Challenges of Institutionalization» // Higher Education Policy. 2018. V.32(3). P.461-483.
5. Литвинова Н.А., Бурцев Д.С., Гаврилюк Е.С. Управление сквозными процессами получения и передачи знаний в секторе науки и высшего образования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 1(40). С. 112-120.

Лихолитов Дмитрий Сергеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы № W42054,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная,

криогенная техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: likhdima@yandex.ru

Зайцев Андрей Викторович

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: zai_@mail.ru

УДК 621.59.01

**ВЫБОР МЕТОДИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ C2+ И C3+ КОМПОНЕНТОВ
ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ЗАВОДЕ СПГ**

Д.С. Лихолитов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Зайцев

Работа выполнена в рамках темы НИР №620149 «Усовершенствовании ожижителя природного газа».

Аннотация

В работе рассмотрены актуальность извлечения этана и пропана из природного газа при его подготовке к сжижению, где можно использовать этан, пропан и его производные, методы извлечения этана и пропана из природного газа. Был проведен сравнительный анализ двух низкотемпературных методов. Эксперимент проводился с применением программы Aspen HYSYS.

Ключевые слова

Природный газ, методы извлечения, этан, пропан, дроссель, холодильник.

В современной действительности природный газ заслуженно получил звание «топлива 21 века», так как его потребительские свойства имеют намного больше преимуществ по сравнению с нефтью и нефтепродуктами и к тому же запасы газа значительно богаче. Однако практически все его новые месторождения расположены в отдалённых районах нашей огромной страны, что сильно усложняет строительство экономически выгодных протяжённых магистральных трубопроводов. Поэтому сейчас большее внимание специалистов уделяется производству сжиженного природного газа. Природный газ, искусственно сжиженный путем охлаждения, сегодня является одним из самых перспективных, безопасных, не горючих, экологически чистых источников энергии [1].

Перед процессом сжижения газа необходима его предварительная очистка от вредных серосодержащих соединений, углекислого газа, влаги, а также от фракции тяжёлых углеводородов. Многие месторождения в России содержат природный газ, который обогащён лёгкими углеводородами, алканами, с общей молекулярной формулой C_nH_{2n+2} – этаном и пропаном, которые являются ценнейшими дешёвыми источниками сырья для их дальнейшей глубокой газохимической переработки. С этой целью необходимо исследовать, разрабатывать и внедрять инновационные эффективные

технологические схемы глубокого извлечения этана и пропана из сжиженного природного газа на заводах СПГ, ориентированных на дальнейшую их химическую переработку для получения синтетических полимерных высокомолекулярных углеводов с высокой добавленной стоимостью.

Увеличение объёма извлечения лёгких углеводородов минорных фракций этана C₂+ и пропана C₃+ из природного газа позволит Российской Федерации быть конкурентоспособной на мировом рынке газа (особенно в этот непростой санкционный период), продавать продукты переработки СПГ по более высоким ценам, нежели природный газ, и развивать внутренний рынок продукции газохимической промышленности, что будет в целом способствовать развитию экономики РФ.

При переработке углеводородов в качестве продуктов получают промышленные газы, которые затем используются в качестве сырья в различных технологических процессах. Этановая фракция используется для пиролиза, а также как хладагент на установках для депарафинизации масел. Пропановая фракция также используется как сырьё для пиролиза, как бытовой сжиженный газ и в качестве хладагента для многих технологических установок.

Чтобы извлечь из природного газа такие углеводороды, как этан, пропан, бутан и выше, используется процесс отбензинивания природного газа [2].

Углеводороды извлекают на газоместорождениях и газоперерабатывающих заводах. Первоначально, этот процесс проводили методом сжатия (компрессионным методом). В этом процессе газ сжимается до давления от 1 до 4 МПа, а затем охлаждается до температуры от -20 °С до -30 °С. Чтобы получить сжиженный газ (пропановая и бутановая фракция), извлечение углеводородов стали проводить сначала методом масляной, а затем низкотемпературной абсорбции (этот процесс проходит при давлении от 7 МПа и температуре до -45 °С). В качестве абсорбента в этом процессе используются керосиновые фракции, при которых степень извлечения пропана выше и составляет от 80 % до 95 %. Для того, чтобы извлечь углеводороды из тощих природных газов и чтобы извлечь остатки пропана и высшие фракции, в схеме с низкотемпературной абсорбцией может быть использована адсорбция на активированном угле.

В связи с вышеизложенным далее выполнен расчет процесса низкотемпературной сепарации, являющегося современным и наиболее эффективным методом. Состав газа выбран соответствующим составу природного газа месторождений, близких к Ямал СПГ.

В табл. 1 представлены исходные данные.

Таблица 1

Исходные данные

Состав газа	Мольное содержание компонента	Параметры газа	Значение
Азот	0,0019	Давление газа на входе, бар	40
СО ₂	0,0094		
Метан	0,8324	Температура газа на входе, °С	16
Этан	0,0665		
Пропан	0,0206	Расход газа, кмоль/час	120,70
n – Бутан	0,0346		
i - Бутан	0,0346		

Расчеты были проведены в программе Aspen Hysys [3]. Эта программа является самой известной и доступной в нефтегазовой отрасли.

Рассмотрим первую схему низкотемпературной сепарации с дросселем, приведенную на рис. 1.

Сырьевой поток природного газа попадает в первый сепаратор, который отделяет присутствующие в газе жидкие компоненты. Потом газ первично охлаждается в газовом теплообменнике. После охлаждения в теплообменнике газ поступает в дроссель, где охлаждается еще раз для превращения в жидкость тяжелых углеводородов. При этом образуется газ, пригодный к транспортировке. После охлаждения в дросселе, поток идет в низкотемпературный сепаратор. После сепарации осушенный холодный газ снова идет в газовый теплообменник и затем поступает потребителю, в то время как отделенный конденсат смешивается с жидкостью из первичного сепаратора. Вся смесь подается в ректификационную колонну депропанации на разделение, после чего появляется жидкая фракция с определенным содержанием пропана.

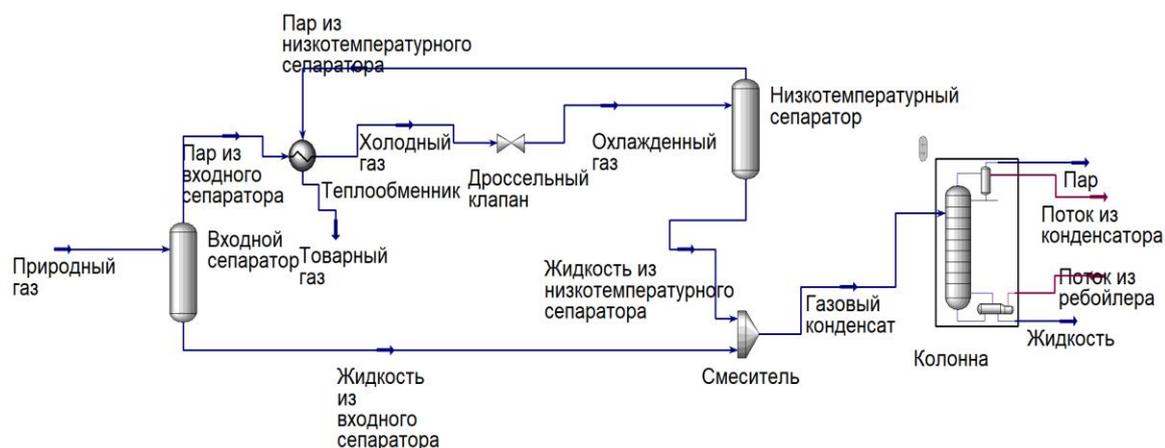


Рис. 1. Расчетная схема низкотемпературной сепарации природного газа с дросселем

Также рассмотрим схему низкотемпературной сепарации с холодильником (рис. 2).

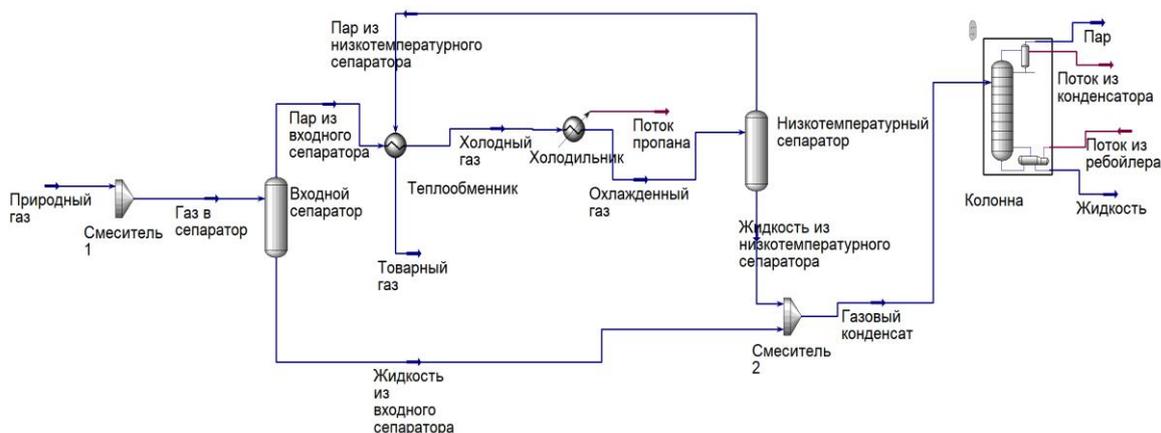


Рис. 2. Расчетная схема установки низкотемпературной сепарации природного газа с холодильником

Поток из смесителя поступает во входной сепаратор, в котором отделяется жидкость. Газ из сепаратора направляется в теплообменник, где захлаживается холодным газом. Для охлаждения до определенной температуры газ направляется в испаритель пропана. В холодильнике достаточно тяжёлые углеводороды конденсируются. Холодный поток затем разделяют в низкотемпературном сепараторе. Сухой холодный газ из низкотемпературного сепаратора подается обратно в теплообменник и направляется на реализацию. Жидкий конденсат выходит из низкотемпературного сепаратора, смешивается с жидкостью из входного сепаратора. Полученная смесь перерабатывается в колонне депропанизаторе для получения кубового продукта с определенным содержанием пропана.

Было установлено, что в схеме с холодильником (рис. 2) мольные доли этана и пропана в товарном газе меньше, нежели в схеме с дросселем (рис. 1), что свидетельствует о более полном их извлечении. Результаты извлечения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение мольных долей компонентов товарного газа

Состав газа	Мольные доли в природном газе	Мольные доли в товарном газе (рис. 1)	Мольные доли в товарном газе (рис. 2)
Метан	0,8324	0,8650	0,8905
Этан	0,0665	0,0649	0,0612
Пропан	0,0206	0,0171	0,0131

Для увеличения количества этана в конденсированной жидкости было решено смоделировать систему с применением детандера на выходе из входного сепаратора.

На рис. 3 представлена схема процесса низкотемпературной сепарации природного газа с детандером или схема деметанизации.

Природный газ, подаваемый на установку, охлаждается в холодильнике. Затем, он попадает во входной сепаратор, откуда пар отправляется в детандер, а жидкость в дроссель. Пар попадает в низкотемпературный сепаратор, где он превращается в жидкость и попадает в колонну деметанизации. Жидкость из дросселя также попадает в колонну. Из колонны в итоге выходит жидкость с содержанием этана.

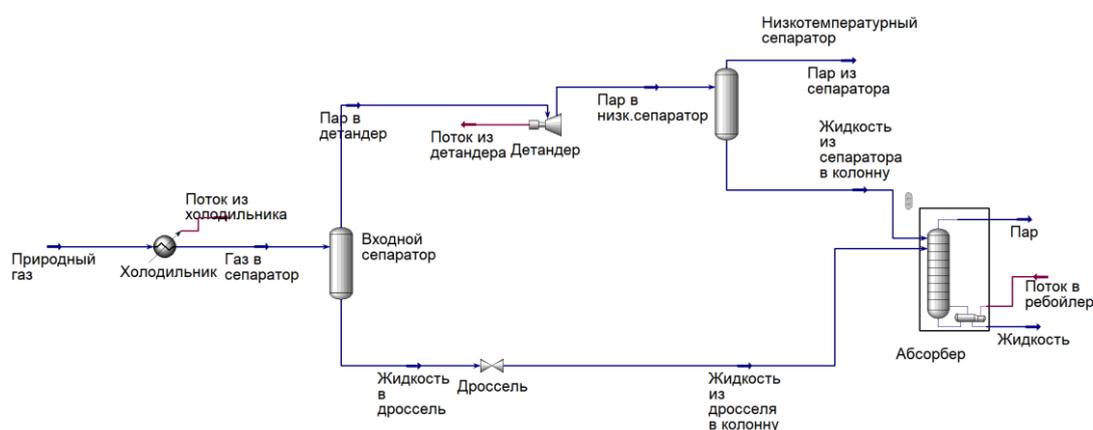


Рис. 3. Расчетная схема установки низкотемпературной сепарации природного газа с детандером или схемы деметанизации

По результатам можно сделать вывод, что мольные доли этана в паре стали меньше, а в жидкости по сравнению с природным газом увеличились. Также, повысилось количество метана в паре из колонны.

С целью уменьшения объема пропана в природном газе и увеличения содержания фракций этана и пропана (фракций C_{2+} и C_{3+}) для их дальнейшей переработки было решено смоделировать процесс низкотемпературной конденсации с применением двойного холодильного цикла.

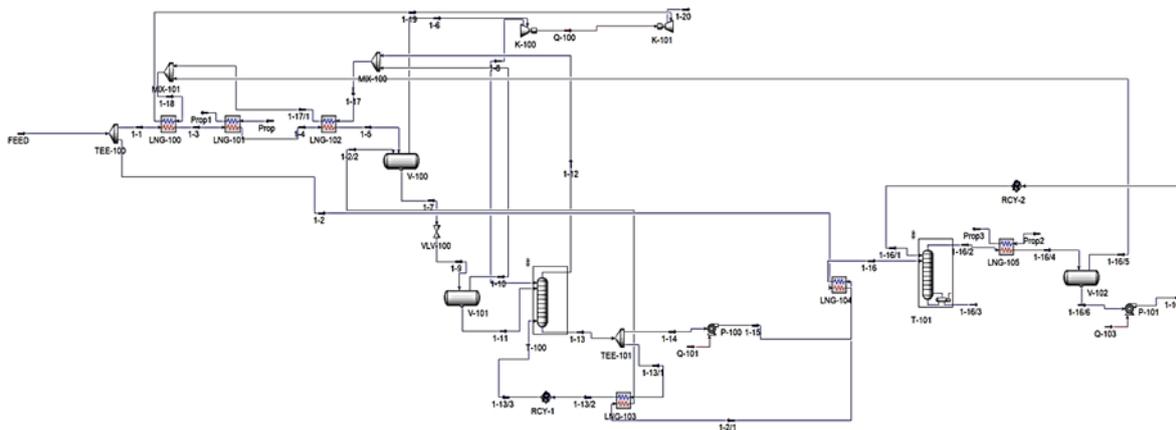


Рис. 4. Расчетная схема низкотемпературной конденсации с двойным холодильным циклом: LNG-100, 101, 102, 103, 104, 105 – пропановые охладители; TEE – разделители потоков; MIX – смесители потоков; K-100, 101 – турбодетандер, компрессор; V-100, 101, 102 – сепараторы; T-100, 101 – колонны разделения; P-100, 101 – насос; RCY-1, 2 – переработка

Схема процесса изображена на рис. 4. После того, как газ осушается до значения точки росы в $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, он разделяется на два потока. Первый поток подвергается охлаждению с помощью холодного сухого газа в теплообменнике при давлении 5,3 МПа. Затем, он охлаждается парами пропана и снова холодным сухим газом. Кроме того, часть газа конденсируется и поступает в сепаратор с температурой от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$. Второй поток газа после охлаждения в теплообменниках и при такой же температуре и давлении, также поступает в сепаратор.

После сепаратора конденсат через дроссель попадает в другой сепаратор. В нем давление снижается до 2,45 МПа и при этом происходит понижение температуры до значений от $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также все углеводороды от пропана и выше превращаются в жидкость.

Метан и этан в качестве сухого газа направляются из верхней секции сепаратора в теплообменники, где нагреваются. Газ из верхней секции сепаратора направляется в турбодетандер, где происходит увеличение его давления до 2,4 МПа. При этом температура газа уменьшается с $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и часть газа подвергается конденсации. Работа, выполняемая турбодетандером, используется для вращения двигателя компрессора, который установлен с турбодетандером на одном валу.

Смесь, состоящая из газа и конденсата, поступает в верхнюю часть колонны деметанизации. Эта колонна состоит из шести тарелок, она используется для удаления основной части метана из конденсата, который поступает из сепаратора. Вверху колонны температура составляет $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, внизу $-58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Газы (обычно метан) из верхней части колонны вместе с сухим газом, который поступает из сепаратора, направляется в теплообменники, где поток отдает свой холод сырьевому потоку, при этом температура

повышается от $-84\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Далее происходит сжатие в компрессоре, при этом давление повышается от 2,2 МПа до 2,5 МПа, после чего они уходят с установки.

При помощи циркуляции части остатка потока через теплообменник, в нижнюю часть колонны подаётся тепло. С помощью насоса остаток потока из колонны подаётся в колонну дезанизации. В ней удаляется большая часть этана. Вверху колонны температура составляет от $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, внизу – $107\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление составляет 3,3 МПа, количество тарелок в колонне составляет 41. Пары из верхней части колонны подвергаются охлаждению в пропановом холодильнике, частично конденсируются, и при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ поступают в емкость. Конденсат из емкости насосом подается на орошение колонны, сухой газ из верхней части емкости смешивается с сухим газом после теплообменника. Из нижней части колонны отводится нестабильный газовый бензин. Часть его возвращается в колонну через масляный подогреватель, чтобы поддерживать нужную температуру.

По схеме видно, что мольные доли пропана из товарного газа (поток 1-20) уменьшились. В потоках 1-6 и 1-8 увеличилось содержание метана, количество этана и пропана понизилось. Эта схема пригодна для выделения этана и пропана из природного газа для больших производств.

Таким образом, все рассмотренные варианты схем газораспределения могут быть использованы при выделении пропановой и этановой фракции из природного газа. Предпочтение той или иной схеме отдается в зависимости от местных условий расположения установки.

Литература

1. Федорова Е.Б. Современное состояние развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии, оборудование / Федорова Е.Б. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2011. 159 с.
2. Акимова И.Ю. Экспорт российского природного газа: проблемы и перспективы / Акимова И.Ю. М.: Олимп-Бизнес. 2005.
3. Aspen HYSYS. Руководство пользователя. Aspen Technology, Inc. 2010. 28 с.

Лихтенберг Анкель Мари

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N42515с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: bel.kavalini@yandex.ru

Волошина Наталия Викторовна

Год рождения: 1976

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент ФБИТ,

e-mail: nataliv@yandex.ru

УДК 004.72

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН**

А.М. Лихтенберг

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.В. Волошина

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

Аннотация

В работе рассмотрена проблема обеспечения целостности в сети интернета вещей с помощью технологии блокчейн, разработана математическая модель, позволяющая оценивать по введённой классификации возможность устройства на корректную работу с технологией блокчейн за приемлемое время, приведён пример применения построенной модели.

Ключевые слова

Интернет вещей, технология блокчейн, децентрализованные сети, целостность информации, умный дом, информационная безопасность.

Введение

Современного человека невозможно представить без гаджетов: по статистике, с каждым годом количество устройств интернета вещей растёт, а с ним растёт и внедрение вредоносного ПО в такие устройства [1]. В сети вещей вопросы целостности передаваемой информации стоят особенно остро, так как её нарушение может повлечь за собой необратимые последствия. Последствиями атак на целостность информации в интернете вещей могут стать сбои систем, способные остановить производство или заставить потребителей услуг перейти к конкурентам, стать причиной получения неверной или несвоевременной информации. Одним из решений данной проблемы исследователи видят технологию блокчейн [2].

Внедрение технологии блокчейн в интернет вещей является сложной задачей из-за больших различий в конфигурации и технических характеристиках. Исследователи по-разному решают вопросы возможности использования технологии блокчейн в сети вещей: предлагаются переносы вычислений на облако или на один мощный узел в сети, облегчение технологии блокчейн путём упрощения вычислений или отказа от механизма

консенсуса [2]. Перенос вычислений на один более мощный узел или на облако превращают сеть в централизованную, что противоречит определению сети ячеистой топологии, которой является интернет вещей, и также не позволяет обеспечивать требования отказоустойчивости в некоторых концепциях. Облегчение технологии блокчейн является более распространённым способом, однако в некоторых концепциях интернета вещей излишнее облегчение или отказ от механизма консенсуса может повлечь за собой потерю доверия потребителя.

Определение классификации устройств

Так как каждая конфигурация сети индивидуальна и создаётся для разных целей, предлагается ввести классификацию устройств [3] интернета вещей на мощные, среднемощные и маломощные, где мощные будут работать с технологией блокчейн, а информация со среднемощных и маломощных устройств будет передаваться на мощные для записи информации в блоки.

Для снижения нагрузки предлагается подсоединение среднемощных и маломощных устройств к определённому мощному устройству, которое может быть как устройством-концентратором, специально предназначенным для сбора информации с различных датчиков, так и устройством, выполняющим определённые задачи помимо сбора данных, технические характеристики которого будут позволять корректную работу с технологией блокчейн.

Для каждого класса устройств необходимы свои меры защиты от угроз целостности передаваемой в сети информации: способы зависят от технических характеристик устройства. Также следует учитывать масштабы системы: в случае, если она достаточно мала – например, в концепции «умный дом» – следует обратить внимание на другие возможности обеспечения целостности информации, например, на электронные подписи. В случаях, когда сеть устройств велика, и любые лица, не связанные с сетью напрямую, должны иметь право проверки подлинности информации, использование технологии блокчейн позволит сохранять целостность информации в сети.

Построение математической модели

Для отслеживания возможности корректной работы технологии блокчейн построим математическую модель, в которой определим требования к устройствам и взаимосвязь между требованиями. Определим ограничения на каждое мощное устройство и также ограничения на сеть устройств.

Требования к устройствам:

1. Наличие необходимого количества оперативной памяти для хранения всей цепи блоков.
2. Наличие вычислительной мощности, достаточной для операции хэширования полученной информации и составления блока менее, чем за приемлемую единицу времени.
3. Наличие сетевой карты для обмена информацией с устройствами.
4. Питание, достаточное для нахождения в сети определённое количество времени.

Требования к сети:

1. Пороговое значение количества мощных устройств в сети.
2. Порог по количеству подключаемых маломощных устройств к мощным (дополнительная нагрузка на оперативную память и сетевую карту, вычисляется исходя из количества передаваемой информации от маломощного устройства и частоты передаваемой информации).
3. Резервирование устройств с целью обеспечения непрерывного получения собираемой информации в случае, если необходимо обслуживание устройств.

Определим способы оценки обозначенных требований.

Оперативная память мощного устройства. Пусть i_x – количество бит результата проведения хэш-функции, традиционно 128, 256 или 512 бит. В составе одного блока блокчейна находится два результата хэш-функции: хэш-функция, полученная от предыдущего блока, и хэш-функция, являющаяся результатом вычисления дерева Меркла. Обозначим i_{nonce} – количество бит вычисляемого случайного значения Nonce; i_t – количество бит информации о временной метке; i_{data} – количество бит информации, заключаемой в блок. Так как существующие решения по внедрению технологии блокчейн в сеть вещей предлагают использовать облегчённую версию технологии блокчейн и отказаться от вычисления Nonce, водится следующее обозначение i_{nonce}^* , показывающее необязательность вычисления в случае принятия решения об отказе от этого вычисления.

Таким образом, по формуле 1 можно оценить вес цепи $V_{ц}$, состоящей из n блоков:

$$V_{ц} = n(2i_x + i_{nonce}^* + i_t + i_{data}) - i_x, \quad (1)$$

где $2i_x + i_{nonce}^* + i_t + i_{data}$ представляет собой вес одного блока $V_б$.

Информация, заключаемая в блок, представляет собой совокупность данных, полученных как с мощного устройства, так и со среднemosных и маломосных устройств, привязанных к мощному устройству. Частота образования блоков зависит от частоты сбора информации с устройств и настроек технологии блокчейн, которые могут меняться в зависимости от сценариев применения. Таким образом, объёмы оперативной памяти, затрачиваемые на работу устройства с технологией блокчейн, можно оценить при помощи формулы 2:

$$V_{OЗУ} = V_{ц} + V_{выч} + V_{сис} + V_{к}, \quad (2)$$

где $V_{выч}$ – объёмы оперативной памяти, затрачиваемые на вычисления, а $V_{сис}$ – объёмы оперативной памяти, затрачиваемые на поддержание корректной работы операционной системы, $V_{к}$ – объёмы контейнеров данных, получаемых с маломосных устройств. Данные параметры определяются по нагрузочным тестированиям. Можно предварительно обозначать пороговое процентное соотношение веса предполагаемой цепи блоков к общему объёму оперативной памяти устройства. Согласно исследованиям [4], при работе устройства в среднем остаётся незанятой 30% оперативной памяти.

Вычислительная мощность мощного устройства. Нагрузку на процессор осуществляет не только вычисления для новых блоков в сети и верификация существующих блоков, но и поддержание работоспособности системы, осуществление обработки пакетов данных, полученных с маломосных устройств. Характеристика любого процессора, такая как частота проведения операций в секунду, количество ядер, тип процессора и тому подобное указывается в формуляре к процессору. Однако оценка конкретной операции на время её выполнения может быть грамотно оценена только с помощью нагрузочного тестирования, так как инструкции выполняются с разной скоростью в зависимости от затрачиваемых данных и микрокода процессора.

Сетевая карта мощного устройства. В любой сети важна как обработка информации узлами, так и скорость передачи информации между узлами. Таким образом, характеристика сетевой карты по скорости передачи информации $v_{пер}$ должна удовлетворять условию передачи веса одного блока $V_б$ за условную приемлемую в рамках сценария использования интернета вещей единицу времени t (формула 3):

$$v_{пер} > \frac{V_б}{t}. \quad (3)$$

Необходимо также рассматривать условие приёма информации на мощных устройствах $v_{пр}$, ведь информация, полученная устройством с маломощных устройств, прикрепленных к нему, должна быть максимально быстро доставлена. Условие приёма также должно быть больше, чем контейнер данных, отправляемых маломощным устройством, за условную приемлемую единицу времени (формула 4):

$$v_{пр} > \frac{V_k}{t}. \quad (4)$$

Питание мощного устройства. Оценка затрат питания устройства без нагрузочного тестирования на устройство невозможна. Однако, можно учитывать время работы устройства в активном (нагруженном) режиме, указанное в формуляре устройства, которое должно удовлетворять сценарию, в котором устройство будет использоваться. Кроме того, время жизни устройства должно удовлетворять условию создания минимум одного блока за время жизни устройства, так как в другом случае доверие к устройству в сети утрачивается.

Пороговое значение количества мощных устройств в сети не имеет максимального значения и регулируется настройками блокчейна таким образом, чтобы устройства вырабатывали блоки последовательно со своей частотой в зависимости от сценария и маломощных устройств, прикрепленных к мощным концентраторам. Однако, существует минимальный порог по количеству мощных устройств в сети, который исходит из определения ячеистой топологии сети, которой и является технология блокчейн, и составляет минимум три устройства в сети.

Пороговое количество подключаемых маломощных устройств к мощным создаёт дополнительную нагрузку на оперативную память мощного устройства и сетевые карты всех устройств. Это значение вычисляется исходя из количества передаваемой информации от маломощного устройства и частоты передаваемой информации. Как правило, нагрузка на один концентратор уже включена при конфигурации наборов умных вещей, однако, если сеть конфигурируется самостоятельно, необходимо произвести расчёт передаваемых от маломощных устройств пакетов данных, исходя из спецификации устройства, и обратиться к формуле 1 для подсчёта нагрузки на оперативную память. Необходимо также учитывать вычислительные затраты на обработку поступивших пакетов информации и ограничения на передачу информации, описанное в формулах 3 и 4.

Резервирование устройств с целью обеспечения непрерывного получения собираемой информации не является обязательным требованием, однако, в случае некоторых сценариев использования, например, в сценариях крупного производства, резервирование устройств обеспечит непрерывное поступление данных в цепь в случае непредвиденного отказа устройства. Количественная оценка резервирования как такового невозможна, можно лишь качественно определить необходимость в нём и посчитать вероятность отказа устройств.

Пример применения математической модели

Построенная математическая модель может применяться как при конструировании принципиально нового устройства, сеть которых будет направлена на работу с технологией блокчейн, так и на определение типа устройства согласно введённой классификации устройств для определения возможности внедрения технологии блокчейн в существующую сеть.

Для определения типа устройства необходимо предварительно задать параметры технологии блокчейн, внедряемой в сеть устройств. В качестве хэширования может применяться функция хэширования SHA-256, или любой другой актуальный стандарт

хэширования. Таким образом, можно заключить, что значение i_x равно 256 бит. Вес временной метки i_t составляет 104 бита, вес параметра i_{nonce} задаётся программистом блокчейн. Пусть значение nonce собирается с датчиков, таким образом, будет выполняться условие неповторяемости и случайности значений. В этом случае вес i_{nonce} примем равным контейнеру данных с датчика.

Для вычисления прочих значений необходимо рассмотрение конкретной конфигурации сети. Был выбран Xiaomi Mi Home ZHTZ02LM в комплектации, состоящей из шлюза, датчика движения, датчика открытия окна и двери и пульта управления. Исходя из всего вышесказанного, средний вес одного блока будет равен 1400 бит. Вес блока может варьироваться в большую или меньшую сторону, что зависит от контейнера данных, записываемых в один блок, так как прочие значения остаются неизменными.

Частоту генерации блоков также задаёт программист, реализующий блокчейн, так как частота генерации зависит от сценария использования сети устройств. В случае с конкретным устройством, согласно исследованиям [4], при работе устройства в среднем остаётся незанятой 30% оперативной памяти, что составляет 644245094 бит. Отделим под хранение цепи блоков половину от этих значений, чтобы вычислительные мощности оставались на вычисление дерева Меркла, а также на случай непредвиденной нагрузки процессора. Половина от этих значений составит 322122547 бит. Таким образом, поделив максимальное значение ОЗУ на средний вес блоков можно получить максимальное количество блоков в сети, которое составит в среднем 230300 штук.

Так как заявленные производителем сроки работы беспроводных устройств составляют два года, можно ориентироваться на этот срок на как на максимальный срок для создания цепи блоков, после чего цепь блоков выгружается, а для последующей работы организуется новый генезис-блок и вычисления блоков происходит заново. Таким образом, мощное устройство-концентратор может генерировать блоки с частотой раз в пять минут. Это значение было получено путём деления максимального количества блоков, равного 230300, на 2 года в минутах. В конкретной конфигурации подобранных устройств ни одно из получаемых значений не является критическим, в связи с чем значение пяти минут является оптимальным.

Оценка вычислительных мощностей в конкретном случае производится с опорой на исследование [5], в котором показано, что вычислительная операция хэширования по стандарту SHA-256 составляет от 10^{-5} до 10^2 Герц на процессоре вида CPU.

Рассмотрим комплектацию концентратора для дальнейших расчётов. Концентратор функционирует на микропроцессоре NXP i.MX 6ULL. Оперативная и долговременная память этого микропроцессора составляют 256 Мбит. Питание устройства осуществляется от розетки, таким образом, по критерию питания устройства оно соответствует мощному: генерация одного блока возможна до отказа устройства, что повышает уровень доверия к устройству, а также цепь блоков может генерироваться бесконечно при условии отсутствия перепадов напряжения, так как бесперебойное устройство в данной конфигурации не предусмотрено.

Усреднённый вес одного блока составляет 1400 бит, а максимальное количество блоков в сети, сгенерированное за время жизни датчиков, подключенных к концентратору, составляет 230300 блоков. Таким образом, средний вес цепи, составляющий 322420000 бит, составляет примерно 15% от всего объёма оперативной памяти.

Согласно исследованию [5], в котором показано, что вычислительная операция хэширования по стандарту SHA-256 составляет от 10^{-5} до 10^2 Герц на процессоре вида CPU, при вычислительных мощностях в 528 МГц, генерация одного блока или его верификация не будет составлять более 0,02% от общей вычислительной мощности, что также свидетельствует о возможности отношения устройства к типу мощных. Оценка

затрат на вычисление всей цепи блоков не производится, так как блоки не генерируются одновременно.

Информация передаётся между датчиком и концентраторами по протоколу ZigBee, пиковая скорость обмена пакетами в котором составляет 250 Кбит/с. Таким образом, за одну секунду концентратор может отправить 178 блоков. Так как один блок – максимальная единица передачи в сети (контейнеры данных, являющиеся частью блоков, обладают меньшим весом), устройство также можно отнести к мощным ввиду его высокой способности обмена информацией. Блоки в устройстве генерируются реже, чем позволяет передача сетевой карты.

По результатам всех предъявленных требований устройство считается мощным.

Рассмотрим датчик открытия двери и окна Mi Window and Door Sensor: архитектура микропроцессора датчика – SOC, представляющее собой единую систему, работающую на кристалле. Ввиду особенностей архитектуры микропроцессора его оценка теми же методами, что и оценка концентратора, не представляется возможной. Однако хранение большой цепи блоков, составляющей 322420000 бит, также представляется маловероятным сценарием, в связи с чем по этому параметру устройство не может считаться мощным.

Оценка вычислительной мощности устройства не представляется возможным по указанным выше причинам. Вычисление хэш-функции на устройстве возможно, однако невозможно оценить время вычисления результата функции без проведения нагрузочного тестирования. Таким образом, по вычислительным мощностям датчик также не относится к мощным устройствам.

Оценка сетевой карты производится аналогично оценке сетевой карты контроллера, так как передача данных происходит также по протоколу ZigBee.

Оценка питания устройства может быть произведена только по спецификации устройства и по нагрузочным тестированиям. Согласно спецификации, устройство может работать два года в режиме ожидания, время работы в активном режиме не заявлено. Таким образом, по данному параметру устройство также не может быть отнесено к мощным.

По результатам всех предъявленных требований устройство считается среднемощным или маломощным, и неспособным работать с технологией блокчейн.

Заключение

Построенная модель может применяться как при конструировании принципиально новых устройств, заранее создаваемых на работу с технологией блокчейн, так и для оценки существующих устройств для отнесения их к различным типам исходя из предложенной классификации. Для составления сети не обязательно использовать исключительно концентраторы: можно комбинировать различные виды устройств, параметры которых подходят под определение мощного устройства.

Целостность информации, передаваемой в сети, оценивается лабораторным экспериментом и представляет собой отношение количества числа знаков, принятых с ошибками, к общему количеству передаваемых знаков, и является непостоянной величиной, так как количество принятых с ошибками знаков зависит от пропускной способности канала и частоты помех в нём. Необходимо учитывать, что при некорректной программной реализации технологии блокчейн нельзя утверждать, что целостность информации не достигает значения 0, то есть, обеспечивается на 100%. Для обеспечения наилучшей оценки этого показателя необходимо грамотное использование как построенной модели, так и программной реализации.

Литература

1. Ловушки «интернета вещей» [Электронный ресурс] / Лаборатория Касперского. Электрон. текстовые дан. Режим доступа: <https://securelist.ru/honeypots-and-the-internet-of-things/30874/>, свободный (дата обращения: 12.05.2021).
2. Panarello Alfonso, Nachiket Tapas, Giovanni Merlino, Francesco Longo, and Antonio Puliafito. "Blockchain and iot integration: A systematic survey." [Электронный ресурс] // Sensors 18, no. 8 (2018): 2575.
3. Лихтенберг А.М., Любавина П.Ю. Методы обеспечения достоверности информации в маломощных IoT-устройствах // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2020. Т. 2. С. 312-314.
4. Xiaomi Gateway MIEU01 как универсальный контроллер умного дома [Электронный ресурс] / Хабр. Электрон. текстовые дан. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/543568/>, свободный (дата обращения: 28.03.2021).
5. Anagnostakis Aristidis G., Nikolaos Giannakeas, Markos G. Tsipouras, Euripidis Glavas, and Alexandros T. Tzallas. «IoT Micro-Blockchain Fundamentals» [Электронный ресурс] // Sensors 21, no. 8 (2021): 2784.

Локтева Алина Владимировна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

студент группы №42422,

направление подготовки: 19.04.01– Молекулярная биология и биотехнология,

e-mail: lokteva@scamt-itmo.ru

Кошель Елена Ивановна

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

химико-биологический кластер,

к.б.н., доцент,

e-mail: koshel@scamt-itmo.ru

УДК 579.61

**РАЗРАБОТКА БИОАКТИВНЫХ ГИБРИДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ, ОСНОВАННЫХ НА БАКТЕРИЯХ**

А.В. Локтева

Научный руководитель – к.б.н., доцент Е.И. Кошель

Данная работа выполнена в рамках Российского научного фонда, грант №19-74-00125 «Исследование механизмов воздействия на клетки про- и эукариот наночастиц оксидов металлов и их потенциальной мутагенности».

Аннотация

Научно-исследовательский проект посвящён созданию живого гибридного материала на основе бактерий. Научная работа включает поиск, синтез и характеризацию оксидных наночастиц для материала, исследование их антибактериального эффекта на патогенных и пробиотических микроорганизмах, а также в опыте ко-культивирования патогенов с пробиотиками. Цитотоксичность на HPF клеточной линии и ранозаживление на модели *in vivo* были исследованы.

Ключевые слова

Пробиотики, наночастицы, гибридный материал, патогенные микроорганизмы, ранозаживление, модулирование микробиоты

Микробиота человека представляет собой сложную систему, включающую пробиотические и условно-патогенные микроорганизмы [2]. Без понимания состава комменсальной микробиоты человека изучение и лечение инфекционных заболеваний является недостоверным и несёт негативный эффект на здоровье человека. Большую часть естественной микробиоты составляют микроорганизмы двух основных филогенетических групп - *Bacteroidetes* и *Firmicutes*. Комменсальная микробиота в кишечнике и репродуктивной женской системе в большинстве случаев представлена преобладанием *Lactobacillus* sp. вследствие воздействия во время первой колонизации организма после рождения. Такие патогенные бактерии, как *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Escherichia coli* также являются частью комменсальной микробиоты и не оказывают негативного влияния на здоровье человека. Однако влияние внешних и внутренних факторов, таких как лекарственные препараты, окружающая среда, диета может стать причиной инфекционных заболеваний за счёт индуцирования дисбаланса микробиоты. Патогенные микроорганизмы являются причиной таких

инфекций, как воспаление кишечника, шанхайская лихорадка, пневмония, инфекции мягких тканей кожи, менингит, синдром токсического шока, мочеполовые инфекции. В настоящее время для лечения подобных заболеваний используются антибиотики. Но быстрая способность к развитию антибиотикорезистентности и негативное влияние на микробиоту человека требуют поиска нового подхода к лечению инфекционных заболеваний.

Проблема может быть решена путем модулирования микробного состава к его нормальному состоянию. Для этого можно использовать такие простые компоненты как пробиотические микроорганизмы с синтезом бактериоцинов, неорганические соединения с модулирующим эффектом на патогенные и пробиотические микроорганизмы - снижение роста первых и усиление роста вторых, а также гидрогель для связывания компонентов вместе, что приведёт к повышению эффективности материала. Этот метод позволит мягко модулировать состав микробиоты, что сократит время лечения и не нанесёт негативного влияния на её состав и здоровье человека.

Первая часть исследования заключалась в поиске, синтезе и характеристике наночастиц. Для исследования было выбрано 5 типов наночастиц: TiO_2 , Fe_3O_4 , ZnO , CuO и AlOOH . Все они по данным исследований обладали антибактериальной активностью на патогенных микроорганизмах с помощью генерации ROS механизмов [1]. Наночастицы Fe_3O_4 , ZnO , CuO и AlOOH обладали негативным влиянием на рост пробиотических культур и только частично ингибировали рост патогенных микроорганизмов (рис. 1), потому они были исключены из дальнейшего исследования.

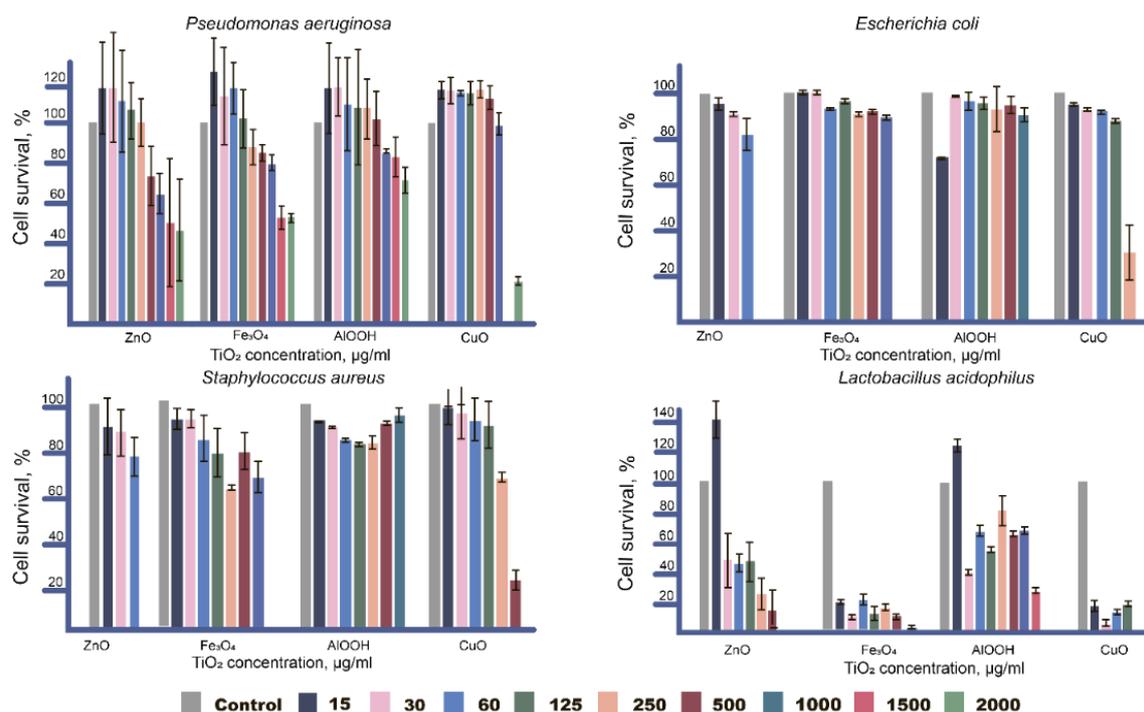


Рис. 1. Цитотоксичность Fe_3O_4 , ZnO , CuO и AlOOH на представителях патогенных и пробиотических микроорганизмах

В случае с наночастицами TiO_2 на монокультурах *Lactobacillus* sp. в диапазоне концентраций от 0.015 мг/мл до 0.250 мг/мл наблюдался стимулирующий эффект на рост данной группы микроорганизмов (рис. 2А). В организме человека бактерии представлены в виде поликультур, потому важным являлось изучить влияние TiO_2 на консорциуме *Lactobacillus* sp. Результаты данного эксперимента представлены на рис. 2А, где показано, что на всех исследуемых концентрациях для поликультур был

представлен стимулирующий эффект на их рост. В случае же с патогенными микроорганизмами (рис. 2А) наблюдалось ингибирование роста бактерий от до 6 порядков.

После доказательства двойного эффекта TiO_2 на пробиотические и патогенные микроорганизмы необходимым было исследовать его модулирующие свойства на эксперименте со-культивирования, который включал совместное культивирование пробиотических и патогенных культур в сочетании с наночастицами TiO_2 и без них. В двух типах эксперимента (для *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*) был выявлен аналогичный эффект. Без диоксида титана патогенные культуры подавляли рост пробиотических микроорганизмов, но с ростом концентрации TiO_2 баланс между ними изменялся в сторону роста пробиотических культур и снижения количества патогенных микроорганизмов (рис. 2Б). Данный эффект доказал моделирующее свойство диоксида титана в отношении изменения соотношения *Lactobacillus* sp. к *S. aureus* и *E. coli*.

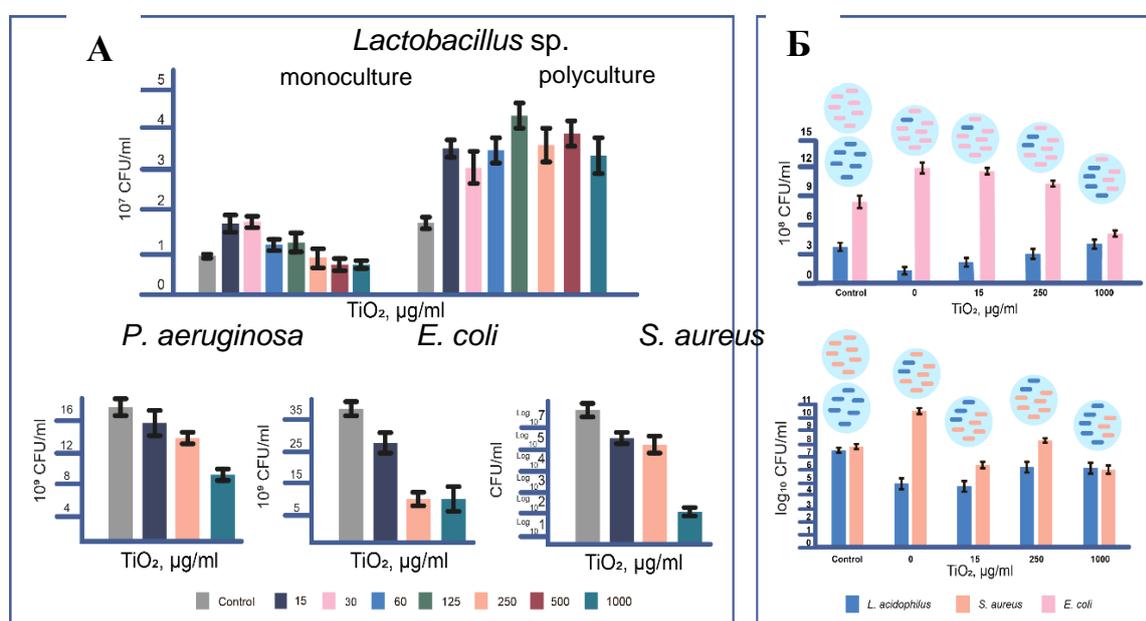


Рис. 2. Антибактериальный эффект TiO_2 на моно- и поликультурах *Lactobacillus* sp. и патогенных микроорганизмах: *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. coli* (А); эксперимент со-культивирования *Lactobacillus* sp. с *S. aureus* и *E. coli* (Б)

Подобный эффект стимулирующего влияния TiO_2 на *Lactobacillus* sp. можно объяснить как синергический, т.к. в ходе исследования было выявлено, что образование ROS молекул после активации ультрафиолетом наночастицами диоксида титана стимулирует у лактобактерий окисление тиоловых групп в белках и рост синтеза ненасыщенных жирных кислот, последствием которых является синтез H_2O_2 [4]. Пероксид водорода в свою очередь стимулирует образование ROS молекул у TiO_2 [3]. В совокупности, стресс подобного рода индуцирует процессы деления лактобактерий, что приводит к их активному росту. А рост количества ROS молекул негативно сказывается на патогенных микроорганизмах, что ведёт к разрушению клеточной стенки, ДНК и гибели клеток.

После изучения влияния TiO_2 на бактериальные культуры, было необходимым исследовать его цитотоксический эффект на клеточной линии фибробластов (HPF) без и в сочетании с *Lactobacillus* sp. Для этого проводилось два вида эксперимента: МТТ и проточная цитометрия. Данные МТТ теста показали достаточно высокую цитотоксичность TiO_2 по отношению к HPF клеточной линии и при максимальной концентрации 1 мг/мл показатель выживаемости клеток достиг 50% (рис.3А). Но в

эксперименте с сочетанием TiO_2 с *Lactobacillus* sp. было показано снижение числа мёртвых клеток, количество которых не превышало 14,5% при максимальной концентрации TiO_2 (рис. 3Б).

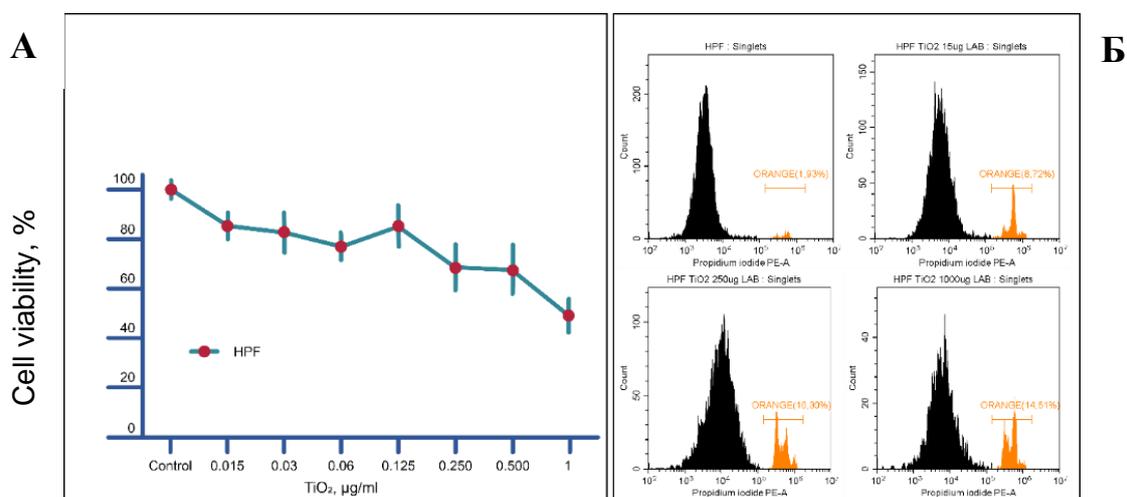


Рис. 3. Выживаемость клеточной линии HPF с ростом концентрации TiO_2 (А) и комбинации TiO_2 с *Lactobacillus* sp.

В итоге, были изучены антибактериальные и цитотоксические свойства TiO_2 в сочетании с *Lactobacillus* sp, что показало его способность использования в качестве синергетического агента для модулирования микробного состава.

Для создания материала для *in vivo* модели ранозаживления был выбран гидрогель PNIPAM. Он является биосовместимым за счёт своих инертных свойств, из-за чего часто используется в биомедицинских технологиях и для 3D-биопечати, а также обладает хорошими адсорбционными свойствами (прирост массы в 10 раз за 24 часа), что необходимо для процессов ранозаживления.

Для *in vivo* эксперимента было отобрано 30 крыс массой от 200 до 240 г, мужского пола. Для каждой крысы был нанесён ожог медной пластинкой площадью 4cm^2 , после чего все крысы были поделены на 5 групп: контрольная группа (1), группы с покрытием из PNIPAM (2), с PNIPAM + TiO_2 (3), PNIPAM + *Lactobacillus* sp (4) и комбинации PNIPAM, TiO_2 и *Lactobacillus* sp (5) (рис. 4А). На рис. 4Б представлена динамика изменения раневой поверхности в фотографиях в течение 21 дня эксперимента. В качестве количественного параметра заживления ран измерялась площадь изменения раневой поверхности в ходе всего эксперимента (рис. 4В). В результате, группы 1-4 имели одинаковые площади раневых поверхностей по истечению эксперимента, в то время как 5 группа с гибридным материалом достигла практически полного заживления и площадь поверхности оказалась в 4 раза меньше в сравнение с другими группами.

Данное явление объясняется эффектом ацидоза на поверхности раны. Это ведёт к росту концентрации кислорода на поверхности повреждённых мягких тканей, последствие которого ведёт к увеличению пролиферации клеток фибробластов [5].

Инфекционные заболевания - проблема, которая преследует человечество на протяжении многих веков. Антибиотики были решением проблемы, но на сегодняшний день человечество сталкивается с устойчивостью к антибиотикам и проблемами дисбактериоза. В данном исследовании был предложен новый метод. Он включает в себя регулирование природных процессов бактериального сообщества, с помощью *Lactobacillus* sp. с выработкой бактериоцина и неорганического соединения с двойным действием на микроорганизм и комбинирование их в гибридном живом материале. В результате подобрано модулирующее соединение – наночастицы TiO_2 , которые

оказывают ингибирующее влияние на рост патогенных бактерий и стимулируют рост пробиотических микроорганизмов в 2 раза. Эксперимент с комбинацией *Lactobacillus* sp и TiO_2 против патогенных микроорганизмов показал моделирующее действие TiO_2 в пробиотико-патогенном сообществе. Комбинация компонентов материала обладает низким эффектом цитотоксичности на клеточной линии HPF. Модельные эксперименты *in vivo* для лечения ран показали самые эффективные процессы заживления ран при использовании гибридного живого материала (HLM). Модулирующая функция была сходной для всех соединений в отдельности. HLM показывает улучшение процессов заживления ран до 4 раз при одинаковой динамике лечения по сравнению с контрольно-естественными процессами.

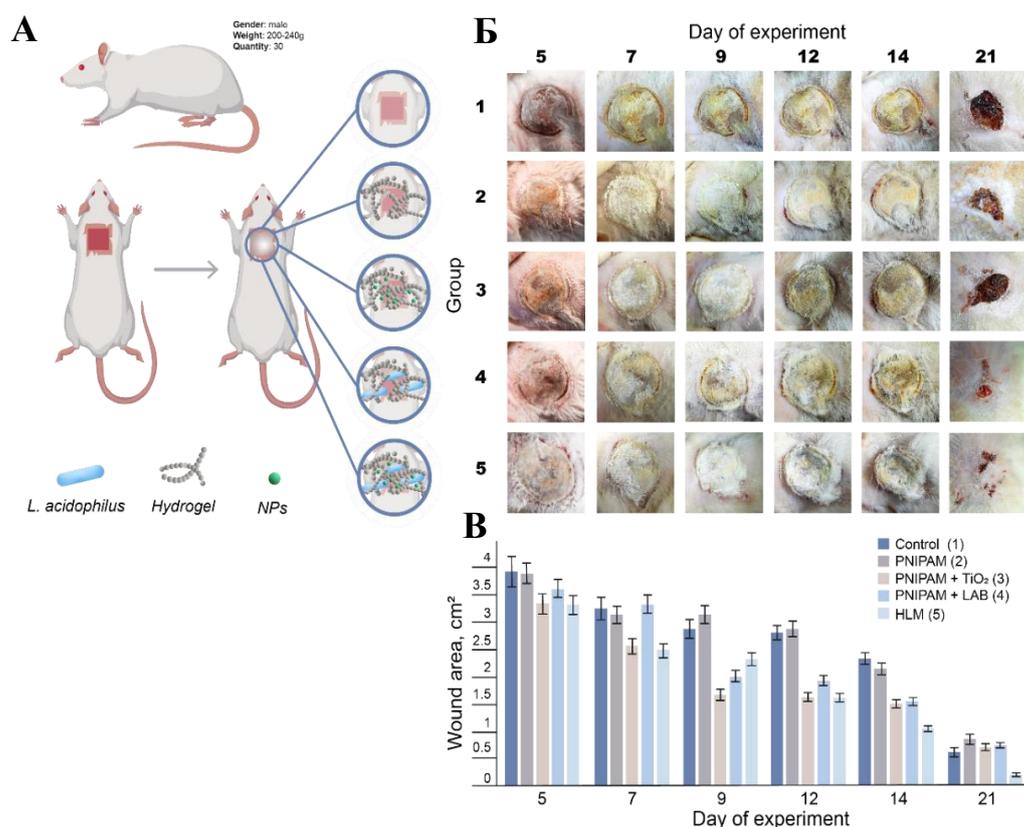


Рис. 4. Описание эксперимента и изучаемых групп (А), фотодинамика изменения раневой поверхности под влиянием изучаемых групп материалов (Б), изменение площади раневой поверхности в ходе эксперимента (В)

Показана перспектива использования подобного материала для лечения инфекционных заболеваний без негативного влияния на микробиоту человека. Скаффолд для материала – это неосновная часть, которая может быть изменена независимо от зонального лечения. Например, в нашем случае был использован PNIPAM из-за набухаемости и инертных свойств. Для женского вагинального тракта может быть использован материал с рН-зависимой активностью для растворения и активации соединений материала. В случае различных моделей лечения HLM методика и состав могут быть модифицированы. Это универсальный подход с естественным моделированием микробного состава, который способен решить проблему с хронической инфекцией без какого-либо негативного влияния на микробиоту человека и здоровье в целом.

Литература

1. Carré Gaëlle, Hamon Erwann et al. TiO₂ Photocatalysis Damages Lipids and Proteins in *Escherichia coli* // Applied and Environmental Microbiolog. 2014. №80 P. 2573-2581.
2. Chen, Xiao Yan, Woodward, Adrienne Zijlstra et al. Exopolysaccharides Synthesized by *Lactobacillus reuteri* Protect against Enterotoxigenic *Escherichia coli* in Piglets // Applied and Environmental Microbiology. 2014. №80 P. 5752-5760.
3. Guo Y. и др. Detection of reactive oxygen species (ROS) generated by TiO₂(R), TiO₂(R/A) and TiO₂(A) under ultrasonic and solar light irradiation and application in degradation of organic dyes // J. Hazard. Mater. 2011. Т. 192. № 2. С. 786–793.
4. Kim W. S. и др. Assessment of Stress Response of the Probiotic *Lactobacillus acidophilus* // Curr. Microbiol. 2001. Т. 43. № 5. С. 346–350.
5. Schneider L. A. и др. Influence of pH on wound-healing: a new perspective for wound-therapy? // Arch. Dermatol. Res. 2007. Т. 298. № 9. С. 413–420.

Макатов Кирилл

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W42272,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная,

криогенная техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: KirMakatov@mail.ru

Никитин Андрей Алексеевич

Год рождения: 1981

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: aanikitin@itmo.ru

УДК 697.933.2

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА
В ПОМЕЩЕНИЯХ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВЛАГИ**

К. Макатов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Никитин

Аннотация

Сравнение энергоэффективности адсорбционного и конденсационного способа осушения воздуха в помещении с высоким содержанием влаги, в зависимости от климатической зоны и времени года, посредством расчета электрического эквивалента. В помещении источником выброса влаги является бассейн. В итоговых данных прослеживается тенденция эффективности конденсационного осушителя в помещении с высоким содержанием влаги. И данная тенденция не зависит от типа климата.

Ключевые слова

система кондиционирования, энергоэффективность, осушение воздуха, конденсационные осушители, абсорбционные осушители.

При эксплуатации зданий, сооружений должен соблюдаться определённый уровень влажности воздуха, который соответствует определенным нормам и требованиям. Для поддержания уровня влажности используют специализированные устройства – осушители воздуха. При осушении воздуха, в основном, используют два разных принципа работы: абсорбция и конденсация.

Сравнение эффективности методов осушения воздуха будем проводить посредством расчета осушения воздуха в помещении в бассейне, в котором проводят занятия и соревнования. В городе с умеренной климатической зоной, которая занимает большую часть России, Саратове и субтропический влажный климат в городе Сочи.

В крытых бассейнах рекомендуется поддерживать следующие режимные параметры:

Температура воды в бассейне 24 – 28 °С; Температура воздуха на 2 °С выше температуры воды (26 – 30 °С); Относительная влажность воздуха в помещении 40 – 65 %; Скорость движения воздуха 0,15 – 0,3 м/с. Общая площадь бассейна – 150 м², площадь помещения с бассейном – 540 м², средняя высота – 5,4 м. Количество пловцов, которое одновременно находится в помещении 20 человек. Так же в помещении находятся 2 зрителя – тренера. Во время проведения соревнования количество зрителей

увеличивается до 130 человек.

На основании этих данных был проведен тепло влажностный расчет и в результате были рассчитаны луча процесса, характеризующего процесс ассимиляции тепла и влаги в помещении приточным воздухом в Саратов и Сочи, в летнее и зимнее время [1].

На основании этих отношений построим на i-d диаграмме зоны приточного, рабочего и удаляемого воздуха, рис. 1 и 2 [2]. На графике указаны множества точек приточного воздуха П1П2П3П4 которые на 3 °С ниже, чем температура приточного воздуха, множество точек рабочего воздуха в помещении с бассейном Р1Р2Р3Р4, которым соответствует нормы требований температур для спортивных бассейнов и множество точек удаляемого воздуха У1У2У3У4. Температура удаляемого воздуха выше рабочего на 1 °С.

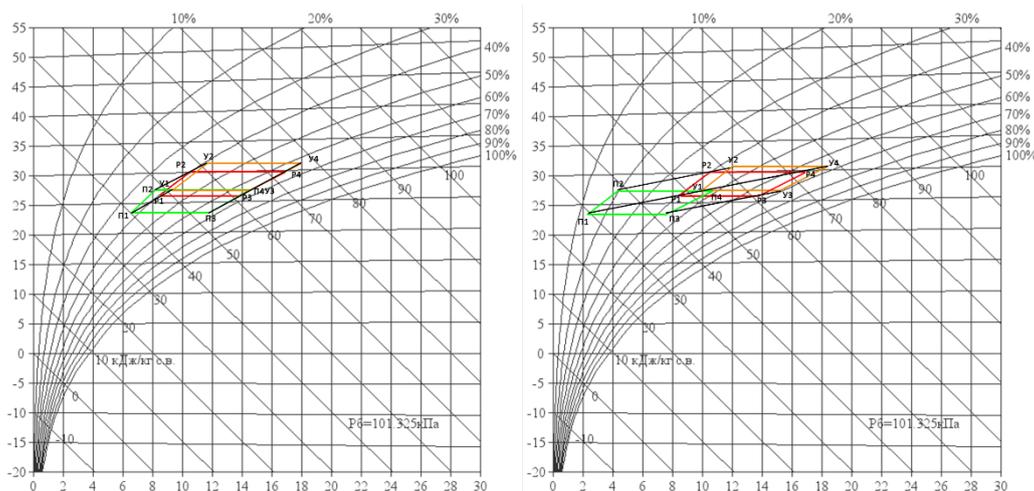


Рис. 1. Параметры воздуха в помещении с бассейном в городе Саратов (теплый и холодный период года)

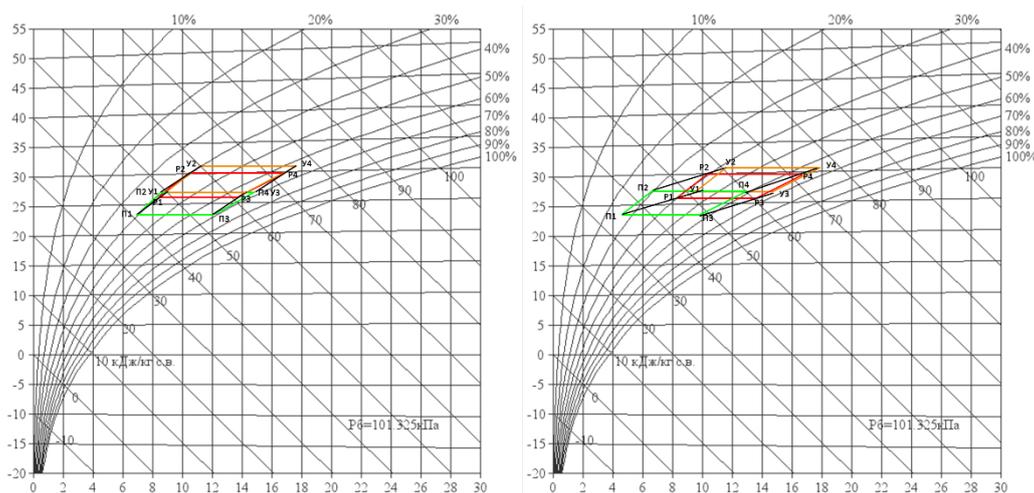


Рис. 2. Параметры воздуха в помещении с бассейном в городе Сочи (теплый и холодный период года)

Проведем расчет требуемого расхода воздуха для ассимиляции влаги в помещении, для Саратова и Сочи, в летнее и зимнее время, во время проведения занятий и во время проведения соревнований, по формуле:

$$L = \frac{W}{\Delta d \cdot r},$$

где W – количество влаги, испаряемой с площади водяного зеркала за 1 час, г/ч;

L – объемный расход воздуха (м³/ч);

$r = 1,175$ – удельный вес воздуха (кг/м³).

Запишем получившиеся результаты в табл. 1.

Таблица 1

Расход воздуха для ассимиляции влаги в помещении с бассейном и по требованию СанПин

L, м3/ч	Саратов		Сочи		По СанПиН
	Лето	Зима	Лето	Зима	
Во время проведения занятий	15300	5000	19100	8500	1680
Во время проведения соревнований	18100	5900	22600	10000	6800

По данным результатам, можно сделать вывод, что расход воздуха на ассимиляцию влаги в помещении почти всегда выше, чем требуемый расход воздуха по СанПину. Только в случае Саратова в зимнее время, вовремя проведения соревнований мы берем расход воздуха по требованию СанПин для расчета затрат внешней энергии на обработку воздуха.

Теперь выберем конденсационную и осушительную установку для сравнения.

Конденсационная осушительная установка аналогична с вентиляционными приточно-вытяжными агрегатами (рис. 3) [3]. Забор и выброс воздуха происходит с помощью вентиляторов. Количество подаваемого воздуха из окружающей среды изменяется заслонками. Встречные потоки обмениваются теплом в рекуператоре и при необходимости приточный воздух подогревается в водяном нагревателе. Только в отличие от вентиляционной установки в данной конденсационной осушительной установке используется тепловый насос, состоящий из компрессора, конденсатора и испарителя, встроенный в корпус.

Тепловой насос основан на одноступенчатом холодильном цикле, хладагент 407С. В нем установлено два компрессора, с холодильной мощностью 16 и 32 кВт, которые дают возможность регулировать охлаждение воздуха, в зависимости от погоды в течении года [3].

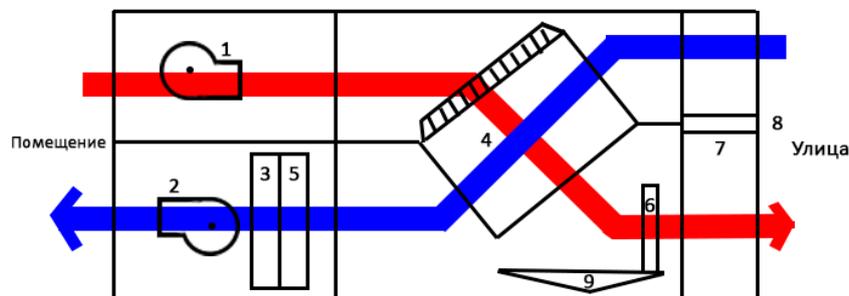


Рис. 3. Основные элементы установки конденсационной осушительной установки:
 1 – вытяжной вентилятор, 2 – приточный вентилятор, 3 – воздухонагреватель, 4 – пластинчатый рекуператор, 5 – конденсатор, 6 – испаритель, 7 – камера смешения с приводной заслонкой, 8 – заслонки подачи наружного воздуха, 9 – поддон для сбора водяного конденсата

В случае с адсорбционным осушителем была принята конструкция аппарата с непрерывно вращающимся слоем адсорбента. Адсорбентом является гранулированный силикагель марки КСМ [4]. Схема осушительной установки показана на рис. 4.

Осушитель содержит узлы приточной и вытяжной системы. Перемещение воздуха происходит с помощью вентиляторов. В установке есть байпас, с помощью которого можно смешивать осушенный и наружный воздух. Установка имеет вертикальную ось, зимой данная установка поворачивается на 180° градусов. Вытяжная система станет приточной, а приточная вытяжной системой.

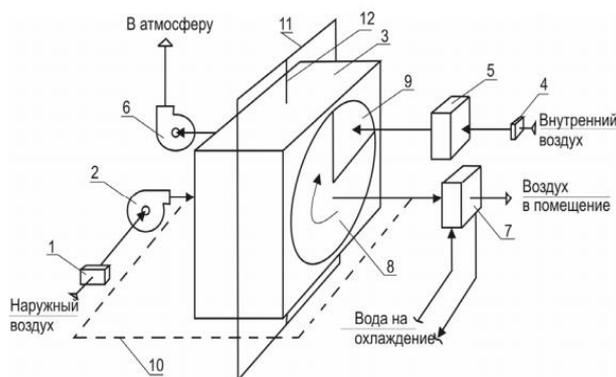


Рис. 4. Схема адсорбционного осушителя: 1,4 – воздушный фильтр; 2,6 – вентилятор; 3 – корпус с вращающимся барабаном для силикагеля; 5 – воздушонагреватель; 7 – воздухоохладитель; 8 – сектор адсорбции; 9 – сектор регенерации адсорбента; 10 – байпас; 11 – рама; 12 – вертикальная ось рамы

Для определения параметров влажного воздуха, процессов обработки влажного воздуха конденсационном методом, воспользуемся *i-d* диаграммой влажного воздуха. В случае адсорбционного метода, воспользуемся модифицированной *i-d* диаграммой, на которой нанесены изолинии равновесного влагосодержания силикагеля марки КСМ [5].

Модифицированная *i-d* диаграмма основывается на зависимости равновесного влагосодержания силикагеля от параметров осушаемого воздуха [4].

Выбираем три режима работы для конденсационной установки:

- режим теплого периода года;
- режим холодного периода года;
- режим полной рециркуляции.

Для адсорбционного метода осушения воздуха, выбираем режимы:

- режим теплого периода года;
- режим холодного периода года.

Для каждого режима работы был проведен расчет затрачиваемой внешней энергии на обработку воздуха в работе [1].

Из двух рассмотренных способов осушения воздуха необходимо выбрать один, наиболее экономичный. Для этого, на основании расчетных параметров наружного воздуха, проводился расчет трат внешней энергии при осушении воздуха. Для конденсационного и адсорбционного способа проводился расчет холодильного одноступенчатого цикла в *CoolPack*, для нахождения электрического потребления компрессора, а так расчет электрического нагревателя воздуха. В зависимости от температуры окружающей среды и времени суток подбирался наиболее энергоэффективный режим работы.

Осушительная установка работает 24 часа в сутки на протяжении 365 дней. Раз в месяц проводились соревнования по плаванию длительность 3 дня, по семь часов. На

рис. 5 показаны энергозатраты на нагрев воздуха в нагревателе и на работу теплового насоса при конденсационном методе осушения воздуха, а также на нагрев воздуха в нагревателе адсорбционного осушителя в городе Саратов.

В общей совокупности при осушении бассейна, адсорбционным методом, потребуется около 254,5 МВт·ч в год. При использовании конденсационного метода осушения воздуха потребуется примерно 23,7 МВт·ч в год. Что на 91 % меньше, чем адсорбционный метод.

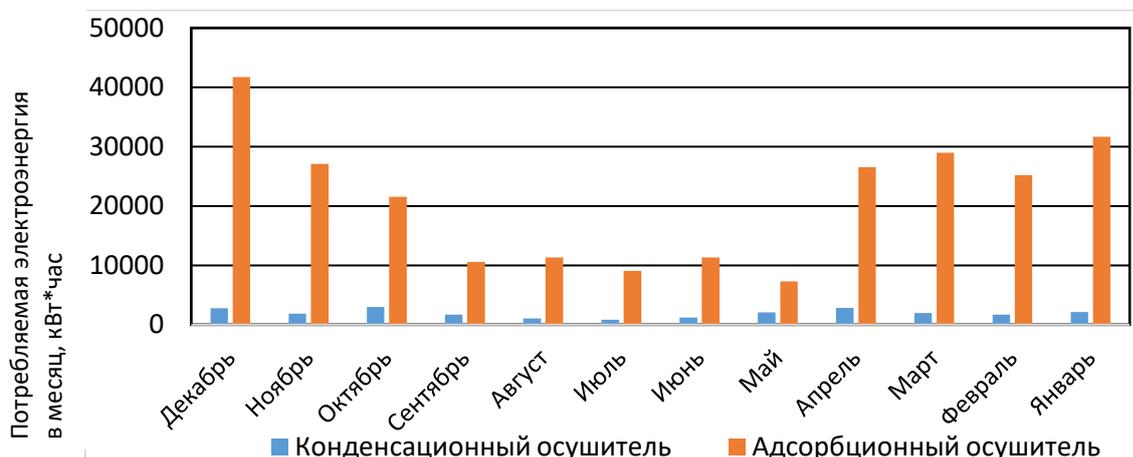


Рис. 5. Расходы электроэнергии на работу осушителя в городе Саратов

На рис. 6 показаны внешние энергозатраты на нагрев воздуха в нагревателе и на работу теплового насоса при конденсационном методе осушения воздуха в городе Сочи.

В общей совокупности при осушении бассейна адсорбционным методом, потребуется около 235,9 МВт·ч в год. При использовании конденсационного метода осушения воздуха потребуется примерно 24,6 МВт·ч в год. Что на 90 % меньше, чем адсорбционный метод.

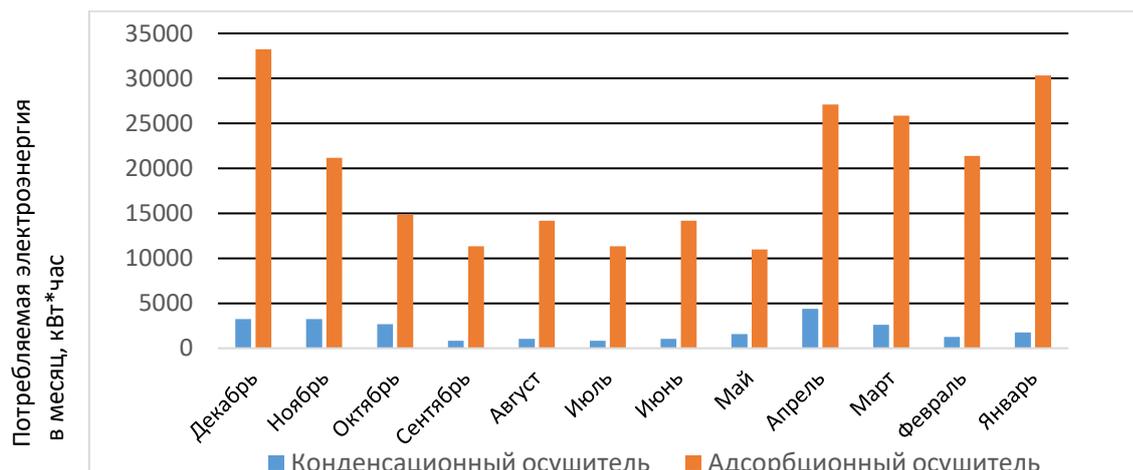


Рис. 6. Расходы электроэнергии на работу осушителя в городе Сочи

В итоговых данных прослеживается тенденция эффективности конденсационного осушителя в помещении с высоким содержанием влаги. И данная тенденция не зависит от типа климата.

В городе Саратов для осушения адсорбционным методом, потребуется около 254,5 МВт · ч в год. При использовании конденсационного метода осушения воздуха

потребуется примерно 23,7 МВт · ч в год. Что в 10,7 раз меньше, чем адсорбционный метод.

При осушении бассейна в городе Сочи, адсорбционным методом, потребуется около 235,9 МВт · ч в год. При использовании конденсационного метода осушения воздуха потребуется примерно 24,6 МВт · ч в год. Что в 9,6 раз меньше, чем адсорбционный метод.

По этим результатам можно сделать вывод, что в помещениях с высоким содержанием влаги наиболее энергоэффективным методом осушения воздуха будет конденсационный метод осушения.

Литература

1. Макатов К. Анализ способов осушения воздуха в помещениях с высоким содержанием влаги // Выпускная квалификационная работа: Университет ИТМО. 2021. 70 с.
2. I-d диаграмма состояния влажного воздуха/ Справочный материал.
3. Макатов К. Разработка холодильного оборудования для осушения воздуха // Выпускная квалификационная работа: Университет ИТМО. 62 с.
4. Аверкин А.Г. Совершенствование устройств тепловлажностной обработки воздуха и методов расчета климатехники: моногр. / Аверкин А.Г., Еремкин А.И. Пенза: ПГУАС. 2015. 204 с.
5. Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Аверкин Ю.А. К вопросу расширения области применения *I-d* диаграммы влажного воздуха при создании микроклимата помещений // Science of Europe, 2018. с 40-45.

Малмыгина Юлия Вячеславовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42472,

направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника,

e-mail: malmygina.juliya@yandex.ru

Поляков Николай Александрович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: polyakov.ets.itmo@gmail.com

УДК 621.314

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
В СИСТЕМАХ С АКТИВНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ
НАПРЯЖЕНИЯ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
С ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ**

Ю.В. Малмыгина

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.А. Поляков

Аннотация

С целью повышения быстродействия системы управления активным выпрямителем напряжения и улучшения качества стабилизации напряжения в звене постоянного тока в рамках данной работы был выполнен синтез наблюдателя напряжения в звене постоянного тока для системы управления активным выпрямителем напряжения, а также проведено модельное исследование переходных процессов в звене постоянного тока в исходной и усовершенствованной электромеханической системе.

Ключевые слова

Активный преобразователь напряжения, система управления активным выпрямителем напряжения, наблюдатель напряжения, звено постоянного тока, электромагнитные нагрузки.

В связи с развитием альтернативной энергетики, а также со стремлением повысить эффективность эксплуатации электродвигателей системы преобразования электроэнергии на базе активных выпрямителей напряжения (АВН) с возможностью рекуперации стали важным сегментом на рынке электроприводов

Данные системы обладают рядом недостатков, одним из которых является зависимость производительности системы управления (СУ) АВН от параметров элементной базы звена постоянного тока (ЗПТ), в частности от отклонения реальной величины ёмкости конденсатора в ЗПТ от паспортной.

На рис. 1 изображена блок-схема электропривода, для обоснования нагрузочных соотношений которого используется двигатель постоянного тока (ДПТ) серии ПБВ112S.

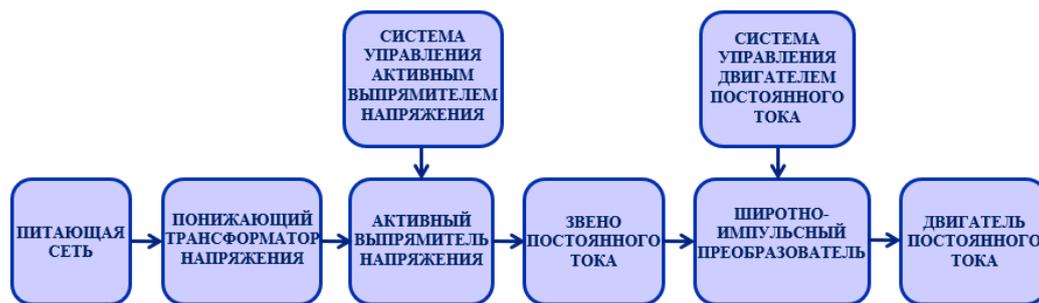


Рис. 1. Упрощённая блок-схема электропривода

Следует рассматривать два предельных режима в качестве расчетных при исследовании максимально возможных пульсаций напряжения и тока на конденсаторе в ЗПТ, а именно:

- режим реверса при работе инвертора в режиме ограничения тока на заранее определенном уровне (предельный режим I, ПР I);
- режим периодического реверса при работе инвертора без выхода в зону ограничения тока (предельный режим II, ПР II).

Диаграммы нагрузки с зависимостью требуемого тока $I_{ТРЕБ}$ от требуемой скорости вращения $\Omega_{ТРЕБ}$ на валу двигателя, соответствующие двум предельным режимам работы электропривода в области располагаемых токов и скоростей без учёта шарнирного и статического моментов описываются системой уравнений (1) и изображены на рис. 2.

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{ТРЕБ}(t) &= \Omega_{МАКС} \cdot \cos(\omega_{ЗАД} \cdot t) \\ I_{ТРЕБ}(t) &= I_{МАКС} \cdot \sin(\omega_{ЗАД} \cdot t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где: $\Omega_{МАКС}$ – максимальная амплитуда скорости вращения на валу ДПТ; $I_{МАКС}$ – максимальная амплитуда тока; $\omega_{ЗАД}$ – заданная угловая частота вращения вала ДПТ (рис. 2).

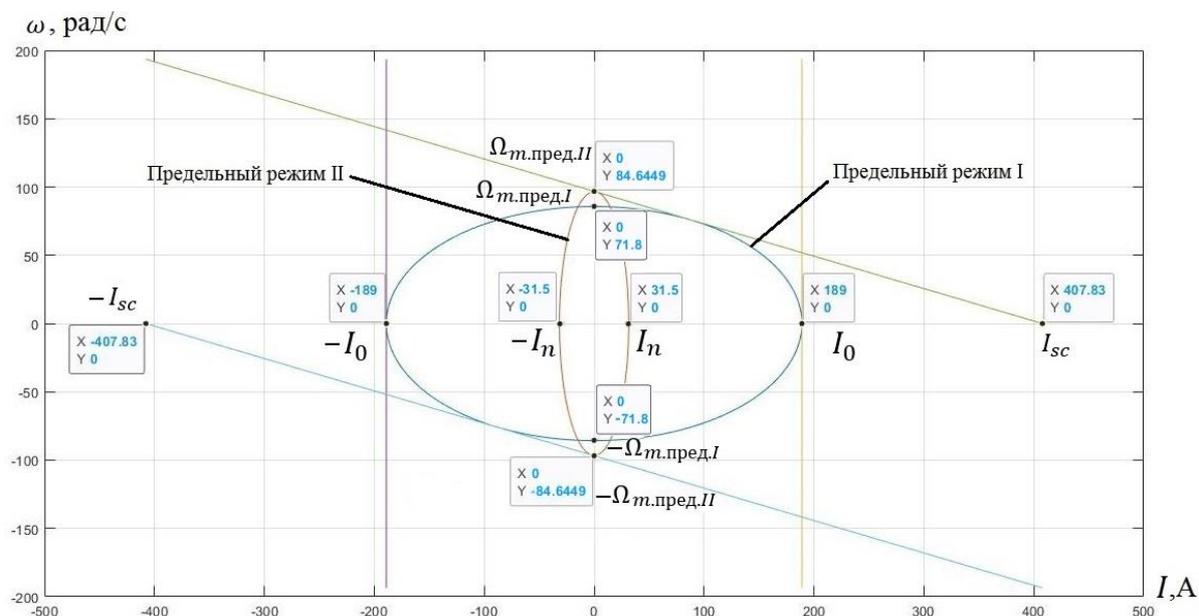


Рис. 2. Диаграммы нагрузок электропривода

На рис. 3 $\Omega_{т.пред.I}$ и $\Omega_{т.пред.II}$ – предельные для первого и второго режимов скорости вращения вала двигателя, I_n – номинальный ток ДПТ, I_0 – ток ограничения, I_{sc} – ток короткого замыкания ДПТ.

Были определены угловые частоты $\omega_{зад.I}$ и $\omega_{зад.II}$, с которыми изменяется синусоидальное задание для электропривода в предельном режиме I и II: $\omega_{зад.I} = 6,9$ рад/с и $\omega_{зад.II} = 1,05$ рад/с соответственно.

При анализе результатов моделирования исходной системы, представленных на рис. 3, было выявлено наличие низкочастотной составляющей пульсаций напряжения в ЗПТ на удвоенной частоте синусоидального задания для электропривода помимо высокочастотной составляющей пульсаций на частоте коммутации силовых ключей АВН в предельном режиме I – наиболее тяжёлом для системы с точки зрения токовых нагрузок на ЗПТ. Также наблюдаются характерное увеличение и уменьшение напряжения в ЗПТ в момент пуска СУ АВН ($t = 1$ с), в момент пуска ДПТ ($t = 1,5$ с).

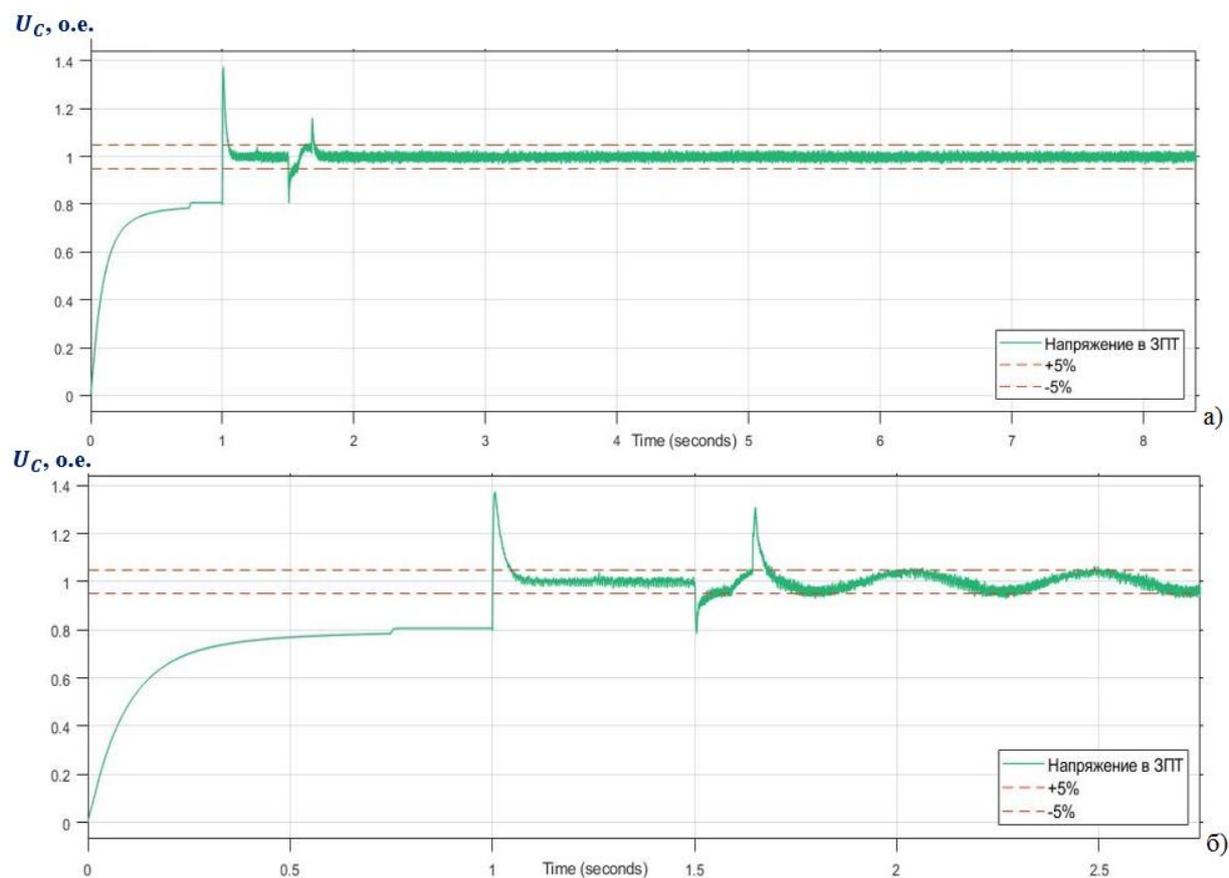


Рис. 3. График зависимости напряжения в ЗПТ от времени в ПР II (а) и ПР I (б)

Увеличение скорости изменения синусоидального задания для электропривода повлияло на характер пульсаций напряжения в ЗПТ. С целью улучшения качества стабилизации напряжения в ЗПТ был осуществлён синтез наблюдателя напряжения в ЗПТ для контура регулирования напряжения двухконтурной подчинённой СУ АВН по блок-схеме, изображённой на рис. 4, и произведён анализ переходных процессов в усовершенствованной системе [1].



Рис. 4. Упрощённая блок-схема электропривода с наблюдателем напряжения в ЗПТ

На рис. 5 приведено две структурные схемы для двух вариантов работы наблюдателя в зависимости от характера обратной связи (ОС).

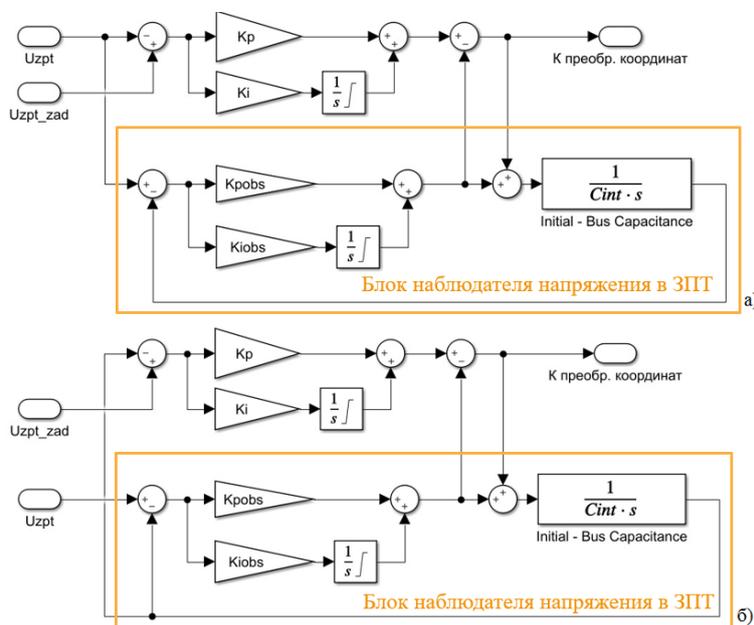


Рис. 5. Модель контура регулирования напряжения СУ АВН: в ОС – напряжение, измеренное в ЗПТ (а), в ОС – напряжение, рассчитанное в блоке наблюдателя напряжения в ЗПТ (б)

Были изучены результаты моделирования при двух различных настройках ПИ-регулятора напряжения.

В первом случае настройка параметров ПИ-регулятора напряжения ($K_p = K_{u_avn}$, $K_i = T_{u_avn}$) осуществлялась с использованием метода настройки на заданный переходный процесс (2).

$$\left. \begin{aligned} K_{u_avn} &= \frac{U_{pit}}{0,05 \cdot 3} \\ T_{u_avn} &= \frac{100}{U_{pit} - V_2} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где: $U_{pit} = U_n + 2 \cdot U_{fvd} + 2 \cdot R_{rr} \cdot I_0$ – напряжение задания для АВН, которое необходимо поддерживать в ЗПТ для корректной работы СУ ДПТ, при расчёте которого было учтено

падение напряжения на диодах и силовых ключах АВН; U_n – номинальное напряжение ДПТ; U_{fvd} – падение напряжения на диоде при максимальном токе; R_{tr} – сопротивление транзистора при максимальном токе; V_2 – линейное напряжение на вторичной обмотке трансформатора.

Во втором случае настройка параметров ПИ-регулятора напряжения ($K_p = K_{preg}$, $K_i = K_{ireg}$), а также ПИ-регулятора наблюдателя (K_{pobs} , K_{iobs}) осуществлялась с использованием метода аппроксимации передаточных функций (3), когда наблюдатель выключен, и (4), когда работа наблюдателя осуществляется по структурной схеме, изображенной на рис. 6 (а), по фильтру низких частот (ФНЧ) Баттерворта 2-го порядка, поскольку они имеют вид, схожий с передаточной функцией ФНЧ 2-го порядка.

$$\frac{U_{zpt}}{I_{qL}} = - \frac{\left(\frac{1}{C_{int} + C_{ext}} \right) s}{s^2 + \frac{K_{preg}}{C_{int} + C_{ext}} s + \frac{K_{ireg}}{C_{int} + C_{ext}}}, \quad (3)$$

где: C_{int} – величина внутренней известной ёмкости, равной суммарной номинальной ёмкости конденсаторов силового фильтра ЗПТ, C_{ext} – величина неизвестной ёмкости, которая выражается в отклонении величины известной номинальной ёмкости конденсатора в большую или меньшую сторону и может вносить погрешность в работу регуляторов.

$$\frac{U_{zpt}}{I_{qL}} = \frac{\left(\frac{1}{C_{int} + C_{ext}} \right) s}{s^2 + \frac{K_{pobs}}{C_{int} + C_{ext}} s + \frac{K_{iobs}}{C_{int} + C_{ext}}}. \quad (4)$$

В результате приведения коэффициентов полинома ФНЧ Баттерворта 2-го порядка $s^2 + \sqrt{2} \cdot s + 1$ к частотам среза $f_{sr1} = f_{sr2} = 300$ Гц путём выполнения замен $s \rightarrow \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot f_{sr}}$ и $s^2 \rightarrow \frac{s^2}{(2 \cdot \pi \cdot f_{sr})^2}$ были получены расчётные соотношения (5) для определения параметров ПИ-регуляторов.

$$K_{preg} = K_{pobs} = 300 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2} \cdot (C_{int} + C_{ext}), \quad K_{ireg} = K_{iobs} = (300 \cdot 2 \cdot \pi)^2 \cdot (C_{int} + C_{ext}). \quad (5)$$

Система с наблюдателем продемонстрировала себя устойчивой как при варьировании частот среза, так и при варьировании величины C_{ext} в широком диапазоне.

Лучшие совокупные результаты по таким параметрам, как перерегулирование и время переходного процесса (ПП), по которому оценивается быстродействие системы, в момент включения СУ АВН и ДПТ, а также максимальная амплитуда колебания напряжения на конденсаторе, равная сумме низкочастотной и высокочастотной составляющих, показала система с наблюдателем, включенным согласно структурной

схеме, представленной на рис. 5 (а) с коэффициентами ПИ-регулятора напряжения K_{preg} и K_{ireg} . Результаты моделирования представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Оценка быстродействия исходной системы и системы с наблюдателем

Моделирование	Наименование параметра	
	Время ПП в момент пуска СУ АВН	Время ПП в момент пуска ДПТ
Исходная система	94 мс	90 мс
Система с наблюдателем	6 мс	20 мс

Таблица 2

Оценка качества ПП исходной системы и системы с наблюдателем при отклонении реальной величины ёмкости конденсатора в ЗПТ от паспортной

Моделирование	Отклонение ёмкости	Наименование параметра	
		Перерегулирование в момент пуска СУ АВН	Перерегулирование в момент пуска ДПТ
Исходная система	нет	37,3%	21,7%
	-10%	37,5%	21,8%
	+10%	36,9%	21,8%
Система с наблюдателем	нет	8,6%	3,3%
	-10%	9,1%	3,3%
	+10%	8,3%	2,7%

На рис. 6, помимо уменьшения перерегулирования в момент пуска СУ АВН и ДПТ, можно также наблюдать отсутствие низкочастотной составляющей пульсаций напряжения в ЗПТ.

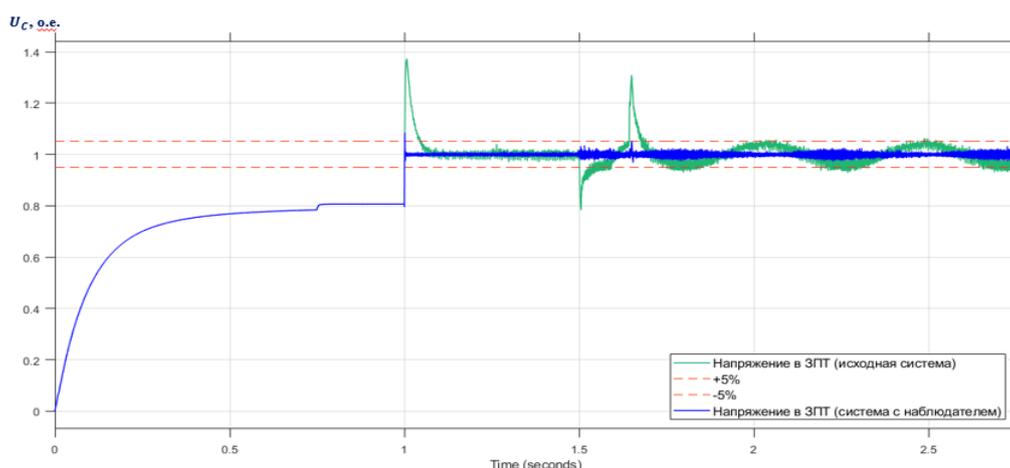


Рис. 6. Сравнение графиков изменения напряжения в ЗПТ исходной системы и системы с наблюдателем

Анализ зависимостей, представленных на рис. 7, показал, что увеличение быстродействия системы привело к увеличению амплитуды пульсаций тока на конденсаторе.

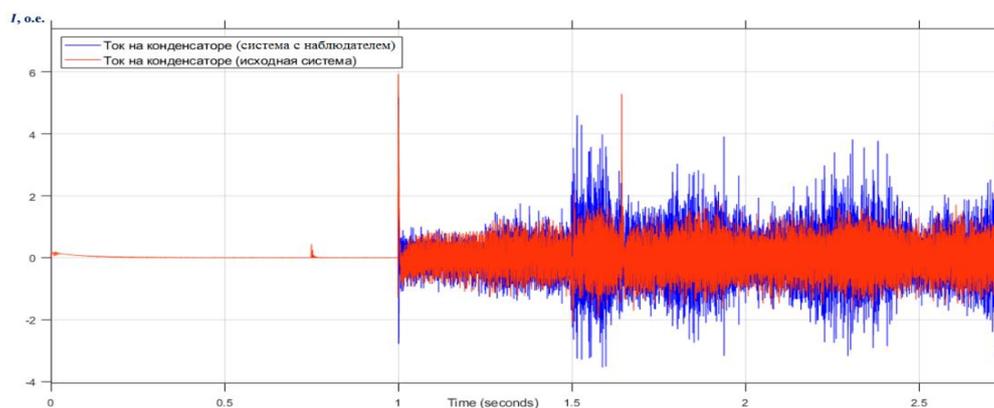


Рис. 7. Сравнение графиков изменения тока на конденсаторе исходной системы и системы с наблюдателем

Результатом работы являются установленные взаимосвязи между повышением быстродействия системы с АВН в режимах пуска СУ АВН и пуска ДПТ при изменении нагрузки в широком диапазоне и амплитудой пульсаций тока на конденсаторе при введении в СУ АВН наблюдателя напряжения в ЗПТ. Полученные результаты показывают, что применение наблюдателя позволяет улучшить стабилизацию напряжения в ЗПТ.

Литература

1. Ahmed Sayed-Ahmed, Robert Miklosovic. Regenerative Active Front End based motor-drive systems with enhanced dynamic performance. Rockwell Automation, Standard Drives Business. Mequon. WI. 2020.

Медведева Наталья Константиновна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42471,

направление подготовки: 38.04.01 – Экономика,

e-mail: apelsin.medvedeva@yandex.ru

Белинская Ирина Викторовна

Год рождения: 1977

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: belinska@yandex.ru

УДК 338.45

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ НА РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА**

Н.К. Медведева

Научный руководитель – к.э.н., доцент И.В. Белинская

Аннотация

В работе проведено исследование влияния инновационной инфраструктуры на производственный потенциал региона. Актуальность темы исследования в полной мере аргументирована усиливающейся ролью регионов в национальной экономике, нарастающей тенденцией мирового развития к переходу к более модернизированному технологическому укладу и необходимостью внедрении новых знаний и технологий для создания конкурентоспособной продукции и усиления социально-экономического развития.

Ключевые слова

Инновационная инфраструктура, производственный потенциал, инновационный потенциал, рекомендации по совершенствованию, инновационное развитие.

Одной из наиболее актуальных проблем региона является переход к инновационному развитию всей системы общественных преобразований. Конкурентоспособность региона приобретает новое значение – способность региона генерировать и быстро овладевать инновациями. В современных экономических условиях достижение геополитического лидерства через социально-экономическое развитие возможно только при внедрении новых знаний и технологий для создания конкурентоспособной высокотехнологичной продукции. С целью усиления инновационной активности региона следует учитывать изменения, происходящие во внутренней и внешней среде, и совершенствовать устоявшиеся инновационные механизмы.

Инновационная политика региона — это совокупность целей и приоритетов инновационного развития, правовых, организационных и экономических мероприятий, направленных на формирование благоприятного экономико-правового климата и инновационной среды для поддержки инновационных процессов [1]. Инновационная политика регулируется федеральными и региональными нормативно-правовыми актами, её основополагающие принципы и задачи зависят от специфических особенностей региона.

В современных условиях инновационная политика региона оказывает значительное влияние на реализацию регионального экономического потенциала и его составляющей – производственного потенциала. Состояние регионального производственного потенциала и его изменения, связанные со специфическими особенностями рассматриваемой территории, влияют на рост производства и благосостояния региона.

Производственный потенциал характеризует совокупность производственных ресурсов и результатов экономической деятельности, достигнутых на основе их использования [2].

Уровень инновационного развития региона напрямую зависит от его производственного потенциала. Для оценки производственного потенциала принято оценивать материально-техническое оснащение производства, инновационную и инвестиционную деятельность, потенциал предприятий производственного сектора, трудовой и ресурсно-сырьевой потенциал региона. На региональном уровне производственный потенциал региона регулируется законами Санкт-Петербурга.

Инновационная инфраструктура региона - совокупность хозяйствующих субъектов и институтов государственного управления, стимулирующих производство высокотехнологичной продукции и обеспечивающих реализацию инновационных проектов [3].

Региональная инновационная инфраструктура призвана обеспечить условия для формирования и развития различных отраслей инновационной экономики. Состояние региональной инновационной инфраструктуры в современных условиях становится определяющим фактором развития инновационной деятельности на территории региона. Инновационное развитие региона представляет собой управление социально-экономическими процессами в условиях быстро изменяющейся внешней среды. Уровень регионального инновационного развития зависит от множества факторов, к которым относятся степень государственного участия, уровень поддержки, социально-экономические условия осуществления инновационной деятельности, развитость инновационной среды, возможность привлечения дополнительных финансовых ресурсов.

Структурные показатели, характеризующие производственный потенциал г. Санкт-Петербурга в период с 2010 по 2019 годы. Данные представлены в табл. 1 [4].

Таблица 1

Структурные показатели производственного потенциала Санкт-Петербурга за 2010-2019 гг

Показатели	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Удельный вес валовой добавленной стоимости промышленного производства, %	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	20,7	20,6
Удельный вес продукции обрабатывающего производства в объёме промышленной продукции, %	91,1	92	93,2	91,5	91,5	91,3	88,5	88,4	89,8	89,1

Индексные показатели, характеризующие производственный потенциал Санкт-Петербурга за период с 2010 по 2020 гг. представлены на рис. 1 [4].

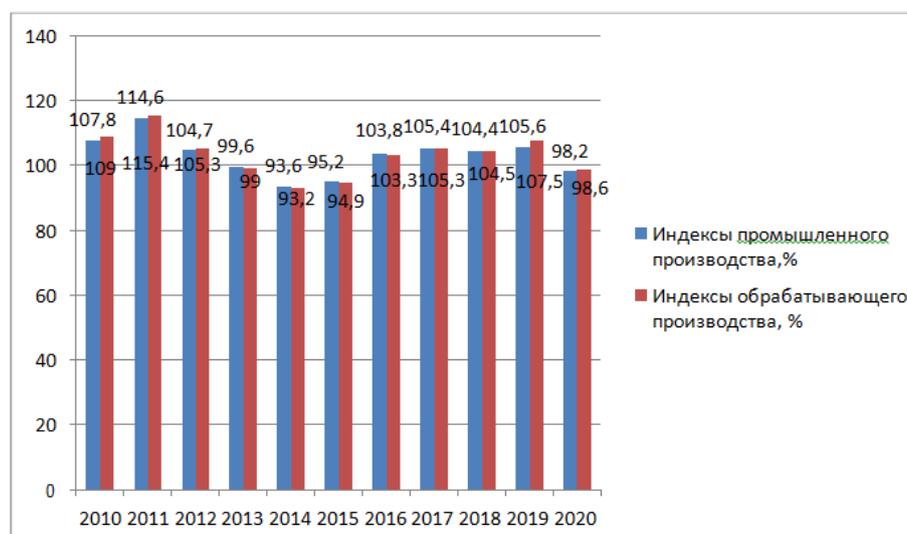


Рис. 2 Индексные показатели производственного потенциала Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург имеет достаточно высокий производственный потенциал, что выводит его в лидеры по объемам отгруженной промышленной продукции среди субъектов Российской Федерации. Активы промышленных предприятий практически не меняются на протяжении анализируемого периода. Высокотехнологичные сектора составляют основу производственного сектора Санкт-Петербурга. В регионе имеются возможности для расширения производственного процесса. Однако динамика индексов промышленного производства говорит о неустойчивости производственного потенциала региона к изменениям внешней среды.

Инновационная активность организации характеризует участие организации в инновационном процессе на территории региона в определённый промежуток времени [4]. Инновационная активность организаций в Санкт-Петербурге за период 2010 – 2019 гг. представлена в табл. 2 [4].

Таблица 2

Инновационная активность организаций в Санкт-Петербурге за период 2010 – 2019 гг

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Всего инноваций	13,0	18,9	18,8	18,0	18,9	17,2	14,8	16,1	28,3	15,4

Затраты на технологические инновации в Санкт-Петербурге в период с 2010 по 2019 год представлены в табл. 3 [4].

Таблица 3

Затраты на технологические инновации в Санкт-Петербурге за период 2010 – 2019 гг

Год	Млн. Руб.	Процент от общего объема отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, %
1	2	3
2010	19860,5	1,9

продолжение таблицы

1	2	3
2011	38290,3	1,8
2012	49457,5	2,7
2013	63773,5	3,6
2014	72921,9	4,4
2015	67845,1	2,4
2016	95946,3	3,1
2017	91871,3	2,8
2018	94160,1	2,5
2019	124539,1	2,8

Санкт-Петербург обладает развитой инновационной структурой и значительным инновационным потенциалом. Однако стоит отметить, что показатели инновационной структуры региона на протяжении с 2010 по 2019 гг. под воздействием внешних факторов изменяются нестабильно. Данное обстоятельство позволяет охарактеризовать инновационное развитие Санкт-Петербурга относительно неустойчивым. Эффективность инновационной деятельности напрямую зависит от объёма затрат на её осуществление.

Инновационный потенциал региона проявляется в развитии автомобильной отрасли, фармацевтической отрасли и отрасли информационных технологий. Также грузоперевозки, пассажироперевозки и потребительский рынок региона занимают значительное место в экономике России. В Санкт-Петербурге осуществляются региональные программы поддержки малого и среднего бизнеса в виде налоговых льгот, субсидий, специальных программ поддержки, конкурсов и частичного возмещения затрат на экспорт.

По данным Рейтинга инновационных регионов России, который был совместной разработкой Ассоциации инновационных регионов России и Министерства экономического развития показатели инновационной инфраструктуры и производственного потенциала развивались нестабильно на протяжении 2016-2018 годов, что позволяет выдвинуть предположение о наличии зависимости между производственным потенциалом и инновационной инфраструктурой [5]. Для проверки выдвинутой гипотезы была построена корреляционная модель, представленная на рис. 2.

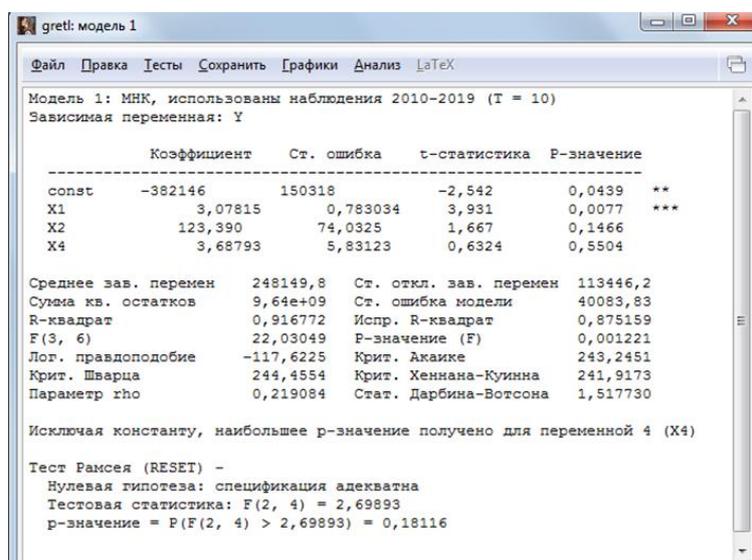


Рис. 2. Корреляционная модель зависимости производственного потенциала от уровня инновационной инфраструктуры

Рассчитываемое значение R-квадрат довольно высокое – 0,92, т.е. в 92% случаев изменения инновационной инфраструктуры приводят к изменению производственного потенциала. Точность подбора уравнения регрессии достаточно высока, что позволяет сделать вывод о значимости уравнения в целом и подтвердить гипотезу о наличие зависимости между производственным потенциалом и инновационной инфраструктурой. Наибольшее влияние оказывают внутренние затраты на НИОКР.

Основными факторами, оказывающими негативное влияние на инновационное развитие, являются: недостаточное финансирование, недостаточно активная научно-исследовательская деятельность, низкий уровень восприятия инноваций, отсутствие соответствующей структуры управления, недостаточно развит трансфер знаний и технологий и проработана законодательная база, а также устаревание имеющейся производственно-технической базы. На основе выявленных проблем были разработаны мероприятия по совершенствованию инновационной инфраструктуры.

В целях развития инновационной инфраструктуры и производственного потенциала г. Санкт-Петербурга предлагается расширить систему государственно-частного партнёрства, распространив её действие на объекты высокотехнологического производства и инновационные проекты. Новый институт государственно-частного партнёрства позволит частному бизнесу привлечь дополнительные средства для создания инновационных производственных центров наподобие Лахта Центра 2.

Сочетание совместных усилий представителей частного сектора и государства должно поспособствовать инновационному развитию территории через утверждение экологического производства и снижения его вредоносных эффектов. Ещё одним направлением данного мероприятия станет объединение усилий высших образовательных учреждений и бизнеса для построения инновационных центров по типу ИТМО Хайпарка с целью разработки новых производственных решений и подготовки инновационных специалистов, способных работать в конкретных организациях.

Второе мероприятия - расширение кластерной среды и создание новых территориальных кластеров. Рассмотрим его на примере пищевой промышленности. Объединение производителей позволит смягчить конкуренцию и ускорить процесс внедрения инноваций в производство. Проведение данного мероприятия становится необходимым в связи с изменениями в предпочтениях потребителей, вызванных новой коронавирусной инфекцией, так как потребители стали более критично относиться к производителям и поставщикам пищевой продукции и беспокоиться об укреплении иммунитета. Так как пищевая промышленность является одним из важнейших секторов промышленности Санкт-Петербурга, то внедрение инноваций позволит увеличить объёмы инновационной продукции в ВРП и повысить производственный потенциал региона.

Третье мероприятие - разработка эффективных маркетинговых механизмов коммерциализации инноваций в производстве. Проведение инновационного маркетинга необходимо в связи с тем, что на рынке всё ещё формируется инновационная культура. По данным опроса Консалтинговой компании КПМГ и Агентства стратегических инициатив лишь 51% от 148 опрошенных компаний внедрял инновации. Большинство респондентов использовали инновации для сохранения текущего положения, исполнения законов и пиара. Только 2% организаций внедряли инновации, следуя их первоначальному назначению – выпуску новых продуктов и выходу на новые рынки [6].

Мероприятие реализуется через создание нового института для вовлечения большего числа организаций в инновационный процесс, формирования правильного восприятия инноваций, активизации инновационной активности и расширения количества участников на инновационном рынке.

Эффектом от реализации предложенных мероприятий станет диверсификация продукции, ускорение трансфера инноваций, увеличение количества рабочих мест,

повышение качества жизни и увеличение доли инновационной продукции в ВРП.

Во время исследования было изучено состояние производственного потенциала и инновационной инфраструктуры Санкт-Петербурга за 2010-2019 гг. Произведена оценка влияния уровня инновационной инфраструктуры на производственный потенциал Санкт-Петербурга и разработаны определенные рекомендации по совершенствованию инновационной инфраструктуры в Санкт-Петербурге. Проведение мероприятий по усилению инновационной инфраструктуры необходимо для наращивания производственного потенциала. Эффективность предложенных мероприятий заключается в создании условий для расширения инновационного потенциала организаций и формировании качественно новой инновационной инфраструктуры региона.

Литература

1. Гришин В.И. Региональная экономика: учебник. М.: КноРус. 2021. 457 с.
2. Глушко В.О., Кочева Е.В., Зорникова Н.В. Разработка и анализ интегрального показателя производственного потенциала России и ее субъектов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/72TVN417.pdf> (дата обращения: 03.03.2021).
3. Борисова Е.В. Формирование инновационной инфраструктуры региона в условиях наращивания производства высокотехнологичной гражданской продукции // Вестник Евразийской науки, 2018 №3, <https://esj.today/PDF/29ECVN318.pdf> (дата обращения 16.03.2021).
4. Регионы России. Социально-экономические показатели // Федеральная служба государственной статистики URL: <https://issek.hse.ru/pubs/share/direct/315124078.png> (дата обращения: 05.01.2021).
5. Рейтинг инновационного развития регионов России [Электронный ресурс]. URL: <https://issek.hse.ru/rirr2019> (дата обращения 27.04.2021).
6. Как крупнейшие компании внедряют инновации // Агентство стратегических инноваций // URL: <https://asi.ru/news/153157/> (дата обращения: 22.05.2021).

Мельчаков Роман Максимович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т42061,

направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья,

e-mail: romanmelchakov@mail.ru

Бараненко Денис Александрович

Год рождения: 1981

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: denis.baranenko@itmo.ru

УДК 664

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КСЕНОБИОТИКОВ НЕЙРОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
В ПИЩЕВОМ СЫРЬЕ РЕГИОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

Р.М. Мельчаков

Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.А. Бараненко

Аннотация

Эта диссертация сосредоточена на аналитическом химическом аспекте исследований ВМАА: охватывая как разработку нового метода идентификации токсина, так и тщательное изучение литературного обзора по данной тематике. В последние годы были разработаны различные методы анализа ВМАА. Некоторые из них применяют высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) с масс-спектрометрической (МС) или спектрофотометрической детекцией в УФ диапазоне с использованием образцов, которые были предварительно дериватизированы. На сегодняшний день подход ВЭЖХ-МС является широко используемым аналитическим методом, поскольку он является селективным и чувствительным методом для определения ВМАА. Однако для его осуществления необходимо проведение дериватизации с помощью сложных дорогостоящих наборов реактивов, например, AccQ•Tag Ultra Derivatization Kit фирмы Waters. В данном исследовании впервые предложено использование оригинального способа дериватизации ацилированием(силилированием) с последующей детекцией на газовом хромато-масс-спектрометре.

Ключевые слова

Ксенобиотик нейротоксического действия, нейродегенеративные заболевания, хроматография, трофические сети Балтийского моря, цианобактерии.

В работе Балтийское море исследовалось как модельная система для биоаккумуляции и переноса ВМАА по трофической сети в водной экосистеме с повторяющимся цветением цианобактерий, потенциально способствующим образованию ВМАА. Цветение произошло с момента первоначального образования Балтийского моря, примерно 8000 лет назад. Следовательно, цианобактерии являются неотъемлемой частью экосистемы Балтийского моря и действуют как важные первичные продуценты и поставщики питательных веществ как на различных этапах жизни, так и при гибели клеток (лизисе) [1-3].

Открытие о широком распространении ВМАА у цианобактерий и эукариотических организмов в Балтийском море требует дополнительных исследований, касающихся возможной передачи нейротоксического вещества ВМАА людям и потенциальных рисков для здоровья, связанных с такими событиями. Если доказано, что он вызывает нейродегенеративные заболевания, необходимы усилия по минимизации воздействия ВМАА на население. Это может включать в себя разработку стратегий предотвращения ВМАА, например, с помощью некоторых «систем раннего предупреждения» о цианобактериях, продуцирующих ВМАА, или определение ключевых индикаторов их появления, таких как температура и статус питательных веществ. Еще одним вариантом является разработка быстрых, дешевых и надежных методов скрининга ВМАА в воде и в организмах, предназначенных для потребления человеком, с использованием, например, молекулярных маркеров (белков, генов). Для понимания потенциальных триггеров производства ВМАА необходимы дальнейшие исследования, чтобы полностью понять естественную функцию (если таковая имеется) ВМАА в организмах-продуцентах (например, цианобактериях). Другой важнейшей задачей является разработка дешевых и эффективных методов удаления ВМАА из воды и пищевых продуктов.

Текущая диссертация охватывает аналитические аспекты исследований ВМАА, в частности, разработку новых, более чувствительных аналитических методов для количественной оценки ВМАА в биологических матрицах, а также применение разработанных и существующих методов к естественным образцам для решения проблем распространения ВМАА и возможного воздействия на общественность.

Был разработан новый метод количественного определения ВМАА методом GC-MS анализа с использованием дериватирующего агента изобутилхлорформиата. Он показал лучшую чувствительность по сравнению с обычно используемой дериватизацией AQC из-за постоянного заряда, который облегчает обнаружение соединений в MS.

Основные выводы:

- разработан способ предварительной дериватизации нейротоксинов для определения методом ГХ-МС;
- определены параметры хроматографирования аминокислот на газовом хромато-масс-спектрометре, а также оптимизированы условия анализа, определён предел обнаружения;
- изучен возможный перенос между трофическими уровнями и накопление нейротоксина в организмах Балтийского моря, что может быть путем воздействия на человека;
- определена фрагментация нейротоксина методом масс-спектрометрии с ионизацией электронным ударом с получением масс образовавшихся осколков;
- найдено применение предложенного метода для определения ксенобиотиков в сырье региона Балтийского моря, определены пути направления дальнейших исследований, а также новых объектов исследования.

Результаты эксперимента

Подготовка проб для анализа на содержание Diaminobutyric acid dihydrochloride (DAB).

Образцы для анализа доставляются в замороженном виде. Для определения концентрации аминокислот пробу размораживают и в хроматографическую виалу объемом 2 мл дозатором отбирают 200 мкл. Затем добавляют в виалу 60 мкл дистиллированной воды, 60 мкл изобутанола, 10 мкл пиридина и 60 мкл изобутилхлорформиата. Виалу закрывают пробкой и тщательно перемешивают 5 мин. Затем для экстракции полученных дериватов аминокислот в виалу добавляют 500 мкл

рабочего раствора антрацена в гексане (раствор 4). Полученный раствор вновь тщательно перемешивают в течении 5 мин, а затем отбирают для анализа верхний (гексановый) слой.

Сбор и обработку хроматографических данных осуществляют с помощью программного обеспечения хромато-масс-спектрометра GCMS-TQ 8040 (Shimadzu). Создание метода сбора данных, настройку параметров обработки хроматограммы осуществляют в соответствии с «Руководством пользователя». Время удерживания аминокислот устанавливают согласно данным табл. 1, с возможной коррекцией по состоянию хроматографической колонки.

Таблица 1

Компонент	Время удерживания, мин
DAB	22.252

Количество измерений для каждого образца – не менее 3 раз. Измерения ведут при соблюдении условий, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Режим сканирования	Сканирование в режиме полного ионного тока (TIC)
Интервал масс	45-500
Температура ионного источника	200оС
Температура интерфейса	250оС
Хроматографическая колонка	Rxi-5SiMs (30m x 0.25 mm x 0.25 μ m)
Газ-носитель	Гелий
Скорость газа-носителя	1.03 мл/мин
Режим газового потока	Split/splitless режим (splitless 1 мин, затем split 10:1)
Температура инжектора	220оС
Режим программирования температура колонки	Начальный изотермический участок 50оС 1 мин, затем подъем температуры колонки до 250оС (10оС/мин), конечный изотермический участок 250оС 10 мин
Объем вводимой пробы	1 мкл
Общее время хроматографирования	40 мин

Литература

1. Bianchi T.S., Engelhaupt E., Westman P., Andren T., Rolff C., Elmgren R. (2000) Cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: natural or human-induced? *Limnol Oceanogr* 45:716-726.
2. Banack SA, Cox PA (2003b) Distribution of the neurotoxic nonprotein amino acid BMAA in *Cycas micronesica*. *Bot J Linn Soc* 143:165-168.
3. Van Onselen R., Cook N.A., Phelan R.R. & Downing T.G. Bacteria do not incorporate β -N-methylamino-l-alanine into their proteins. *Toxicon* 102. 55–61 (2015).

Милантьев Сергей Андреевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42141,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: nevdev@niuitmo.ru

Бессмертный Игорь Александрович

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

д.т.н, профессор,

e-mail: bessmertny@itmo.ru

УДК 004.89

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СКРИНИНГА КОЖНЫХ ПОРАЖЕНИЙ

С.А. Милантьев

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Бессмертный

Работа выполнена в рамках темы НИР №287685 «Применение сверточных нейронных сетей для скрининга кожных поражений».

Аннотация

В данной статье рассмотрено использование глубокого обучения для задачи классификации поражений кожи с предварительной обработкой данных. Каждое изображение было сегментировано с помощью R2U-Net перед классификацией, где по обозначимым контурам были удалены малозначимые области на изображении. К каждому изображению применялась цветовая коррективная и аугментация данных. Для данной задачи использовались R2U-Net для сегментации и ансамбль из EfficientNet, SENet-154, ResNeXt-101 32x4d и Inception-ResNet-v2 для классификации кожных заболеваний. При классификации применялись метаданные пациента, подключенные к сверточной нейронной сети через многослойную нейронную сеть. Полученные результаты оказались впечатляющими. Ансамбль моделей достиг показателя чувствительности 81.7% и специфичности 97.7%.

Ключевые слова

Анализ кожных поражений, глубокое обучение, сверточные нейронные сети, предобработка изображений, аугментация данных, R2U-Net, EfficientNet, ResNeXt, SENet, Inception-ResNet.

Рак кожи представляет собой острую социальную проблему, поскольку является одним из распространенных заболеваний человека, которое быстро развивается и поражает любой возраст и пол. Проблему можно решить в специализированной медицинской клинике, однако для точного диагноза нужен хороший эксперт в данной области. Помимо этого, большинство людей не проходят обследований в клинике, так как их не беспокоят кожные поражения или они боятся диагностировать рак. Приложение, способное обнаруживать и правильно классифицировать кожные заболевания, может не только увеличить эффективность лечения, но и предоставит пользователю самостоятельно проводить диагностику.

На данный момент большинство сервисов реализуют модели по бинарной классификации без учета редких заболеваний. Международное сотрудничество по борьбе с кожным раком ISIC последние несколько лет поддерживает на платформе Kaggle соревнование для поиска лучшей архитектуры и решения в данной проблематике. В последние годы начали проводиться исследования в сторону многоклассовых классификаций. Однако большинство научных работ в основном полагаются на модели сверточных нейронных сетей, а не на предобработку данных.

Предлагаемый подход подтверждает гипотезу о необходимости проведения преобработки данных перед обучением моделей, основанных на методах машинного обучения. Предлагаемое решение анализирует введенные метаданные пациента и при классификации кожных поражений учитывает редкие заболевания. Также решение выполнено по принципам чистой архитектуры (англ. clean architecture), что позволяет без проблем внедрять сервис во внутренние системы или же использовать в качестве веб-сервиса, ключевым ядром которого является ансамбль моделей многоклассовой классификации кожных поражений.

Основной целью данной работы является разработка моделей и приложения для диагностики кожных поражений с учетом введенных метаданных пациента, позволяющей решить данную проблему с лучшими показателями качества, чем у существующих решений (в том числе научных работ).

При проведении экспериментов использовался официальный датасет ISIC, где эксперты из ведущих клиник по всему миру определили классы кожных поражений для изображений. Также применялись дополнительные наборы данных SD-198 (SD-260), PH², MED-NODE, Seven-Point и Light Field. Каждое изображение кожного поражения имеет различные параметры разрешения, цветовой гаммы, качества съемки. Многие из фотографий кожных поражений имеют последовательность из различных стадий развития. Наборы Seven-Point и SD-198 (SD-260) являются приватными, и доступ к ним осуществляется по запросу с целью проведения научных исследований.

Для обучения неизвестному классу использовался датасет SD-198, так как в нем содержатся изображения достаточно низкого качества, с разными приближениями, освещением и размерами. Кроме того, в качестве неизвестного класса использовались нераковые изображения других кожных поражений (бородавки, кисты, рецидивирующие невусы и т.д.).

В качестве метаданных были использованы следующие показатели:

- 1) пигментная сеть;
- 2) исторический диагноз;
- 3) участок поражения;
- 4) асимметричный тип;
- 5) области регрессии;
- 6) точки и глобулы;
- 7) цвет поражения;
- 8) бело-голубая вуаль;
- 9) сосудистая структура;
- 10) тип вздутия;
- 11) фототип кожи;
- 12) тип меланоцитарного невуса;
- 13) возраст и пол.

Из перечисленных выше метаданных только возраст является численным параметром, остальные являются категориальными.

К метаданным и изображениям кожных поражений были применены методы предобработки с целью повышения качества классификации. К каждому изображению применялись сверточная нейронная сеть R2U-Net, результат преобразования которой

представлен на рис. 1. С помощью данной нейронной сети изображения обретают контуры, на основе которых удаляется часть малозначимой информации, за счет чего повышается точность и чувствительность модели [1].

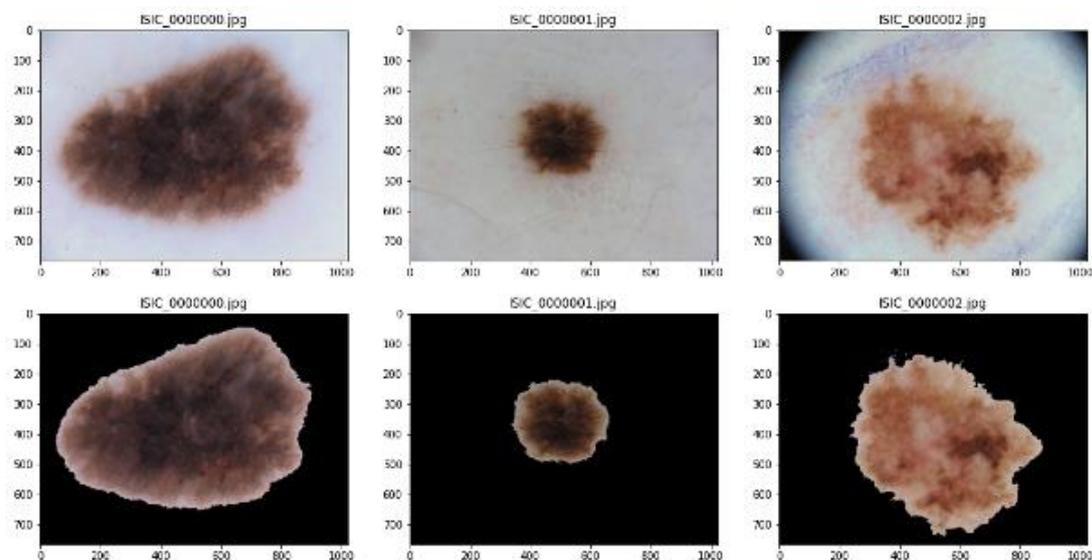


Рис. 1. Преобразования при помощи R2U-NET

С помощью библиотеки ImageMagick, используя небольшой параметр нечеткости, удалялись черные области на изображениях [2]. Далее к каждому изображению применялись оттенки серого с нормой Минковского с коэффициентом $p=6$ [3].

Для метаданных пациента для пропущенных и аномальных значений применялись усредняющие методы. Для метаданных была выдвинута гипотеза, основываясь на результатах проведенного анализа данных, в том числе кластерного анализа. Экспериментально подтвердилось, что использование медианного значения для числовых параметров и моды для категорий показывает лучший результат, чем пропуск таких значений.

Для преобразования бинарных признаков применялся подход label encoding, для остальных - one-hot encoding. В качестве признака возраста пациента использовался подход кодирования средним: по каждой болезни вычислялось среднее по возрасту пациентов с данным заболеванием. К полученным метаданным применялся метод главных компонент.

Данные играют ключевую роль в обучении глубоких нейронных сетей, однако существует проблема, заключающаяся в том, что часть кожных поражений встречается значительно реже других. Для решения проблемы распределения баланса классов применялась взвешенная кросс-энтропия в качестве функции потерь и аугментация данных, являющейся ключевой в повышении качества работы модели.

Перед аугментацией каждое изображение масштабировалось под необходимый размер методом PAD. При аугментации данных применялась стратегия случайных преобразований, где каждое преобразование выполняется с вероятностью 0.5 [4]. Ниже представлены параметры применяемых преобразований:

1. Вращение от -45° до 45° .
2. Сдвиг.
3. Переворот по горизонтали и/или вертикали.
4. Поворот на 90° .
5. Масштабирование от 1.0 (исходное масштабирование) до 1.12.
6. Изменение яркости и контрастности не более, чем 10% относительно оригинала.

7. Не более двух квадратных вырезов (англ. cutout) размером 16×16 [5].

На рис. 2 приведен пример примененных преобразований к изображениям кожных поражений.

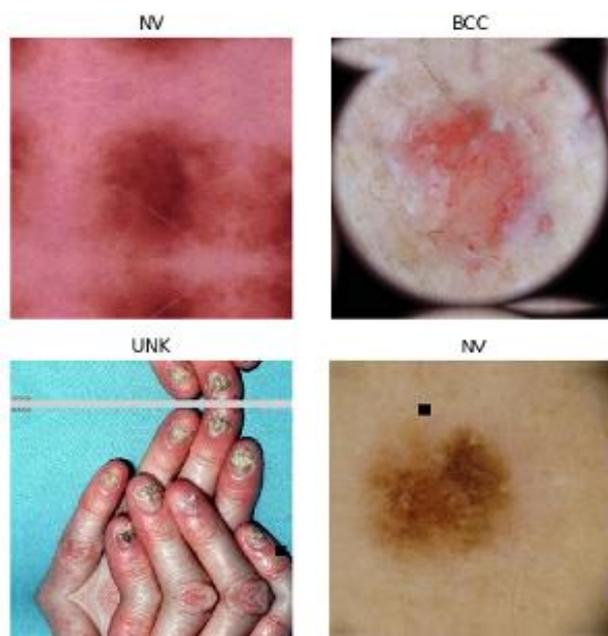


Рис. 2. Аугментация данных

Эксперименты проводились с предобученными state-of-the-art моделями глубокого обучения для задачи классификации медицинских изображений. Модели были реализованы с использованием фреймворка PyTorch. В обучении каждой модели применялась кросс-валидация (5 фолдов). В качестве оптимизатора был выбран SGD Нестерова с моментумом 0.9.

После обучения сверточной нейронной сети веса модели фиксировались и проходили эксперименты по внедрению метаданных пациента. Для метаданных была реализована многослойная нейронная сеть с нормализацией по батчам, функцией активации ReLU и dropout с вероятностью 0.2. Результирующий вектор нейронной сети метаданных объединялся с полносвязным слоем сверточной нейронной сети и передавался в объединяющий слой. На рис. 3 представлена архитектура классификационной модели.

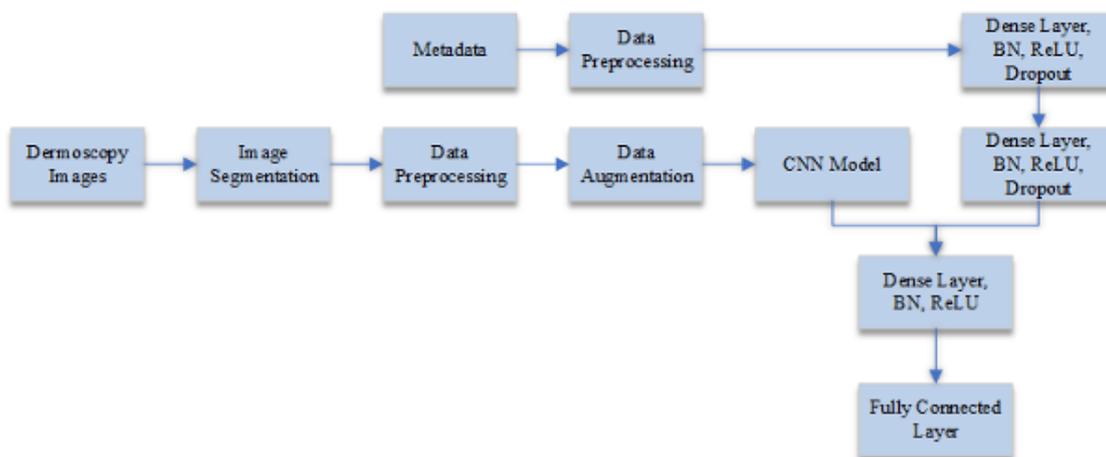


Рис. 3. Универсальная архитектура классификационной модели

Каждая модель создает 25 прогнозов для каждого изображения (в зависимости от стратегии случайных преобразований аугментации данных) и возвращает усредненный результат. В результате проведенных экспериментов были отобраны следующие модели: SENet154, ResNeXt-101 32x4d, Inception-ResNet-v2 и семейство EfficientNet (B0-B7). Отбор проходил в первую очередь по метрике чувствительности (англ. recall), которая является ключевой метрикой для медицинских исследований. Прогноз ансамбля строился из усредненного прогноза по всем моделям.

Результаты ансамбля по каждому из заболеваний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты ансамбля моделей

Класс	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Melanoma (MEL)	94.2%	0.9	0.79	0.84
Melanocytic Nevus (NV)	93.1%	0.89	0.97	0.93
Basal Cell Carcinoma (BCC)	97.2%	0.91	0.87	0.89
Actinic Keratosis (AK)	98.7%	0.81	0.81	0.81
Benign Keratosis (BKL)	94.5%	0.72	0.72	0.72
Dermatofibroma (DF)	99.5%	0.73	0.87	0.79
Vascular Lesion (VASC)	98.8%	0.95	0.75	0.84
Squamous Cell Carcinoma (SCC)	98.9%	0.87	0.73	0.79
Результат	96.86%	0.85	0.82	0.83

Для интеграции классификационной модели был реализован независимый модуль, базирующийся на чистой архитектуре с использованием фреймворков Flask и Angular. Для взаимодействия с различными базами данными был реализован модуль, где на основе SQLAlchemy реализованы соединения для PostgreSQL, MS-SQL, MySQL и Oracle. Веб-интерфейс был адаптирован под мобильные устройства. Ансамблированные модели формата pth были внедрены в серверную составляющую при помощи fastai. Реализованный модуль может работать в качестве самостоятельного веб-сервиса или может быть внедрен в любую имеющуюся медицинскую систему.

В качестве сравнений результатов были выбраны лидирующие научные работы по классификации кожных поражений, результаты которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение результатов

Научная работа	Чувствительность	Специфичность
Gessert, N., et al.: Skin Lesion Classification Using Ensembles	0.74 ± 1.1%	0.97 ± 1.1%
Zhang, P.: MelaNet: A Deep Dense Attention Network for Melanoma Detection in Dermoscopy Images	0.78 ± 2%	0.96 ± 2%
Ahmed, S.A., Yanikoglu, B., Aptoula, E., Goksu, O.: Skin Lesion Classification with Deep Learning Ensembles	0.8	0.95
Airdoctor Team. Manuscript for ISIC Challenge	0.77 ± 2%	0.99 ± 0.1%
Skin Lesion Analysis Using Ensemble of CNN with Dermoscopic Images and Metadata (текущий проект)	0.82	0.98

Как из табл. 2 видно, что дополнительные методы обработки данных (изображений и метаданных) показывают лучшие результаты среди лидирующих научных работ. Результаты разработанного ансамбля оказались достаточно высокими: по показателям чувствительности (англ. recall) модель оказалась лучшей среди всех научных работ.

Проведение экспериментов и разработка решения на данный момент полностью завершена и готова к использованию или внедрению. В результате выполнения данной работы были проведены эксперименты по решению задачи классификации кожных поражений, в том числе по предобработке и аугментации данных. Были разработаны и реализованы модели сверточных нейронных сетей, объединенные в соответствии со стратегией ансамблирования. Результаты ансамбля моделей оказались лучшими по показателям чувствительности ($\text{recall} = 0.82$) в сравнении с результатами смежных научных работ. Разработано адаптивное веб-приложение, позволяющее пользователем проводить классификацию кожных поражений по загруженной фотографии и введенным значениям метаданных.

В дальнейшем планируется провести эксперименты по созданию своей архитектуры сверточной нейронной сети для медицинских задач, в том числе с параллельным использованием сегментированных и несегментированных изображений в качестве входных данных. Помимо этого, планируется реализовать сервис, агрегирующий различные медицинские задачи с использованием компьютерного зрения.

Литература

1. Alom M.Z., Yakopcic C. Recurrent Residual Convolutional Neural Network based on U-Net // In: NAECON 2018 – IEEE National Aerospace and Electronics Conference, pp. 228-233. Dayton. USA. 2018.
2. ImageMagick - Convert, Edit, or Compose Bitmap Images [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.imagemagick.org> (дата обращения: 23.10.20).
3. Finlayson G., Trezzi E. Shades of Gray and Colour Constancy // In: IS&T/SID Twelfth Color Imaging Conference, pp. 37–41, Scottsdale, Arizona, USA, 2004.
4. Russakovsky O., et al. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge // In: International Journal of Computer Vision. pp. 211-252. 2015.
5. DeVries T., Taylor G.W. Improved regularization of convolutional neural networks with cutout // Preprint at arXiv:1708.04552. 2017.

Милешин Андрей Александрович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42142,

направление подготовки: 09.04.04. – Системное и прикладное

программное обеспечение,

e-mail: mileschin@itmo.ru

Перминов Илья Валентинович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н.,

e-mail: il@cs.ifmo.ru

УДК 004.822

**МОДУЛЬ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА
НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ**

А.А. Милешин

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

Аннотация

Статья посвящена проблеме определения тональности текста на русском языке. Эта проблема оказывает значительное влияние на широкий спектр задач обработки естественного языка, таких как определение мониторинг и анализ отзывов в интернете. В результате исследования была предложена новая модель извлечения эмоциональных окрасок из текста на естественном языке и разработан программный модуль для доказательства предложенного метода. Разработанный модуль был протестирован на наборе данных, предварительно оцененных экспертами. Результаты тестирования показывают эффективность предложенного метода в сравнение с существующими решениями.

Ключевые слова

Тональность текста, обработка текста на естественном языке, анализ тональности текста, модель ОСС.

Информационное пространство современного мира в условиях быстрого развития и распространения социальных медиа наполнено различными отзывами и мнениями. Люди активно пишут комментарии под постами в социальных сетях, ведут собственные микроблоги и оставляют отзывы о покупках в онлайн магазинах. Для поддержки собственной репутации публичным компаниям и известным брендам приходится активно реагировать на любую критику или похвалу в интернете. В связи с этим такая задача, как определение тональности и эмоциональной окраски текста является важной задачей в наше время.

Для определения эмоциональной окраски текста используется “сентимент анализ”. Задача анализа тональности текста сводится к классификации документа по тональным оценкам. К сожалению, большинство существующих методов сентимент анализа текстов на русском языке используют бинарную шкалу эмоциональных состояний (позитив/негатив). Использование столь ограниченной шкалы приводит к частым

ошибкам и трудностям в определении эмоциональной окраски текста. Также серьезной проблемой при анализе тональности текста является наличие в тексте отрицания. При наличии отрицания методы, которые не учитывают семантические отношения слов, то есть рассматривают эмоциональную окраску каждого слова по отдельности могут не верно определить тональность текста. При этом не только дают неверный результат, но и противоположный истинному. Помимо этого, сложности могут возникнуть при анализе небольшого текста или текста, вовсе не имеющего эмоциональной окраски.

Значение тональности текстов, зачастую, зависит от того, кто проводит анализ. Различные люди могут по-разному воспринимать эмоциональную окраску текста, в зависимости от личного социального опыта. Предметная область, также может повлиять на восприятие эмоциональной окраски слов. Так, например слово “приключение” в художественной литературе, скорее всего будет иметь позитивную окраску. Однако первоначально, оно использовалось в рассказах на античные темы и означало “удар судьбы”, что имеет явно негативный характер. В наше время, так же можно встретить негативную окраску этого слова, в основном в различных блогах, к примеру “Вчера забыл ключи дома, пришлось лезть домой в окно. Вот такое вот приключение.” Самой сложной в преодолении проблемой, является наличие саркастических предложений в тексте. Без знания контекста и предметной области текста, невозможно определить истинное значение эмоциональной окраски таких предложений.

Целью данной работы является повышение эффективности анализа тональности текста на русском языке за счёт использования модели с множественной классификацией эмоций.

Для корректного определения эмоциональной окраски текста необходимо использовать его семантику. Поэтому в данной работе используется семантическая сеть. Семантическая сеть — это ориентированный граф, в вершинах которого находятся смыслы, отражающие определенную предметную область. [1] Связи между понятиями задаются ребрами графа, которые отражают семантические отношения. В отличие от словарей, семантические сети оперируют не словами, а их конкретными смыслами и толкованиями.

В основу разработанного подхода легла модель эмоций OCC. На сегодняшний день эта модель является одной из самых распространенной для когнитивной оценки эмоций. Модель была представлена в книге «Когнитивная структура эмоций» за авторством Ортони, Клоре и Коллинз [2]. Модель OCC представлена на рис. 1.

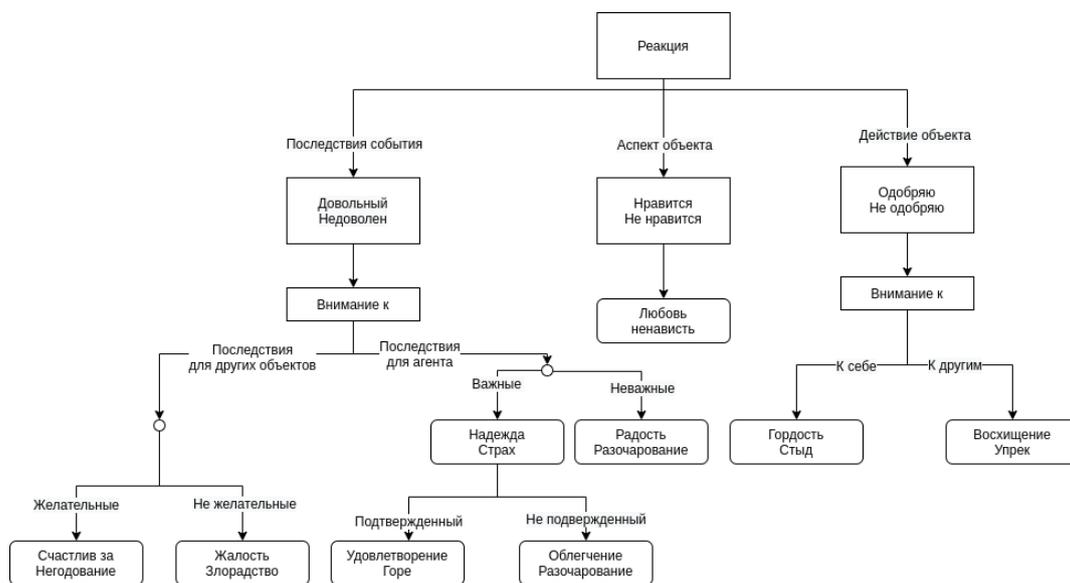


Рис. 1. Модель OCC

Использование модели OCC удобно тем, что она основывается на валентной реакции на события, агентов или объекты, представляет из себя некоторую структуру оценки эмоций. Благодаря этому вместе с данной моделью можно применять уже известные методы обработки естественного языка.

В модели OCC существуют несколько типов переменных: Агенто-ориентированные, объектно-ориентированные, событийно-ориентированные и переменные интенсивности эмоции. Ниже представлены все эти переменные, а также их описания.

Self_Presumption (SP) и **Self_Reaction (SR)** имеют значения *desirable/undesirable* и *pleased/displeased* соответственно. Данные переменные оцениваются по отношению к событию.

Other_Presumption (OP) может иметь значения *desirable/undesirable*. Оцениваются они с точки зрения агента, имеющего отношение к оцениваемому событию.

Direction_of_Emotion (DE) может принимать значение *self/other*. Зависит от того, реагирует на агента на последствия событий для себя или на последствия событий для других.

Prospect (pros) может принимать значения *positive/negative*. Означает ожидание того, что событие произойдет в будущем. Значение устанавливается в соответствии с семантической ориентацией действия.

Status (stat) может принимать значения *unconfirmed, confirmed, disconfirmed*. Если время глагола, связанного с событием, будущее или глагол относится к модальным (мочь, уметь т.п), то устанавливается значение *unconfirmed*. В свою очередь, если событие является положительным, а время глагола, связанного с событием, прошедшее, то значение *Status = confirmed*. Если же действие является отрицательным и глагол в прошедшем времени без отрицательной частицы «не», то значение также устанавливается в *confirmed*.

Agent_Fondness (af) и **object_fondness (of)** могут принимать значения *liked/not liked*. Если агент или объект, связанный с событием, является положительным, то устанавливается значение *liked*, в остальных случаях для этих переменных устанавливается значение *not liked*.

Self_Appraisal (sa) может принимать значения *praiseworthy/blameworthy*. Значение устанавливается в зависимости от того, достойно ли событие похвалы или заслуживает порицания. В данной работе значение *Self_Appraisal* рассматривается как смысловая ориентация глагола.

Object_Appealing (oa) может принимать значения *attractive/not attractive*. Значение устанавливается в соответствии с тем является ли объект привлекательным или нет. В данной работе, чтобы установить значение *Object_Appealing*, рассматриваются две эвристики: положительность или отрицательность объекта и его популярность.

Valenced_Reaction (vr) может принимать значения *true/false*. Значение *true* говорит о том, что анализируемое предложение содержит эмоции, а не является нейтральным

Unexpectedness (unexp) может принимать значения *true/false*. Данная переменная сигнализирует о том, являлось ли событие внезапным.

Event_Deservingness (ed) может принимать значения *high/low*. Переменная означает в какой степени агент желает событие для самого себя или других.

Effort_of_Action (eoa) может принимать значения *obvious/not obvious*. Согласно модели OCC, чем больше вложено усилий, тем интенсивнее является эмоция. Если у действия есть такое наречие как «усердно», «быстро», «высоко» и т.п, то значение *Effort_of_Action* устанавливается как *obvious*, иначе *not obvious*.

Expected_Deviation (edev) может принимать значения *high/low*. Данная переменная означает насколько событие нетипично или типично для агента.

Event_Familiarity (ef) может принимать значения *common/uncommon*.

Переменная показывает, насколько привычным является сочетания действия и объекта.

На основе когнитивных переменных в модели ОСС были составлены правила для каждого типа эмоций. Данные правила приведены в табл. 1.

Таблица 1

Правила для определения эмоций по когнитивным переменным в модели ОСС

Эмоции	Правила
Радость	vr = true & sr = 'pleased' & sp = 'desirable'
Горе	vr = true & sr = 'displeased' & sp = 'undesirable' & de = 'self'
Радость за другого	vr = true & sr = 'pleased' & sp = 'desirable' & af = 'liked' & de = 'other'
Жалость	vr = true & sr = 'displeased' & op = 'undesirable' & af = 'liked' & de = 'other'
Негодование	vr = true & sr = 'displeased' & op = 'desirable' & af = 'not liked' & de = 'other'
Злорадство	vr = true & sr = 'pleased' & op = 'undesirable' & af = 'not liked' & de = 'other'
Надежда	vr = true & sr = 'pleased' & pros = 'positive' & sp = 'desirable' & status = 'unconfirmed' & de = 'self'
Страх	vr = true & sr = 'displeased' & pros = 'negative' & sp = 'undesirable' & status = 'unconfirmed' & de = 'self'
Удовлетворение	vr = true & sr = 'pleased' & pros = 'positive' & sp = 'desirable' & status = 'confirmed' & de = 'self'
Страх подтвердившийся	vr = true & sr = 'displeased' & pros = 'negative' & sp = 'undesirable' & status = 'confirmed' & de = 'self'
Облегчение	vr = true & sr = 'pleased' & pros = 'negative' & sp = 'undesirable' & status = 'disconfirmed' & de = 'self'
Разочарование	vr = true & sr = 'displeased' & pros = 'positive' & sp = 'desirable' & status = 'disconfirmed' & de = 'self'
Шок	vr = true & sr = 'displeased' & sp = 'undesirable' & de = 'self' & unexp=true
Сюрприз	vr = true & sr = 'pleased' & sp = 'desirable' & unexp = true
Гордость	vr = true & sr = 'pleased' & sa = 'praiseworthy' & sp = 'desirable' & de = 'self'
Стыд	vr = true & sr = 'displeased' & sa = 'blameworthy' & sp = 'undesirable' & de = 'self'
Восхищение	vr = true & sr = 'pleased' & sa = 'praiseworthy' & op = 'desirable' & de = 'other'
Упрек	vr = true & sr = 'displeased' & sa = 'blameworthy' & op = 'undesirable' & de = 'other'
Наслаждение	vr = true & sr = 'pleased' & sp = 'desirable' & sa = 'praiseworthy'
Раскаяние	vr = true & sr = 'displeased' & sp = 'undesirable' & sa = 'blameworthy'
Благодарность	vr = true & sr = 'pleased' & sp = 'desirable' & sa = 'praiseworthy' & op = 'desirable'
Гнев	vr = true & sr = 'displeased' & sp = 'undesirable' & op = 'desirable' & sa = 'blameworthy'
Ненависть	vr = true & sp = 'undesirable' & sr = 'displeased' & of = 'not liked' & oa = 'not attractive' & event valence = 'negative' & de = 'other'
Любовь	vr = true & sp = 'desirable' & sr = 'pleased' & of = 'liked' & oa = 'attractive' & event valence = 'positive' & de = 'other'

Помимо непосредственно текста, многие современные форматы текстовых документов содержат в себе метаинформацию. Такая информация не содержит в себе информацию важную для проведения анализа тональности текста и ее наличие может

негативно сказаться на корректности конечного результата. Для решения данной проблемы в работе использовался конвертер со встроенным модулем токенизации [3, 4]. Разобранный по токенам текст удобнее обрабатывать в дальнейшем. Также в работе использовался грамматический и морфологический парсеры. Во время проведения анализа тональности текста в разработанной системе производятся следующие действия:

1. Токенизация анализируемого текста. Избавление от метаданных в тексте.
2. Проведение грамматического анализа. Выявление связки агент-действие-субъекта в тексте.
3. Проведение морфологического анализа:
 - расстановка частей речи в предложении, для дальнейшего определения когнитивных переменных в предложении.
 - анализ временных форм глаголов. Необходимо для установки когнитивной переменной Status
 - категоризация существительных в тексте по категориям одушевленное/неодушевленное. Используется для установки направления эмоций в тексте.
 - поиск модальных глаголов в тексте. Необходимо для установки значения таких переменных как Status, Prospect или Self_Presumption.
 - поиск наречий в тексте. Используется для установки переменной Unexpectedness в случае неожиданности действия и для установки переменной Effort_of_Action в случае высокой интенсивности действия.
4. Определения валентности слова при помощи семантической сети.
5. Установка значений переменных Event_Familiarity и Expected_Deviation на основе данных о популярности связей между словами в тексте.

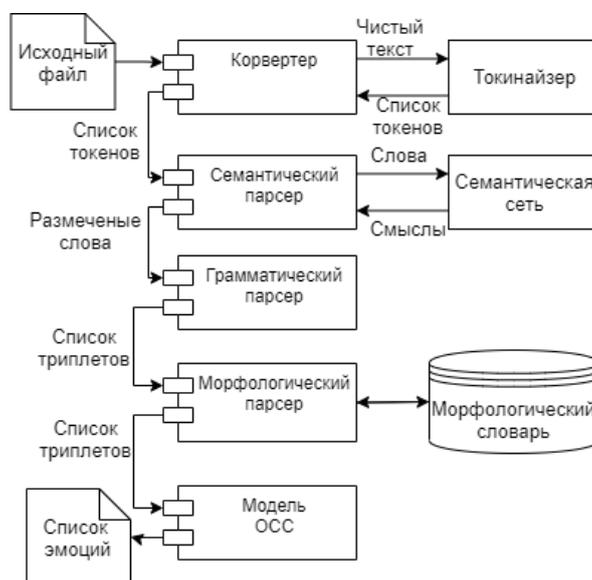


Рис. 2. Архитектура разработанной системы

Анализируемый текст передается в семантическую сеть, где определяется валентность и популярность связей между словами. Затем проводится грамматический анализ исходного текста, в ходе которого выявляются тройки agent-event-object. Для каждого объекта определяются морфологические признаки. Далее, полученная ранее информация передается в модуль ОСС модели. В нем определяются состояния когнитивных переменных, а в последствии список эмоций по состояниям когнитивных переменных. Результатом работы системы является список эмоций, который был обнаружен в исходном тексте.

Разработанная система была протестирована на выборке отзывов из базы отзывов сервиса Yandex Market. Экспертами было оценено 100 отзывов о наличии в них эмоций. В табл. 2 представлены результаты сравнения разработанной системы сосуществующими решениями.

Таблица 2

Сравнение методов анализа тональности текста

Метод анализа	Шкала эмоций	Корпус тестирования	Процент точности
ОСС модель [5]	5 (22)	ISEAR, SemEval, Alm's	59,5
ОСС модель [6]	22	обзоры, размеченные методом экспертной оценки	80,5
Нечеткая логика[7]	5	различные обзоры	86
	2		89
Рекуррентная нейронная сеть и Свёрточная нейронная сеть [8]	2	сообщения социальной сети Twitter	69/71
Машинное обучение с учителем с применением наивного байесовского классификатора [9]	2	сообщения социальной сети Twitter	73-75
Рекуррентная нейронная сеть из одного слоя LSTM [10]	2	рецензии на фильмы	88
Графовая модель[11]	2	тексты, размеченные по эмоциям	66

Как видно, значение точности разработанной системы является приемлемым для проведения анализа тональности текста. Отсюда можно сделать выводы, что предложенное решение является конкурентноспособным и может применяться для проведения анализа тональности текста. Однако, точность некоторых рассмотренных методов превышает точность предложенного метода. При этом данные методы обладают более узко шкалой эмоций нежели представленное решение.

Наиболее интересным является сравнение с работой “A linguistic interpretation of the OCS emotion model for affect sensing from text” [6]. В ней так же используется модель ОСС и схожие методы определения эмоций. Точность в данной работе больше, чем в предложенной системе на 4,5%. Данная система предназначена для проведения анализа тональности текста на английском языке, что объясняет расхождение в результатах. Так как разница в точности сравниваемых работ не высока, можно сделать вывод, что качественное улучшения правил определения эмоции по когнитивным переменным не требуется.

Разработанная в рамках данного исследования система позволяет отойти от привычной бинарной шкалы эмоций при проведении анализа тональности текста, и извлекать из текста широкий спектр эмоций. Данный метод позволит проводить более глубокий анализ тональности текста и улучшить его качество. Использование в предложенном подходе модели ОСС позволяет использовать вместе с ним другие методы обработки текста на естественном языке. А модульная архитектура системы в целом позволит комбинировать данную системы с другими системами обработки текста на естественном языке.

В дальнейшем планируется продолжить работу над данной системой, а именно улучшить грамматический и морфологический парсер, расширить перечень анализируемых эмоций и повысить связность используемой семантической сети.

Литература

1. Письмак А.Е., Харитонов А.Е., Цопа Е.А., Клименков С.В. Метод автоматического формирования семантической сети из слабоструктурированных источников. Программные продукты и системы. 2016. № 3. С. 74-78. [Тип: Статья. Год: 2016].
2. Ortony, A.; Clore, G. L.; and Collins, A. The Cognitive Structure of Emotions. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1988. 49.
3. Liu, H., Lieberman, H., & Selker, T. A model of textual affect sensing using realworld knowledge // In Proceedings of IUI, Miami. New York: ACM Press. 2003. pp. 25–132.
4. Tkeshelashvili, N. Spreadsheet data extraction using semantic network / N. Tkeshelashvili, S. Klimenkov // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2019. 2019. Vol. 19. № 2.1. Pp. 637-644.
5. Udochukwu O., He Y. A rule-based approach to implicit emotion detection in text // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2015. Vol. 9103.
6. Shaikh M.A.M., Prendinger H., Ishizuka M. A linguistic interpretation of the OCC emotion model for affect sensing from text // Affective Information Processing. 2009.
7. Dalal M.K., Zaveri M.A. Opinion Mining from Online User Reviews Using Fuzzy Linguistic Hedges // Appl. Comput. Intell. Soft Comput. 2014. Vol. 2014.
8. Смирнова О.С., Шишков В.В. Выбор топологии нейронных сетей и их применение для классификации коротких текстов // Int. J. Open Inf. Technol. 2016. Vol. 4, № 8.
9. Косых Н.Е. Оценка гиперпараметров при анализе тональности русскоязычного корпуса текстов // Intellect. Technol. Transp. 2020. № 3. P. 41–44.
10. Краснов Ф.В. Анализ тональности текста научно-практических статей по нефтегазовой тематике с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник евразийской науки. 2018. Vol. 10. № 3.
11. Меньшиков И.Л. Анализ Тональности Текста на русском языке при помощи графовых моделей // Доклады по компьютерным наукам и информационным технологиям. 2013. Vol. 02, № Доклады всероссийской научной конференции АИСТ '2013. P. 151–155.

Миниахметова Айгуль Васимовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы № Т42505с,

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

e-mail: minaigul86@mail.ru

Сергиенко Ольга Ивановна

Год рождения: 1957

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н, доцент,

e-mail: oisergienko@yandex.ru

УДК 504.06

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНГРЕДИЕНТОВ
ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

А.В. Миниахметова

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко

Работа выполнена в рамках темы НИР 620145 «Роль биологически активных веществ природного происхождения в развитии и нутритивной профилактике неинфекционных заболеваний».

Аннотация

В работе рассмотрено применение экологической оценки жизненного цикла технологий производства функциональных ингредиентов для производства пищевых продуктов, предназначенных для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Результаты работы могут быть использованы для обоснования применения сырьевого ингредиента на основе соевого масла, как наилучшей технологии, и составления экологической декларации EPD для российского и зарубежного рынков.

Ключевые слова

Функциональные пищевые ингредиенты, профилактика неинфекционных заболеваний, биологически активные вещества, экологическое декларирование EPD, инкапсулирование, SimaPro, оценка жизненного цикла.

Стремительный мировой прогресс в науке и технике, увеличение затрат на здравоохранение, изменения законодательных требований в пищевой индустрии, усиливающие требования к пищевым продуктам и информации для потребителей, растущий интерес к достижению хорошего самочувствия с помощью специального питания – все эти факторы подпитывают интерес мирового сообщества к новым функциональным продуктам питания (ФПП), предназначенным для систематического потребления в составе питания для всех возрастных групп, приводящих к снижению риска развития сопутствующих неинфекционных заболеваний, сохраняя и улучшая качество здоровья за счет наличия в составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов [1].

На сегодняшний день данное направление в науке о питании требует разработки теоретических основ и новых практик создания ФПП с учетом требований, как по качеству, так и экологической безопасности. Решением данной проблемы является поиск новых видов сырья, удовлетворяющих не только увеличивающийся с каждым годом спрос на ФПП, но и имеющих экологическое обоснование применимости, технологии производства которых являются наилучшими с точки зрения экологических характеристик воздействия в жизненном цикле. Одним из инструментов оценки экологических аспектов является оценка жизненного цикла продукта, результаты которой могут быть применены для экологического декларирования EPD (Environmental Product Declaration). В настоящее время в зарубежной практике сертификации пищевой продукции отсутствуют зарегистрированные Правила категорий продукции (PCR – Product Category Rules) и, соответственно, EPD на продуктовую группу «Функциональные пищевые ингредиенты», данная продуктовая группа находится в разработке.

Цель работы: проведение сравнительного анализа экологического воздействия в жизненном цикле двух функциональных ингредиентов для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, получаемых из различных источников сырья – побочных продуктов процесса переработки соевого масла и экстракта лабазника вязолистного. Предметом исследования является экологическое воздействие технологий производства функциональных ингредиентов для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Объектами исследования являются: наноинкапсулированный экстракт лабазника, микроинкапсулированные фитостерины (фитостеролы) из побочных продуктов производства соевого масла.

Инвентаризационный анализ жизненного цикла (ИАЖЦ) технологий проводился на основе программного продукта SimaPro 9.1.1.1 [5], с применением базы данных Ecoinvent 3. Полученные графические процессные деревья отражают системные процессы, как комбинацию единичных процессов. Для подтверждения результатов ИАЖЦ технологии производства БАВ из побочных продуктов процесса переработки соевого масла были использованы следующие модели программного продукта SimaPro 9.1.1.1: EPD (2018) V1.01, ReCiPe 2016 (Midpoint (H) V1.04/World (2010) H) и IPCC 2013 (GWP 500a V1.01). Данные модели были использованы также для подтверждения результатов сравнительной оценки рассматриваемых технологий производства функциональных смесей. Проверка достоверности результатов и оценка влияния неопределенности в исходных данных на расчеты ОЖЦ технологии производства БАВ на основе побочных продуктов производства соевого масла проводились по методу Монте-Карло с использованием программного продукта SimaPro 9.1.1.1.

Исследование проводилось на основе экспериментальных данных, полученных на базе Международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия» факультета биотехнологий Университета ИТМО в 2020 гг. [2-4].

Графическое изображение технологических карт производства микроинкапсулированных БАВ на основе побочных продуктов соевого масла продемонстрировано на рис. 1. При этом для возможности детализации процессы производства кристаллов фитостеринов и непосредственно БАВ показаны отдельно.

На рис. 2 представлено процессное дерево производства БАВ из побочных продуктов производства соевого масла. Набор данных представлен для единичных процессов, вклады которых более 0,01%.

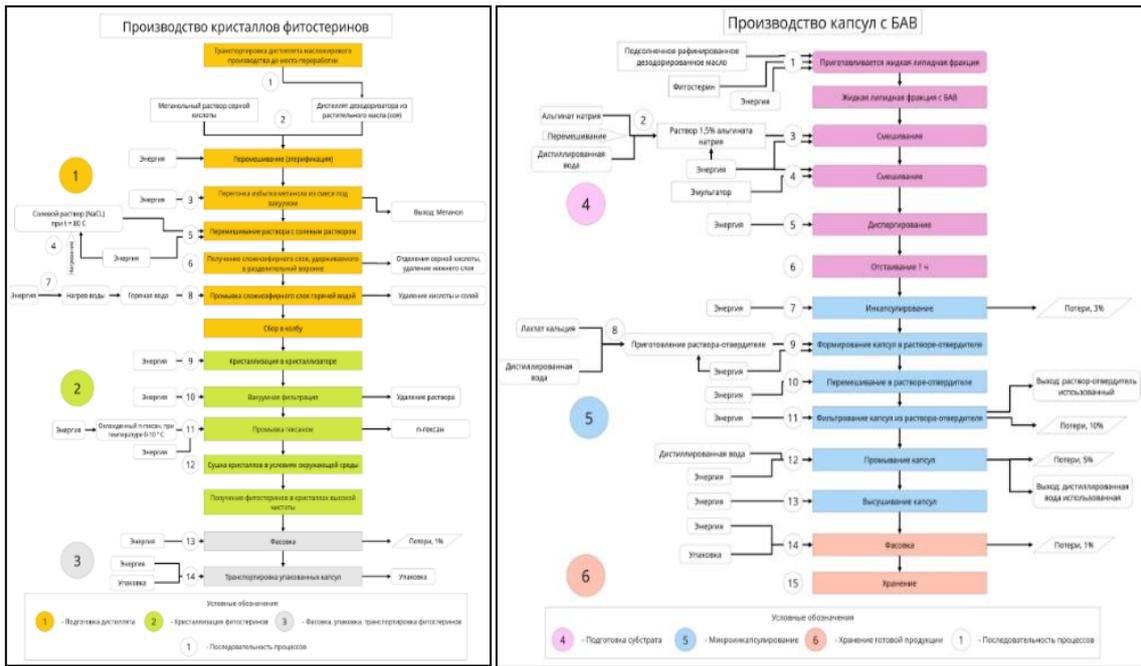


Рис. 1. Технологические карты производства микроинкапсулированных БАВ

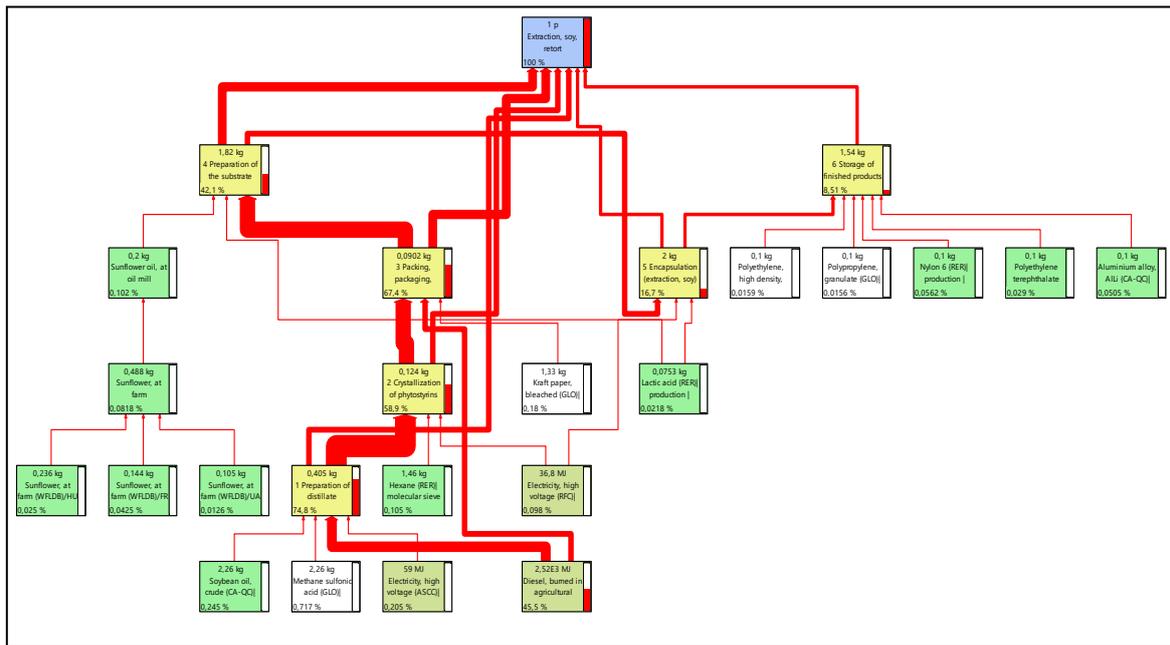


Рис. 2. Схематическое изображение процессного дерева технологии производства функциональной смеси из побочных продуктов производства соевого масла

Согласно результатам ИАЖЦ моделью EPD (2018) (рис. 3), по всем категориям воздействия наибольший вклад вносят этапы 3 «Фасовка, упаковка, транспортировка фитостерина» (25-35%) и 4 «Подготовка субстрата» (27-30%). Эти стадии оказывают максимальное воздействие по категориям «Глобальное потепление» и «Исчезновение озонового слоя». По-видимому, это связано с большими энергозатратами на данных этапах на технологические процессы фасовки, транспортировки сырья к месту производства БАВ, перемешивания реагентов.

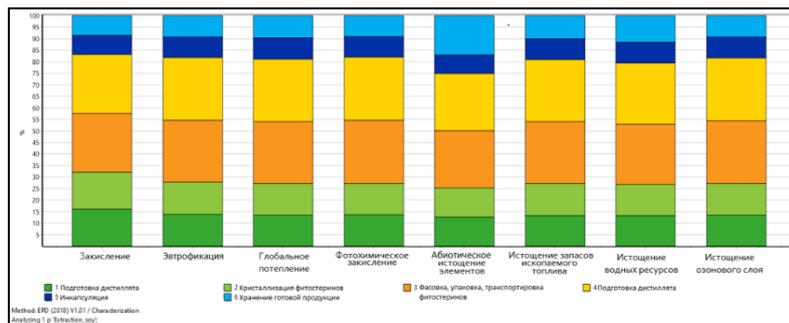


Рис. 3. Результаты ИАЖЦ технологии производства БАВ из побочных продуктов производства соевого масла моделью EPD (2018)

Вклад этапа 1 «Подготовка дистиллята» составляет 12-17% по всем категориям воздействия; этапа 2 «Кристаллизация фитостероидов» – 13-15%, что связано с необходимостью транспортировки сырья – дистиллята соевого масла. Вклад этапов: 5 «Инкапсулирование» (7%) и 6 «Хранение готового продукта» (7-15%) остается наименьшим. На этапе «Хранение готового продукта» максимальное значение, равное 15% по категории воздействия «Истощение биотических ресурсов», связано с использованием тароупаковочных материалов – полиэстера полиэтилена, полипропилена, нейлона и алюминия.

С помощью модели ReCiPe были получены результаты экологического воздействия по 18 категориям по стадиям жизненного цикла технологии производства из побочных продуктов соевого масла (рис. 4). Результаты ИАЖЦ практически совпадают с результатами, полученными по модели EPD 2018. По всем категориям воздействия наибольший вклад вносят этапы 3 «Фасовка, упаковка, транспортировка фитостероидов» (20-30%) и 4 «Подготовка субстрата» (25-30%). Эти стадии оказывают максимальное воздействие по категориям «Глобальное потепление» и «Исчезновение озонового слоя». По-видимому, это также связано с большими энергозатратами на данных этапах на технологические процессы. Вклад этапа 1 «Подготовка дистиллята» составляет 14-17% по всем категориям воздействия; этапа 2 «Кристаллизация фитостероидов» – 13-17%, что связано с необходимостью транспортировки сырья – дистиллята соевого масла. Вклад этапов 5 «Инкапсулирование» (9%) и 6 «Хранение готового продукта» (8-13%) остается наименьшим. На этапе «Хранение готового продукта» максимальное значение 13% по категории воздействия «Дефицит минеральных ресурсов» связано с использованием тароупаковочных материалов.

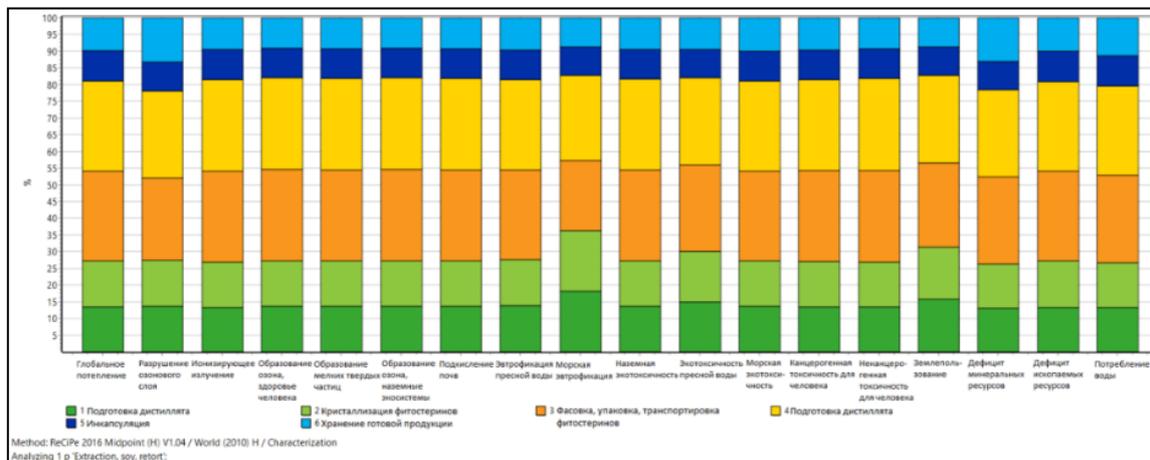


Рис. 4. Результаты ИАЖЦ технологии производства БАВ моделью ReCiPe 2016

С помощью модели IPCC GWP был получен углеродный след по стадиям жизненного цикла технологии производства из побочных продуктов соевого масла (рис. 5). Согласно результатам, наибольший вклад вносят этапы 3 «Фасовка, упаковка, транспортировка фитостерина» (88,8 kg CO₂ eq) и 4 «Подготовка субстрата» (89,2 kg CO₂ eq). Это связано со значительными энергозатратами на этапах фасовки, транспортировки сырья к месту производства БАВ и перемешивания реагентов, что сопровождается образованием CO₂, так как для производства энергии используется ископаемое топливо.

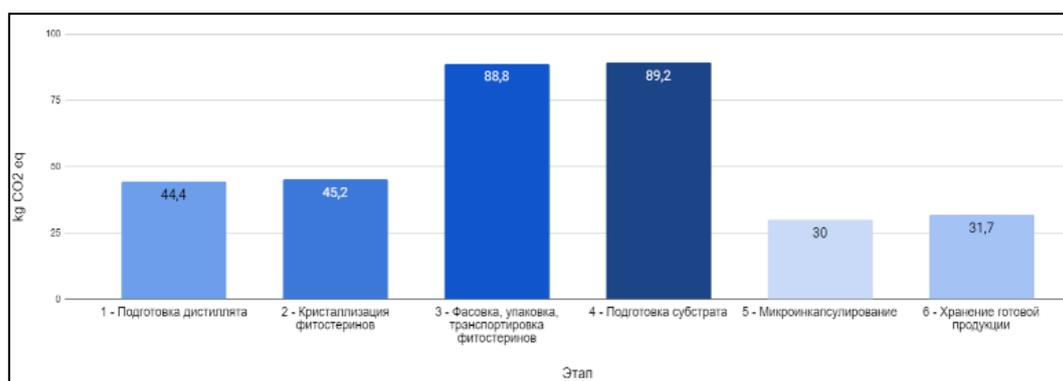


Рис. 5. Углеродный след производства БАВ моделью IPCC GWP

Влияние неопределенности может повлиять на точность результатов ОЖЦ и привести к их искажению. Исходные данные варьировались, исходя из допущения нормального распределения с фиксированным количеством итераций, равным 1000. На рис. 6 показаны результаты анализа неопределенностей в исходных данных при определении категорий воздействия в доверительном интервале 95%.

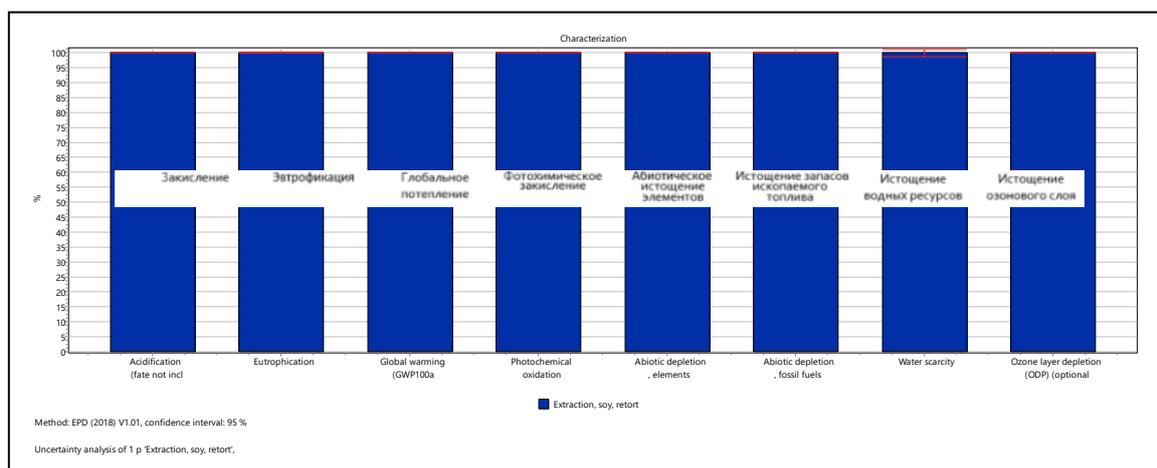


Рис. 6. Результаты анализа неопределенностей исходных данных

Как видно неопределенность в исходных данных значительно влияет только на категорию «Водные ресурсы», на остальные категории воздействия неопределенности в исходных данных не влияют.

Для определения наилучшей технологии производства функциональных смесей была осуществлена сравнительная оценка трех предлагаемых вариантов производства БАВ на основе трех моделей: ReCiPe, EPD, IPCC GWP программного продукта SimaPro 9.1.1.1.

На рис. 7 показано сравнение экологического воздействия функциональных смесей с использованием дикорастущего и культурного лабазника вязолистного и побочных продуктов производства соевого масла моделью EPD (2018).

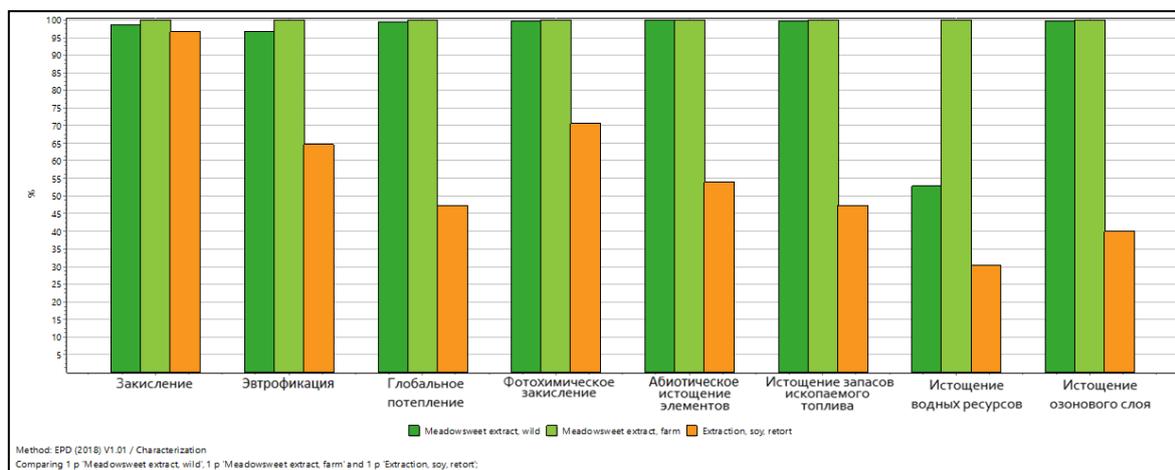


Рис. 7. Сравнительная оценка жизненных циклов технологий производства БАВ моделью EPD (2018):

- – Дикорастущий лабазник вязолистный;
- – Лабазник вязолистный, выращенный на ферме;
- – Побочные продукты производства соевого масла

Создание функциональных смесей из побочных продуктов производства соевого масла является наилучшей технологией с точки зрения экологических характеристик воздействия в жизненном цикле (рис. 7). Результаты сравнения дикорастущего и культурного лабазника вязолистного практически одинаковые, значимые отличия можно выделить только по категории воздействия «Истощение водных ресурсов», что можно связать с поливными работами для выращивания лабазника на ферме.

На рис. 8 показано сравнение экологического воздействия функциональных смесей с использованием дикорастущего и культурного лабазника вязолистного и побочных продуктов производства соевого масла моделью ReCiPe 2016.

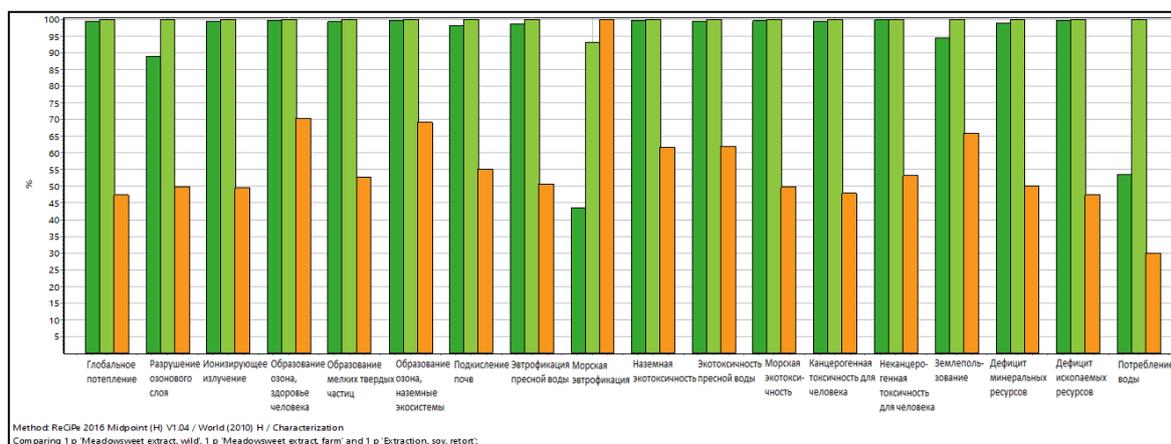


Рис. 8. Сравнительная оценка жизненных циклов технологий производства БАВ моделью ReCiPe 2016:

- – Дикорастущий лабазник вязолистный;
- – Лабазник вязолистный, выращенный на ферме;
- – Побочные продукты производства соевого масла

Как видно из рис. 8 технология создания функциональных смесей из побочных продуктов производства соевого масла оказывает наименьшее воздействие практически по всем категориям. Лишь по категории «Морская эвтрофикация» достигается максимальное значение, что возможно связать с большим образованием сточных вод, загрязненных биогенными веществами, по сравнению с другими технологиями.

На рис. 9 показано сравнение углеродного следа функциональных смесей с использованием дикорастущего и культурного лабазника вязолистного и побочных продуктов производства соевого масла моделью IPCC GWP.

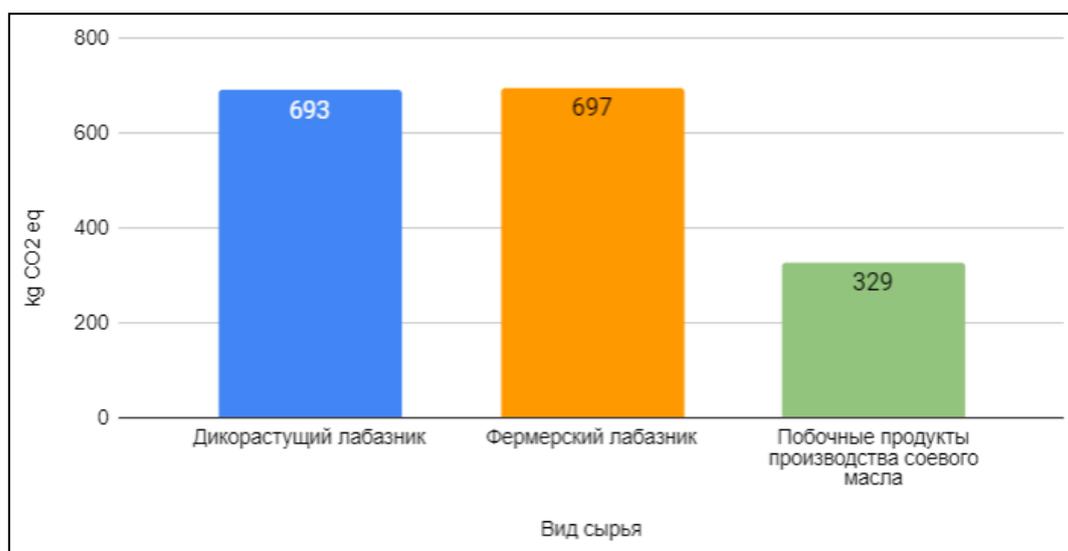


Рис. 9. Сравнительная оценка углеродного следа технологий производства БАВ в жизненном цикле моделью IPCC 2013

Как видно из рис. 9 технология создания функциональных смесей из побочных продуктов производства соевого масла имеет наименьший углеродный след.

На основе результатов проведенного анализа был сделан вывод о том, что наиболее перспективным сырьем для производства функциональной пищевой смеси являются побочные продукты производства соевого масла, из которого производятся микроинкапсулированные БАВ. Выбор более дешевого сырья обеспечит не только экономические результаты, но и наименьшее негативное воздействие на окружающую среду. В дальнейшем предлагается провести расчет экономической эффективности производства БАВ на основе побочных продуктов производства соевого масла.

Для продвижения экологически обоснованного продукта в работе сформирована экологическая декларация микроинкапсулированных БАВ из побочных продуктов производства соевого масла, содержащую информацию о технологии производства, об экологических показателях, о результатах проведенной ОЖЦ продукта. Декларация разработана на русском и английском языке.

Литература

1. Bruno Notarnicola, Serenella Sala, Assumpcio Anton, Sarah J. McLaren, Erwan Saouter, Ulf Sonesson. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 140. N 2. P. 399–402.
2. Process for the preparation of high purity phytosterols: pat. US7632530B2 / Arumughan C., Sobankumar D.R., Sudaresan A., Nair S.S., Yohesh K., Rajam L. Washington D.C.:

- U.S. Patent and Trademark Office. U.S. Patent №.7.632.530; pub. 2009.12.09.
3. Baranenko D., Bepalov V.G., Nadtochii L., Shestopalova I., Chechetkina A., Lepeshkin A., Пина V. Development of encapsulated extracts on the basis of meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) in the composition of functional foods with oncoprotective properties//Agronomy Research. 2019. Vol. 17. N 5. P. 1829–1838.
 4. Савинова Т.С., Войшвилло Н.Е., Андрюшина В.А., Карпова Н.В., & Белецкая И.П. Извлечение смеси фитостеринов из побочных продуктов переработки соевых бобов и использование её в производстве 9 α -гидроксиандрост-4-ен-3, 17-диона // Химико-фармацевтический журнал. 2012. N 46(3). С. 40-43.
 5. Goedkoop M., Oele M., Vieira M., Leijting J., Ponsioen T., Meijer E. SimaPro Tutorial. 2016. 86 p.

Моисеева Полина Вячеславовна

Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R42336с,
направление подготовки: 15.04.06 – Робототехника,
e-mail: s--sobaka@yandex.ru

Нуждин Константин Андреевич

Год рождения: 1986
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
доцент,
e-mail: nuzhdink@itmo.ru

УДК 62.3

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ УЗЛА ПРИВОДА ЗАСЛОНОК
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ДРОНА**

П.В. Моисеева

Научный руководитель – доцент К.А. Нуждин

Работа выполнена в рамках темы НИР №419331 «Разработка многофункциональной автономной посадочной станции для мультикоптеров с автопилотной системой».

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе был разработан узел привода заслонок автоматической станции для обслуживания дронов. В ходе выполнения проекта была изучена выбранная область, описаны существующие аналогичные разработки компаний-конкурентов. Были созданы и разработаны компоненты системы закрытия заслонок.

Ключевые слова

БПЛА, квадрокоптер, дрон станция, беспилотники, автономная зарядка.

В настоящее время резко повысился спрос на автоматическое получение данных с различных удаленных территорий или территорий ограниченного доступа по каким-либо причинам. Например, мониторинг лесных массивов на наличие задымлений, возгораний, экологический мониторинг, мониторинг линий электропередач, нефте/газопроводов. На выполнение данных работ тратится достаточно большое количество как временных ресурсов, так и денежных. Дроны же способны достаточно эффективно выполнять вышеперечисленные задачи, но у них есть один существенный недостаток - необходимость перезарядки, а это нарушает весь процесс автономности по причине необходимости привлечения в данный процесс человека, который будет менять аккумуляторы.

Решением обозначенной проблемы может стать разработка многофункциональной автономной посадочной станции для мультикоптеров с системой автопилота, которая будет сажать дрон, подзаряжать его и отправлять обратно.

В результате НИР № 419331 создан прототип автоматической станции для обслуживания дрона, в ходе испытания которого был выявлен ряд недостатков, исправлению которых посвящена данная работа.

Прототип представляет собой конструкцию с открывающимися заслонками (рис. 1), которые защищают внутреннее оборудование от негативных внешних условий

(представляет собой 4 рычажный механизма с 8-ю шаговых приводов). Также состоит из устройства центровки дрона и устройства зарядки дрона.

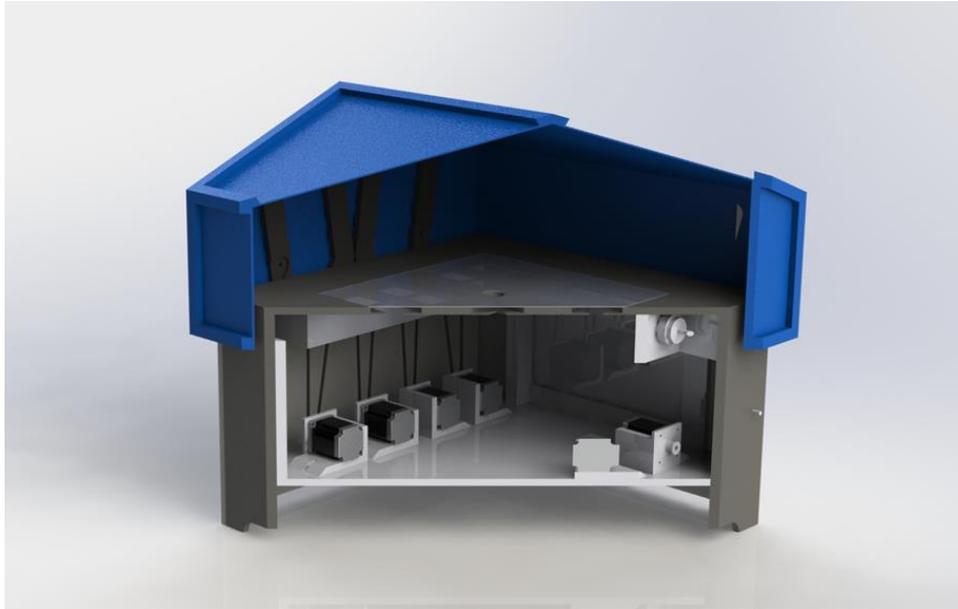


Рис. 1. Рендер полного вида прототипа в разрезе

Для модернизации существующего узла была произведена качественная оценка характеристик аналогов, таких как Airmada, Airobotics, Skeytech, Percepto, COEX. В результате оценки были выявлены сильные и слабые стороны устройств узлов заслонок станций и, исходя из проведенного обзора аналогов, было выявлено два оптимальных варианта узла привода заслонок: с рычажным и с рельсовым механизмом. Далее был проведен их структурный анализ.

На рис. 2 представлены структурные схемы механизмов, где А, В, С, D – соединения; 0, 1, 2, 3 – звенья.

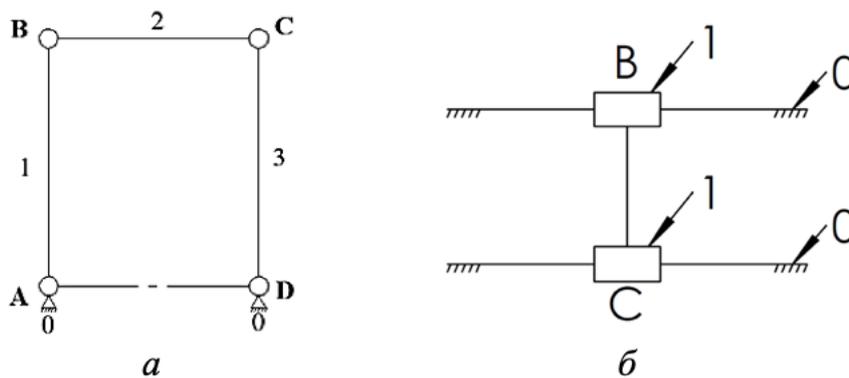


Рис. 2. а) Схема рычажного механизма; б) Схема рельсового механизма

Чтобы определить количество необходимых электрических приводов в каждой схеме была использована формула Грюблера (формула 1) [1-3], где J – количество соединений; N – количество звеньев; m – количество степеней свободы твёрдого тела ($m = 3$ для плоских механизмов и $m = 6$ для пространственных механизмов); f_i – количество свобод, предоставленных i -ым соединением; c_i – количество

ограничений, предоставленных i -ым соединением. Она предполагает, что ограничения, обеспечиваемые соединениями, независимы.

$$dof = m(N - 1) - \sum_{i=1}^J c_i = m(N - 1) - \sum_{i=1}^J (m - f_i) = m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i. \quad (1)$$

В первом варианте существует 4 звена, 4 соединения и у каждого из соединений по 1 степени свободы. Механизм является плоским, поэтому $m = 3$. Расчеты представлены в формуле 2.

$$dof = m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i = 3(4 - 1 - 4) + (1 + 1 + 1 + 1) = -3 + 4 = 1 \quad (2)$$

Во втором варианте существует 2 звена и одно соединение, у которого одна степень свободы. Механизм является плоским, поэтому $m = 3$. Расчеты представлены в формуле 3.

$$dof = m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i = 3(2 - 1 - 1) + (1) = 0 + 1 = 1 \quad (3)$$

По результатам расчетов можно сказать, что для каждой из схем необходим и достаточен для определенности движения всех звеньев механизма один привод.

Для определения усилия привода был проведен силовой расчет двух механизмов. На рис. 3 приложены силы и моменты для расчета узлов привода.

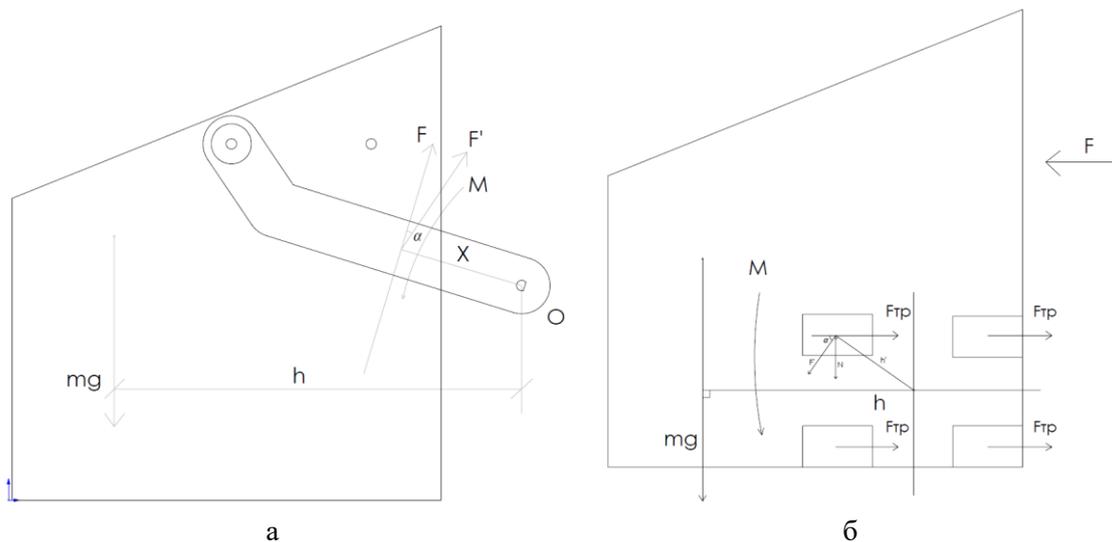


Рис. 3. Силовая схема: а) рычажного механизма; б) рельсового механизма

Силовой расчет для рычажного механизма, где F – усилие привода; m – масса заслонки; h – расстояние от центра масс заслонки до оси вращения рычага; x – расстояние от оси вращения рычага до точки приложения силы:

$$F \cdot x = m \cdot g \cdot h$$

$$F = 2000 \text{ Н}$$

В качестве привода для заслонок предлагается использовать линейный актуатор. Линейные приводы преобразуют вращательное движение двигателя в линейное действие толкающего или тянущего типа. Устройство такого привода изображено на рис. 4, где 1) электродвигатель; 2) редуктор; 3) винт; 4) гайка; 5) направляющая.

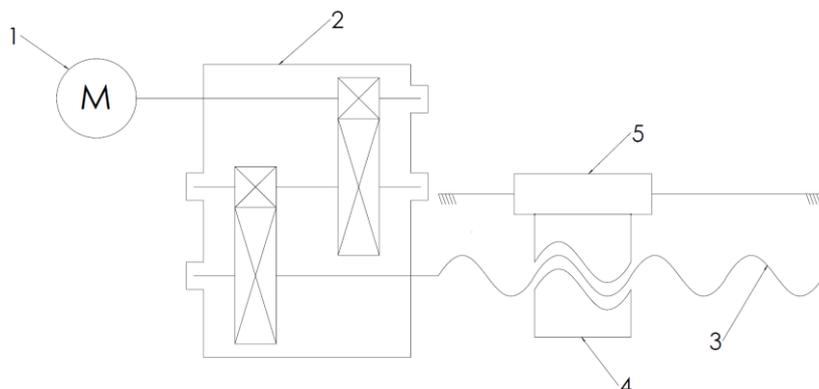


Рис. 4. Кинематическая схема актуатора

Таким образом, можно подобрать привод, выдерживающий нагрузку 2000 Н. Например, в данной ситуации подходит линейный привод LA25 компании LINAK, который способен выдерживать нагрузку до 2500 Н.

Силовой расчет для рычажного механизма, где F – усилие привода; $F_{тр}$ – сила трения; $F_{ст.н.}$ – усилие статической нагрузки:

$$\begin{aligned} F_{ст.н.} &= 4 \cdot F_{тр} \\ F_{ст.н.} &= 27 \text{ Н} \\ F &= n \cdot F_{ст.н.} \\ F &= 54 \text{ Н} \end{aligned}$$

В итоге, рассчитанная сила нагрузки привода для рельсового механизма в десятки раз меньше максимальной нагрузки рассматриваемых приводов, поэтому их использование в данной конструкции является нерациональным.

Были разработаны трехмерные модели двух механизмов приводов в прикладном пакете SOLIDWORKS, где были применены компоновочные принципы для решения поставленной задачи (рис. 5).

Были подробно прорисованы узлы привода, по которым можно в дальнейшем создать рабочую документацию для изготовления.



Рис. 5. Узел заслонок а) с рычажным механизмом; б) с рельсовым механизмом

Также было определено время перемещения заслонок исходя из скорости работы привода. На рис. 6 изображено перемещение заслонки и скорость была рассчитана по формуле 4, где t – время перемещения заслонки; x – перемещение заслонки; V – скорость перемещения штока привода.

$$t = \frac{x}{V} \quad (4)$$

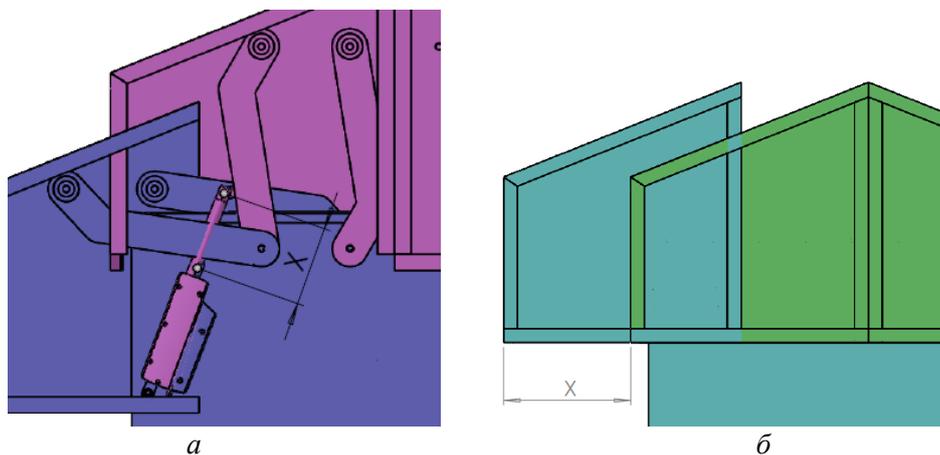


Рис. 6. Схема а) рычажного механизма; б) рельсового механизма

В итоге, скорости рычажного и рельсового механизма получились 3,7 и 12,5 секунд соответственно. Для рельсового механизма применение актуатора является нецелесообразно за счет большого времени перемещения.

В таблице приведены сравнительные характеристики прототипа и двух разработанных узлов привода.

Таблица

Характеристики трёх вариантов узлов привода

	Прототип	Узел привода с рычажным механизмом	Узел привода с рельсовым механизмом
Эффективное место под оборудование, л	273	347	347
Время перемещения заслонок, с	11	3,7	12,5
Температурный диапазон работ, °С	от -20 до +50	от -40 до +85	от -40 до +85
Расчетная стоимость, руб	120 000	80 000	170 000
Степень защиты оболочки	IP65	IP66	IP66

В ходе работы был проведен анализ узла привода заслонок автоматической станции для обслуживания дрона. На основе анализа, были синтезированы два варианта узла привода для заслонок: «Привод с рычажным механизмом» и «Привод с рельсовым механизмом». Далее, было проведено качественное и количественное сравнение созданного ранее прототипа и двух синтезированных вариантов.

Для дальнейшей модернизации рекомендуется использовать вариант «Привод с рычажным механизмом», который имеет преимущества перед прототипом и вторым разработанным вариантом.

Литература

1. Lynch К.М., Park F.C. Modern robotics. Mechanics, planning, and control // Cambridge University Press. 2017. 15 p.
2. ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы (с Изменением N 1).
3. ГОСТ 14.201-83 Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования (с Изменением N 1).

Муртазин Роман Андреевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N42514с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: murtazinroman3161@gmail.com

Кузнецов Александр Юрьевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., н.с.,

e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 004.934.8'1

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫЯВЛЕНИЯ
СИНТЕЗИРОВАННОГО ГОЛОСОВОГО ОБРАЗА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БАНКОВСКИХ
СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ И АУТЕНТИФИКАЦИИ**

Р.А. Муртазин

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Ю. Кузнецов

Работа выполнена в рамках НИР №50448 «Исследование перспективных методов и технологий защиты киберпространства в банковской сфере», НИР №50449 «Разработка алгоритмов защиты киберпространства для решения прикладных задач обеспечения кибербезопасности организаций банковской сферы», НИР №51208 «Разработка и экспериментальная проверка практических решений для обеспечения кибербезопасности организаций банковской сферы».

Аннотация

В работе предложен алгоритм выявления синтезированного голосового образа, предназначенный для повышения надежности банковских систем биометрической идентификации и аутентификации. Проведен эксперимент, демонстрирующий преимущество разработанного решения перед другими алгоритмами в задаче выявления синтеза голоса. Эксперимент проводился на специальной голосовой базе с применением программных реализаций предложенного и других рассматриваемых решений.

Ключевые слова

Биометрия, голосовые биометрические системы в банковской сфере, синтезированная речь, выявление фальсификации голоса, кепстральный анализ, сверточная нейронная сеть.

Использование голосовой биометрии – одно из перспективных направлений биометрической идентификации. Первая причина: человеческий голос – динамический биометрический признак, что усложняет процесс его подделки. Вторая – для осуществления голосовой идентификации необходимо существенно менее дорогое оборудование. Также по голосу, что редкость, можно подтвердить личность удаленно. Таким образом, голосовая биометрия может стать одним из самых доступных способов идентификации.

По прогнозу экспертов в ближайшие годы темпы роста рынка систем голосовой биометрии будут ежегодно составлять более 20%, что является ведущим показателем среди систем, использующих биометрические признаки.

Развитие технологий идентификации личности по голосу открывает новые возможности и в банковском секторе благодаря упрощению и ускорению осуществления финансовых операций. Однако в нем голосовая биометрия до сих пор не приобрела массовое распространение. В первую очередь, из-за специфики банковской сферы и низкой точности идентификации, а во вторую – из-за недостаточного уровня защиты голосовых биометрических систем (ГБС) от различных спуфинг-атак. По виду эти атаки можно разделить на имперсонализацию, воспроизведение, морфинг и синтез голоса.

По совокупности факторов технологии синтеза голоса представляют для ГБС наибольшую опасность. Разработанный алгоритм предназначен для выявления спуфинг атак, реализованных при прямом подключении систем синтеза голоса к устройствам связи.

Одним из важных факторов реализации ГБС в банковской сфере является возможность идентификации личности при звонке с обычного телефона. Для снижения негативного эффекта шумов и помех на процессы идентификации и выявления спуфинга на первом этапе алгоритма проводится предобработка входного сигнала. Она включает в себя: удаление «тишины» (неинформативного сигнала), нормализацию громкости, децимацию (1), а также преобразование всех двухканальных файлов в один канал посредством микширования каналов.

$$y[n] = \sum_{k=0}^{M-1} x[nM + k], \quad (1)$$

где $y[n]$ – отсчет нормализованного сигнала, $x[n]$ – отсчет входного сигнала, M – длительность строка.

Нормализация громкости, производится из-за возможного несовпадения диапазонов громкости для разных звуковых дорожек. В предлагаемом решении применяется способ RMS (2), так как он больше остальных подходит для человеческого уха.

$$RMS = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2}{n}}, \quad (2)$$

где a – отдельный образец голоса, n – количество образцов голоса.

Далее из полученного голосового образца извлекаются речевые признаки. В разработанном алгоритме используются мел-частотные (MFCC) и Q-константные (CQCC) кепстральные коэффициенты. Установлено, что CQCC показывают лучшие, чем MFCC, результаты в обнаружении синтеза голоса, особенно для неизвестных атак [1]. Но обучение на MFCC позволяет повысить точность выявления спуфинга при недостаточном обучении алгоритма на различных видах атак. Преимуществом комбинации данных признаков является их независимость от текста, диктора и языка, а также применимость для идентификации пользователей. Набор MFCC [2], используемый для описания характеристик фонемы, можно получить по формуле (3).

$$c[n] = \sum_{m=0}^{M-1} S[m] \cos\left(\frac{\pi n(m+1/2)}{M}\right), 0 \leq m \leq M, \quad (3)$$

где $c[n]$ – кепстральный коэффициент для n -го отсчета, $S[m]$ – энергия m -го фильтра, m – треугольный фильтр, n – номер отсчета входного сигнала, M – число фильтров.

Процесс получения CQCC основан на постоянном Q-преобразовании (CQT), которое дает более высокое разрешение по частоте в области низких частот и большее временное разрешение в области высоких частот. CQCC извлекаются в соответствии с формулой (4), обобщенная схема алгоритма их получения представлена на рис. 1 [1].



Рис. 1. Алгоритм извлечения CQCC

$$CQCC[p] = \sum_{l=1}^L \log|X^{CQ}[l]|^2 \cos \left[\frac{p\pi(l-\frac{1}{2})}{L} \right], 0 \leq p < L, \quad (4)$$

где $\log|X^{CQ}[l]|^2$ – линейный логарифмический спектр мощности; l – пересчитанные частотные значения; L – номер линейного элемента разрешения по частоте.

Пересчет частотных значений необходим из-за преобразования геометрического пространства в линейное, в результате которого: изменяется расстояние между октавами в зависимости от исходных частотных значений, для каждой следующей октавы по сравнению с предыдущей удваивается частота дискретизации [1].

Полученные MFCC и CQCC для построения модели пользователя (5) подаются на вход в модель Гауссовых смесей (GMM) [3]. Количество компонент определено впоследствии эмпирически и равняется 512.

$$P(\bar{x}|G_s) = \sum_{i=1}^M w_i G_i(\bar{x}|\bar{\mu}_i, \Sigma i), \quad (5)$$

где \bar{x} – вектор признаков; параметры модели, демонстрирующие уникальные характеристики голоса пользователя: Σi – ковариационная матрица, $\bar{\mu}_i$ – вектор математического ожидания, w_i – веса смеси.

Для определения подлинности голоса применяется классификатор. В разработанном алгоритме выявления синтезированного голосового образа используется сверточная нейронная сеть (CNN). Кроме высоких результатов на фоне других нейронных сетей, важным достоинством CNN является обобщение подаваемой на вход информации при обучении, а не запоминание её поэлементно. Дополнительное повышение уровня абстрактного представления данных способствует выявлению ключевых взаимосвязей и факторов, позволяющих с большей точностью проводить бинарную классификацию голосовых образцов.

Среди вариаций архитектур CNN выбор сделан в пользу SqueezeNet [4], это обусловлено малым размером обученной модели (от 0,47 MB) при сохранении показателей точности и повышением уровня абстрактности данных за счет слоев Fire. Среди макроархитектур SqueezeNet выбрана «Simple bypass», так как её применение позволяет достичь наибольшей точности классификации.

В состав CNN входят 2 слоя свертки с ядрами «(3,3)» и функцией активации «ReLU», 3 слоя пулинг max – «(3,3)», 1 слой пулинг avg – «(5,5)», 8 слоёв Fire – «(3,3)», «(1,1)» и «ReLU», 1 сглаживающий слой, 2 полносвязных слоя – «ReLU», 1 полносвязный слой – «softmax». Общее количество параметров – 566337. Обучение модели осуществлялось на графическом процессоре, состояло из 5 эпох, благодаря чему удалось снизить значение функции loss с 0.324 до 0.047, а параметра EER – с 10.19% до 3.96%. Порог вхождения составил 0,15, то есть все голосовые образцы, отнесенные к классу «подлинный» с вероятностью >0,15, считаются таковыми.

Таким образом, модель пользователя, сформированная на основе MFCC и CQCC с помощью GMM, в виде n-мерной матрицы подаётся на вход CNN, а результатом обработки данных является вероятность принадлежности голосового образца к каждому классу. Итоговая блок-схема алгоритма выявления синтезированного голосового образа представлена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема алгоритма выявления синтезированного голоса

Данный подход к формированию алгоритма основывается на предположении, что унификация форматов данных и представлений признаков MFCC и CQCC с помощью GMM перед подачей на вход в CNN, одновременно с высокими показателями самих MFCC, CQCC и CNN в выявлении синтеза голоса, позволит повысить точность бинарной классификации голосовых образцов.

Надежность является основным показателем эффективности ПО [5] и может быть повышена за счет повышения безотказности ПО (снижения количества отказов) или, другими словами, снижения вероятности ложных срабатываний ПО. Это относится и к банковским системам биометрической идентификации и аутентификации, снизить вероятность ложных срабатываний которых можно за счет уменьшения вероятности реализации на них спуфинг атаки или за счет увеличения вероятности признания легитимного пользователя таковым. В данной работе был выбран второй подход.

Базовой метрикой для оценки каждого решения являлся EER. С целью расширения числа используемых метрик была использована отдельная ГБС. Для оценки её параметров использовалась выборка, содержащая голос целевых (легитимных), нецелевых пользователей и синтезированный голос. Значения метрик для ГБС составили: $FRR = FAR_{nont} = 3,93\%$, а $FAR_{spooft} = 7,41\%$. FAR_{nont} – нецелевые голосовые образцы, ложно признанные целевыми, а FAR_{spooft} – синтезированные голосовые образцы, ложно признанные целевыми. При равной вероятности подачи на вход подлинного, нелегитимного и синтезированного образца голоса, вероятность $P_{Ки0}$ корректной работы ГБС, функционирующей отдельно, составит 94.91%.

Второй метрикой стала вероятность безотказной работы – важнейший показатель при оценке надежности ПО [5], которая для экспоненциального закона надежности рассчитывается по формуле (6).

$$P(t_b/t_a) = \frac{e^{-\lambda t_a}}{e^{-\lambda t_b}} = e^{-\lambda(t_b-t_a)}, \quad (6)$$

где $P(t_b/t_a)$ – вероятность безотказной работы, $(t_b - t_a)$ – интервал времени, для которого рассчитывается $P(t_b/t_a)$, λ – интенсивность отказов ПО.

В данной работе значения вероятности безотказной работы ввиду специфики сферы рассчитаны для минуты функционирования ГБС в сочетании с подсистемой защиты.

Вероятность $P_{РА}$ успешной реализации атаки зависит от вероятности $P_{ПЛ}$ признания ГБС синтезированного голоса легитимным и вероятности $P_{ПП}$ признания его подсистемой защиты подлинным (7).

$$P_{РА} = P_{ПЛ} * P_{ПП} = \frac{FAR_{spoof}}{100} * \frac{FAR_{ПЗ}}{100}, \quad (7)$$

где $FAR_{ПЗ}$ – синтезированные голосовые образцы, определенные как подлинные подсистемой выявления синтеза голоса.

Последней метрикой стала θ (8), отражающая процент и характер (положительный или отрицательный в соответствии с полученным знаком) изменения $P_{КИ}$ относительно своего исходного значения $P_{КИ_0}$ при внедрении подсистемы защиты. Также метрика θ демонстрирует изменение вероятности ложных срабатываний ГБС путём выявления синтезированного голосового образа.

$$\theta = (P_{КИ} - P_{КИ_0}) * 100\%. \quad (8)$$

Для разработанного алгоритма проведены лабораторные исследования с использованием сформированной голосовой базы на основе подлинных и сгенерированных с помощью 14 различных TTS-алгоритмов образцов. Для генерации выборок обучения использовались 6 алгоритмов, для оценки – остальные 8. Голосовые образцы с частотой дискретизации 16 кГц и глубиной квантования 16 бит содержат разный текст, продолжительностью от 3 до 10 секунд. Данные отобраны из датасетов конкурсов ASVspoof15 и ASVspoof19 и содержат равное количество мужских и женских голосов. Дополнительная информация о голосовой базе отражена в табл. 1.

Таблица 1

Информация об используемой голосовой базе

Параметр	Обучение	Отладка	Оценка	Всего
Дикторы	40	50	110	200
Подлинные, шт	6200	5900	16500	28600
Синтезированные, шт	20100	34700	89300	144100
Суммарно, шт	26300	40600	105800	172700
Объем данных, ГБ	2,32	3,75	10,41	16,48

Для сравнения с предложенным решением использованы другие, предложенные авторами ASVspoof: «LFCC + GMM» и «CQCC + GMM», а также решение «i-vector (IMFCC, TDNN(IMFCC)) + PLDA». Алгоритмы обучены и протестированы на сформированной голосовой базе, результаты представлены в табл. 2 и 3.

Из табл. 2 и 3 следует, что предложенное решение показывает лучшие результаты выявления большинства неизвестных атак на фоне других алгоритмов, а также демонстрирует наивысшие показатели по всем использованным метрикам.

Таблица 2

Первичные результаты экспериментальных исследований

№ алгоритма синтеза голоса	EER для исследуемого решения			
	LFCC + GMM	CQCC + GMM	i-vector (IMFCC, TDNN(IMFCC)) + PLDA	GMM (MFCC, CQCC) + CNN
S7	0,69%	0,31%	0,27%	0,03%
S8	10,05%	9,12%	0,06%	0,76%
S9	6,33%	7,56%	7,45%	4,19%
S10	0,85%	0,64%	0,39%	0,37%
S11	6,73%	0,89%	0,04%	0,01%
S12	10,98%	7,33%	7,69%	8,12%
S13	6,01%	20,41%	14,02%	9,32%
S14	17,09%	3,91%	12,39%	14,68%

Таблица 3

Обработанные результаты экспериментальных исследований

Метрика	Показатели исследуемого решения			
	LFCC + GMM	CQCC + GMM	i-vector (IMFCC, TDNN(IMFCC)) + PLDA	GMM (MFCC, CQCC) + CNN
Avg. EER	7,34%	6,27%	5,29%	3,96%
P_{PA}	0,0018	0,0016	0,0013	0,0010
$P(t_b/t_a)$	0,1324	0,1526	0,1738	0,2073
θ	0,03%	0,39%	0,71%	1,16%

В ходе работы был разработан и программно реализован алгоритм выявления синтезированного голоса на основе MFCC, CQCC и CNN с использованием GMM для построения моделей пользователя с показателем EER=3,96%. Его преимуществами являются оптимизация защищенной ГБС за счет высоких показателей точности MFCC и CQCC в голосовой идентификации, а также и низкие требования к внесению модификаций для выполнения задачи идентификации личности.

Предложенное решение позволило уменьшить вероятность ложных срабатываний рассмотренной ГБС с 5,1 до 3,9%, снизить вероятность реализации атаки посредством синтеза голоса на рассмотренную ГБС до 0,1%, а также повысить вероятность её безотказной работы на 58,7%.

Таким образом, разработанный алгоритм выявления синтезированного голосового образа имеет наилучшие показатели среди рассмотренных алгоритмов противодействия спуфинг-атакам на ГБС с помощью синтеза голоса и позволяет уменьшить вероятность ложных срабатываний и повысить надежность банковских систем биометрической идентификации и аутентификации.

Литература

1. Todisco M., Delgado H., Evans N.W.D. A New Feature for Automatic Speaker Verification Anti-Spoofing: Constant Q Cepstral Coefficients //Odyssey. 2016. Т. 2016. С. 283-290.

2. Мел-кепстральные коэффициенты (MFCC) и распознавание речи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/140828/> (дата обращения: 25.03.2021).
3. Bilmes J. A. et al. A gentle tutorial of the EM algorithm and its application to parameter estimation for Gaussian mixture and hidden Markov models //International Computer Science Institute. 1998. Т. 4. №. 510. С. 126.
4. Iandola F.N. et al. SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size //arXiv preprint arXiv:1602.07360. 2016.
5. Надёжность информационных систем: учебное пособие / Громов Ю.Ю., Иванова О.Г., Мосягина Н.Г., Набатов К.А. Тамбов: Изд - во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 160 с.

Никитин Михаил Михайлович

Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
инженерно-исследовательский факультет,
студент группы №В42013с,
направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника,
e-mail: nikitinmm96@gmail.com

Коняхин Игорь Алексеевич

Год рождения: 1953
Университет ИТМО,
инженерно-исследовательский факультет,
д.т.н., профессор,
e-mail: igor@grv.ifmo.ru

УДК 681.777.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО
АВТОКОЛЛИМАТОРА С ТРИЭДРИЧЕСКИМ
ОТРАЖАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГРАНЕЙ**

М.М. Никитин

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Коняхин

Аннотация

В работе рассмотрено создание трёхкоординатной автоколлимационной системы, способной работать на большей дистанции чем аналогичные и имеющей увеличенный диапазон измерения углов. Проанализирован вид контрольного элемента, позволяющий производить данные измерения.

Ключевые слова

Трёхкоординатная автоколлимационная система, триэдрический отражатель, цилиндрическая поверхность, увеличенный диапазон измерения углов.

Введение

Автоколлимационные системы могут использоваться при: контроле деформаций и прогибов нагруженных элементов различных конструкций, промышленных, транспортных сооружений; контроле наземной, наводной, космической стыковки [1]. На современном рынке ниша двухкоординатных автоколлимационных систем принадлежит компаниям (Vicon-standa, TRIOPTICS, Контрольные Технологии, ОППРОТЕХ), однако ниша трёхкоординатных автоколлимационных систем не представлена, несмотря на множество патентов. Данный факт обуславливает необходимость проведения исследований и поиска оптимального решения для вышеупомянутых задач.

Обзор типовых проблем

В ходе обзора трёхкоординатных автоколлимационных систем выяснилась закономерность. При использовании довольно простых контрольных элементов (зеркал, призм) схема измерения будет содержать два автоколлиматора, а если же у нас есть потребность использовать только один автоколлиматор (для удешевления системы и уменьшения её габаритных размеров) происходит усложнение контрольного элемента (сложная оптическая система зеркал и призм [2]).

Также, при использовании в качестве контрольного элемента плоского зеркала возникает следующая проблема, описанная в [3]. При увеличении дистанции L возможна такая ситуация, когда пучок, сгенерированный автоколлиматором и отражённый от

плоского зеркала не попадёт в объектив. При этом производить измерения угла данного контрольного элемента не представляется возможным, однако, существует решение. Вместо плоского зеркала можно использовать триэдрический контрольный элемент с одной из граней заменённой на цилиндрическую поверхность. При этом отражённый ленточный пучок будет иметь увеличенную расходимость в одной из плоскостей, что позволит производить измерения при увеличении дистанции, а в дополнение, используя такой контрольный элемент появляется возможность измерить трёхмерное положение объекта с использованием только одного автоколлиматора.

Модель существующего контрольного элемента

Модель упомянутого выше контрольного элемента описана в [4] и представлена на рис. 1 (где система координат $X_0Y_0Z_0$ является граневой системой координат, а XYZ – приборной).

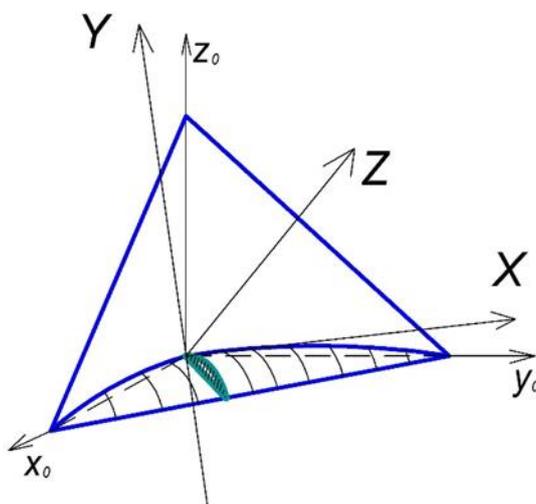


Рис. 1. Модель контрольного элемента

Также, в статье описан вид получаемого изображения и указано, что при повороте контрольного элемента линии на изображении поворачиваются. При этом информация об углах поворота контрольного элемента заключена в углах поворота линий на изображении. Однако для угла поворота Θ_1 (поворот вокруг оси X), при использовании данного отражателя, линии не поворачиваются, что представлено на рис. 2.

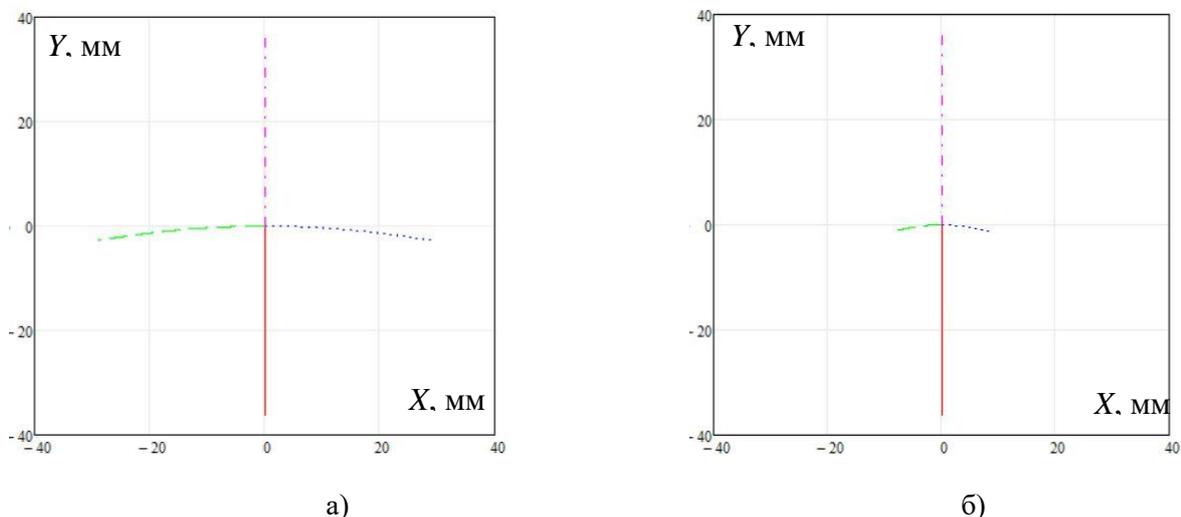


Рис. 2. Изображение, получаемое при угле поворота Θ_1 равном а) $+20^\circ$; б) -20°

Модель нового контрольного элемента

Чтобы решить данную проблему рассмотрим иную конфигурацию цилиндрической поверхности. Вместо использования одной цилиндрической поверхности рассмотрим следующую конфигурацию цилиндрических поверхностей (рис. 3а). Здесь для первой поверхности угол между проекцией нормали к ней в плоскость X_0OY_0 и осью X_0 равен -45° , а для второй поверхности равен 0° . При использовании данной конфигурации увеличивается освещённость в центре картины, а также появляется ещё одна линия на изображении, по которой можно определить угол поворота Θ_1 вокруг оси X (рис. 3б). При этом сплошной линии соответствуют последовательности 1-2-31 и 2-1-31, штрихпунктирной линии соответствуют последовательности 31-2-1 и 31-1-2, штриховой линии соответствует последовательность 1-31-2, а пунктирной синей соответствует 2-31-1, сплошной голубой линии соответствует последовательности 1-32-2 и 1-2-32 и 2-1-32, а мелко-пунктирной 2-32-1 и 32-2-1 и 32-1-2.

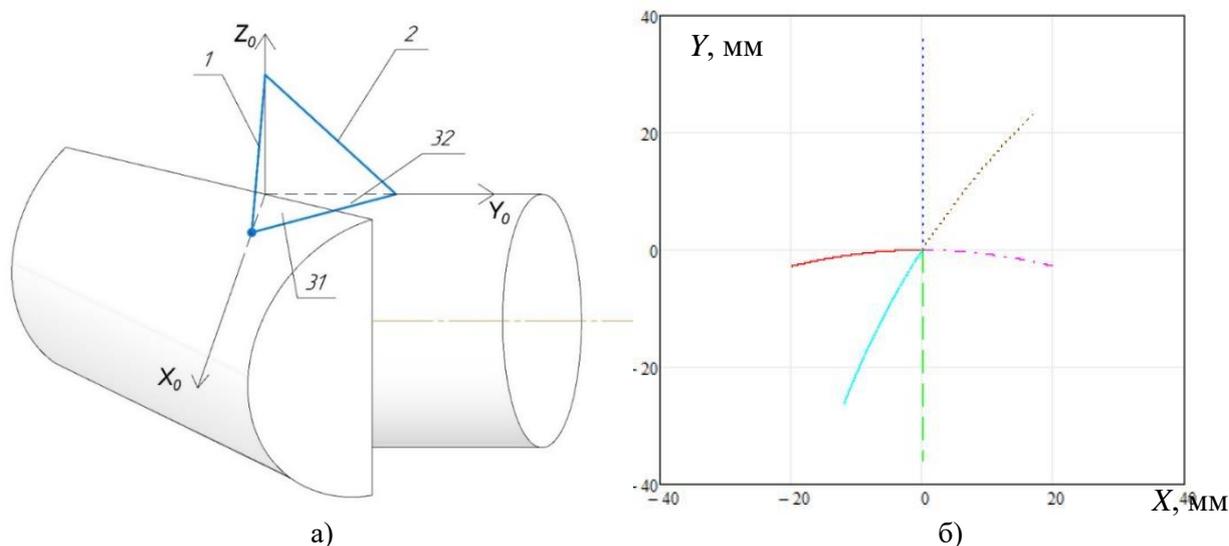


Рис. 3. а) Вид нового контрольного элемента;
б) Изображение, получаемое от нового контрольного элемента

Если проанализировать зависимость на рис. 4, то гипотеза о том, что введение второй грани позволит измерить угол Θ_1 подтверждается.

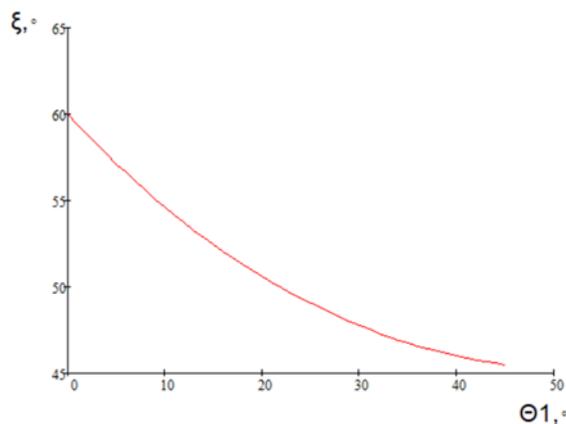


Рис. 4. Зависимость измеренного угла поворота ξ линии на изображении, от угла поворота Θ_1 контрольного элемента

Заключение

В данной работе был рассмотрен контрольный элемент, представляющий собой триэдрический отражатель с конфигурацией цилиндрических граней. Данный элемент, как показано в статье, позволяет полностью определять трёхмерное угловое положение объектов, на которые он будет установлен. А также, позволяет создать увеличенную освещённость в центре картины, что является немаловажным при проведении измерений.

Литература

1. Konyakhin I.A. Trihedral Reflectors for Three-Axis Angular Autocollimation Measurements / Konyakhin I.A, Renpu Li, Smekhov A., and Kleshchenok M. //In Latin America Optics and Photonics Conference, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America). 2014. Paper LTh4A.49, 0.187/0.09 п. л.
2. Трёхкоординатный фотоэлектрический автоколлиматор [Текст] : пат. 2650432 Рос. Федерация: МПК7 G 01 B 11/26, G 02 B 27/30 / Маламед Е.Р., Сокольский М.Н.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «ЛОМО». N 20717103573 ; опубл. 13.04.2018. Бюл. № 11.
3. Konyakhin I.A. Three-axis optic-electronic autocollimation system for the inspection of large-scale objects / Konyakhin I.A., Timofeev A.N., Konyakhin A.I. // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 8788. Pp. 87882C.
4. Никитин М.М. Исследование параметров и характеристик автоколлимационной системы при использовании отражателя с цилиндрической гранью // Сборник трудов IX конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-18 апреля 2020г.). 2021. Т. 2. С. 278-283.

Николаев Евгений Михайлович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т42505с,

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

e-mail: nikolaev_evgeniy_97@mail.ru

Молодкина Нелли Ринатовна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент практики,

e-mail: nrmolodkina@itmo.ru

УДК 35.24.12

**ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА
ИЗ ОТРАБОТАННОЙ БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ
С ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД**

Е.М. Николаев

Научный руководитель – к.т.н., доцент практики Н.Р. Молодкина

Работа выполнена в рамках НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

Аннотация

Статья посвящена изучению перспективы получения биоэтанола отработанной биомассы микроводорослей после очистных сооружений сточных вод в качестве альтернативного топлива. Используется отработанная биомасса микроводорослей с биологических очистных сооружений, реализуя тем самым принципы безотходного производства и экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова

Альтернативное топливо, получение биоэтанола, утилизация отработанной биомассы, переработка микроводорослей, экономика замкнутого цикла.

В условиях перенаселения планеты, роста потребления энергоресурсов и угрозы скорого их истощения, а также увеличения выбросов в атмосферу, угрозы истощения плодородных земель, сокращения их количества и загрязнения мировых водных ресурсов в результате жизнедеятельности человека существует острая необходимость соблюдения принципов устойчивого развития – переработки и повторного использования отходов. Образующиеся в результате очистки сточных вод микроводоросли требуют утилизации и могут быть использованы в качестве сырья для производства биоэтанола, как альтернативного топлива.

На сегодняшний день существуют 3 поколения сырья для производства альтернативного топлива: масличные с/х культуры (кукуруза, соя, сахарный тростник и т.д.); древесина, трава, а также непищевые остатки с/х культур, и, исследуемое сырье – водоросли.

Данная ВКР является совместным проектом с Институтом устойчивых процессов Университета г. Вальядолид в Испании, актуальность ВКР обуславливается проблемой утилизации отработанной биомассы микроводорослей после очистки сточных вод и возросшим спросом на биоэтанол 3 поколения. В Мире уже давно получают из микроводорослей: биодизель, биогаз, биоудобрения, используют в производстве удобрений, высокобелковых продуктов питания, а также пигментов, используют даже в медицине и косметологии.

Целью проведенных исследований было получение биоэтанола из отработанной биомассы с очистных сооружений. Для достижения поставленной цели работы были установлены следующие задачи: подбор оптимальной концентрации смеси микроводорослей, подбор метода экстракции углеводов, выбор заквасочной культуры и подбор оптимальной питательной среды для развития в ней дрожжей, изучение процесса синтеза биоэтанола, анализ сырья на наличие загрязняющих веществ и анализ полученных результатов.

Актуальность выбранной темы, важно обратить внимание на стабильно растущие объемы производства биоэтанола в Мире, а также высокую урожайность микроводорослей.

Объектом исследования является разная по видовому составу микроводорослей в течение года, прошедшая ферментативную и лиофильную сушку биомасса, а её главная функция при очистке сточных вод – насыщение воды кислородом для обеспечения жизнедеятельности активного ила, который очищает воду.

Для получения биоэтанола необходимы углеводы, содержание которых, в зависимости от вида микроводорослей варьируется от 20 до 40%.

Для проведения исследований была составлена схема. Теоретическая часть включала анализ литературных источников, а в экспериментальной части можно выделить 2 крупных блока – это экстракция сбраживаемых углеводов и спиртовое брожение.

Для проведения необходимых исследований были использованы рефрактометрический, весовой, ареометрический и рентген-флуоресцентный методы анализов, а также микрокопирование и перегонка.

Для достижения цели экстракции - получения доступа к углеводам, доступным для сбраживания, использовались температурные, физический, химический и ферментативные методы предобработки сырья.

Для проведения экстракции важно было подобрать оптимальную концентрацию микроводорослей в смеси, поскольку это также важно для дальнейшего спиртового сбраживания, т. к. в густой, неоднородной смеси брожение идти не будет. Для этого рассматривались концентрации в диапазоне от 5 до 15%.

Производство биотоплива из водорослей требует достаточного снабжения микроводорослей питательными веществами, в частности азотом и фосфором, для лучшего роста. Поставка питательных веществ считается одним из основных факторов затрат при производстве биоэтанола из микроводорослей. Даже если водоросли выращиваются на непахотных землях, их культивирование для производства биотоплива требует внесения питательных веществ. Таким образом, выращивание водорослей для производства биотоплива напрямую конкурирует с выращиванием пищевых культур за биогенные элементы [1]. Аналогично, если питательные вещества ограничены в воде, используемой в качестве среды для роста водорослей, то требуются источники питательных веществ, что увеличивает производственные затраты. Сточные воды различных отраслей промышленности и канализационные воды содержат значительное количество различных макро- и микроэлементов [2]. Поэтому сточные воды промышленных предприятий и канализационные воды считаются привлекательным ресурсом для выращивания водорослей для производства биоэтанола, в сравнении с

лабораторным культивированием, системой открытых прудов, закрытых фотобиореакторов и использованием биопленок.

Собранная биомасса водорослей перерабатывается для производства биоэтанола в процессе дегидратации и экстракции.

Собранные водоросли содержат почти 90% воды. Поэтому сушка водорослей до 50% содержания воды необходима для получения относительно сухой, твердой биомассы, которую можно легко обрабатывать.

Для получения биоэтанола из биомассы водорослей обычно используется ферментация. Ферментация используется для преобразования сахаров, крахмала или целлюлозы в биомассе в этанол. Дрожжи сбраживают сахара с образованием этанола [3]. Процесс очистки, называемый дистилляцией, используется для удаления воды и других загрязнений в разбавленном спиртовом продукте (10 – 15% этанол). Полученный биоэтанол (95% объема за одну очистку) сливают и доводят до жидкого состояния, которое и используется в качестве добавки или альтернативы бензину в первую очередь для автотранспорта [4]. Пошаговая технологическая схема производства биоэтанола из биомассы водорослей представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема, показывающая различные этапы производства биотоплива из водорослей

Для получения сбраживаемых углеводов из микроводорослей с большой вариативностью показателей использовались различные методы экстракции:

- термостатирование;
- высокотемпературная обработка (автоклавирование);
- ультразвуковая обработка;
- кислотная обработка;
- ферментативная обработка.

Наилучший результат показала комбинация последовательной кислотной, ультразвуковой и высокотемпературной обработок.

Было приготовлено 3 исследуемые смеси микроводорослей содержанием 12,5%. Кислотная обработка включала в себя приготовление смеси водорослей с использованием 3, 6 и 9% раствора серной кислоты. Обработка ультразвуком осуществлялась на специальном ультразвуковом генераторе с частотой 44 кГц в течение 20 минут. Затем проводилось автоклавирование при температуре 121°C в течение 20 минут. После автоклавирования смеси с кислотой были нейтрализованы с использованием 25% раствора гидроксида натрия с использованием рН-метра до

показателя pH = 4,7 – 5,3 оптимального для жизнедеятельности дрожжей DistilaMax HT. Содержимое было перемещено в пробирку и центрифугировано при числе оборотов ротора 6000 мин⁻¹ в течение 5 минут. Супернатант, получившийся в результате центрифугирования, для каждой суспензии был измерен на рефрактометре. Результаты указаны графически на рис. 2.

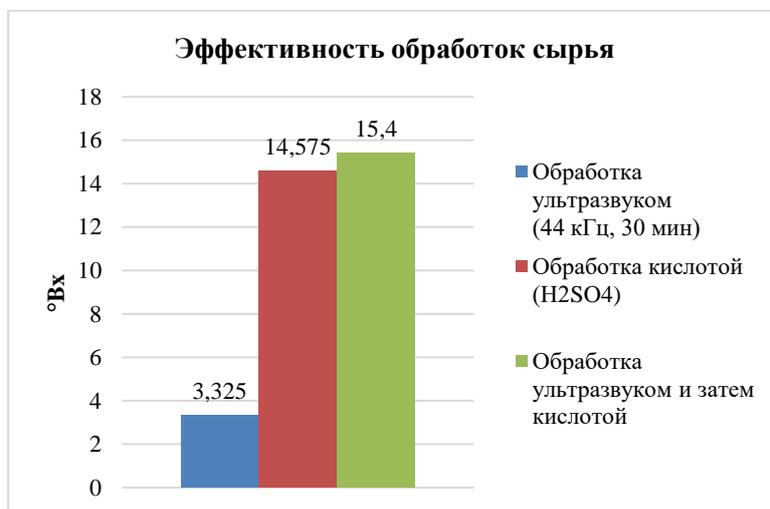


Рис. 2. Эффективность экстрактивных обработок сырья

Основываясь на полученных данных, был сделан вывод о том, что сочетание последовательных ультразвуковой, кислотной обработок и затем обработки автоклавированием позволяет экстрагировать наибольшее количество потенциально сбраживаемых углеводов, согласно градусам Брикс. Данная обработка сырья признана оптимальной и рекомендуема для дальнейшего применения.

В дальнейшем была проведена инокуляция суспензии дрожжей, содержащей 108 КОЕ/мл, в полученный раствор микроводорослей. Для отслеживания динамики брожения был использован весовой метод анализа.

По прошествии чуть более 3 суток, когда масса колб перестала изменяться (рис. 3), содержимое колб с оптимальной средой и массой микроводорослей было отцентрифугировано и перегнано на вакуумной ротационной испарительной установке с использованием холодильника.

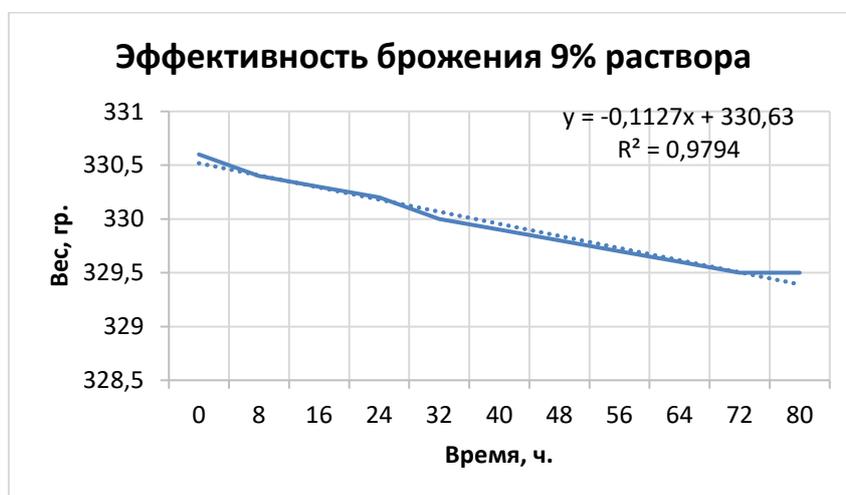


Рис. 3. Эффективность брожения 9% раствора

Для определения концентрации спирта в спиртосодержащей жидкости были приготовлены растворы с известным содержанием спирта и проанализированы на рефрактометре для построения градуировочной прямой (рис. 4).

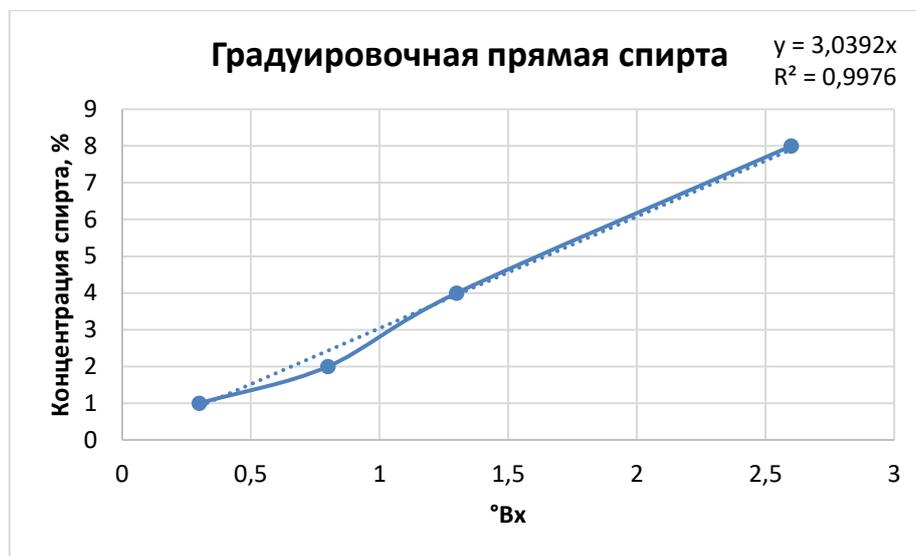


Рис. 4. Градуировочная прямая спирта

Таблица 1

Данные результатов брожения

	%	3	6	9
Опыт	°Вх	0,2	0,6	0,8
Контроль		5,2	4,3	4,4

Наилучший результат брожения показал раствор с концентрацией серной кислоты 9%, равный 0,8 °Вх, что соответствует концентрации 2,43% по градуировочной прямой спирта, хотя, согласно контролю, в идеальных условиях, результат должен был составить не ниже 13% биоэтанола (табл. 1).

Полученные результаты могут свидетельствовать о наличии лимитирующих факторов, препятствующих полному течению брожения.

Был проведен качественный анализ содержания тяжелых металлов в сырье рентген-флуоресцентным методом с использованием спектрометра «Спектроскан Макс - GF2E» после измельчения с использованием дискового истирателя и высушивания материала до воздушно-сухого состояния. Исследование проводилось в 2 параллелях.

При помощи справочных материалов в пробе были определены такие тяжелые металлы, как: Sr (стронций), Cu (медь), Zn (цинк), Fe (железо), Mn (марганец), препятствующие развитию дрожжевой культуры и ферментации микроводорослей с получением биоэтанола.

Качественный анализ исследуемого сырья показал, что в образцах есть тяжелые металлы. Причиной их появления в биомассе является то, что микроводоросли были получены после очистки сточных вод свинофермы.

Нашими испанскими коллегами из Университета г. Вальядолида вместе с образцами микроводорослей для исследований возможности получения биоэтанола в сопроводительном письме были присланы результаты исследований содержания

органических кислот и сопутствующих веществ в исходном кислотно обработанном, лиофильно высушенном обработанном сырье. С учетом изученной литературы, было выявлено, что на ход брожения биоэтанола влияют в том числе ингибиторы и содержащиеся в сырье органические кислоты, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Содержание органических кислот и сопутствующих веществ

Глюкоза	Общее содержание	Щавелевая кислота	Молочная кислота	Уксусная кислота	Янтарная кислота	Муравьиная кислота	Левулиновая кислота	Ксилитол	Глицерин
г/л									
15	5,84	1,44	0,41	0,68	0,11	0,64	1,23	0,59	0,21

Микроводоросли после очистки сточных вод потенциально можно считать перспективным устойчивым альтернативным сырьем для получения биоэтанола, поскольку практический выход составил 78% от теоретического. Главной проблемой является наличие лимитирующих факторов брожения.

В результате проведенных исследований была разработана методология получения биоэтанола из биомассы микроводорослей, которую, потенциально, можно использовать и для других видов углеводсодержащего сырья, были подобраны методы обработки сырья, их технологические режимы и последовательность.

Практическая значимость исследований заключается в экологичном способе переработки микроводорослей после очистки сточных вод. Разработка методологии переработки отходов с получением биоэтанола является научной значимостью исследований.

В качестве дальнейшего развития проблемы можно рассматривать выведение специализированного вида микроводорослей, которые будут одинаково эффективны и для очистки сточных вод, и для получения биоэтанола, накапливая высокое содержание углеводов. Или продолжать поиск решения проблемы лимитирующих факторов брожения.

Литература

1. Peccia J. Nitrogen supply is an important driver of sustainable microalgae biofuel production. *ТibTEch*. 2013. №31(3). P. 134 – 138.
2. Molina Grima E, Belarbi E, Acien Fernández F.G., Robles Medina A., Chisti Y. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnol Adv* – 2003. №20. P. 491 – 515.
3. Desmorieux H., Decan N., WITHDRAWN: convective drying of Spirulina in thin layer. *J Food Eng*. 2005. №66(4). P. 497 – 503.
4. Patil V.K.Q., Giselrod H.R., Towards Sustainable Production of Biofuels from Microalgae. *Biol Environ*. 2008. №9. P. 1188 – 1195.

Николайчева Александра Максимовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U42501,

направление подготовки: 38.04.05 – Бизнес-информатика,

e-mail: alex-nikolaicheva@yandex.ru

Павлова Елена Александровна

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: ea_pavlova@mail.ru

УДК 65.011.56

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ
СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ СФЕРЫ УСЛУГ**

А.М. Николайчева

Научный руководитель – к.э.н., доцент Е.А. Павлова

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

Аннотация

В работе исследованы существующие процессы склада на предприятии сферы услуг (станции технического обслуживания грузовых автомобилей), выявлены узкие места процессов склада, а также разработаны рекомендации по устранению выявленных узких мест процессов склада. В рамках исследования на основе рекомендаций были разработаны модели проектируемых бизнес-процессов склада станции технического обслуживания, а также проведена оценка рисков и экономической эффективности совершенствования бизнес-процессов склада.

Ключевые слова

Склад, бизнес-процессы, станция технического обслуживания, совершенствование бизнес-процессов, автоматизация.

Две тысячи двадцатый год ознаменован кризисом во многих отраслях рынка ввиду распространения вируса COVID-19. Введение ограничений на деятельность различных предприятий вплоть до приостановки их деятельности, изменения в предпочтениях потребителей продуктов и услуг, усиление конкуренции на рынке привели к снижению финансовых показателей многих предприятий. Некоторые предприятия оказались не готовы к кардинальным переменам на рынке и не смогли адаптироваться к новым условиям ведения бизнеса, что привело к их закрытию. Кризис, возникший по причине распространения вируса COVID-19, осветил остро стоящую проблему многих российских компаний, а именно проблему неоптимизированных и неавтоматизированных бизнес-процессов.

Рынок автосервиса не является исключением в общей картине кризиса пандемии COVID-19. Для выживания на рынке и удержания и усиления конкурентных позиций станциям технического обслуживания необходимо усовершенствовать не только ассортимент предлагаемых товаров и услуг, но и также качество и скорость обслуживания клиентов, совершенствуя и автоматизируя внутренние процессы

предприятия в рамках глобальных рыночных изменений. Говоря о процессах подразделений предприятия, склад является значимым звеном в цепи поставок клиентам качественного продукта или услуги. От скорости и качества выполнения процессов склада зависит возможность обеспечения непрерывности основных бизнес-процессов станции технического обслуживания (оказания услуг ремонта и обслуживания автомобилей, а также продажи запасных частей) [1-5].

Исследуемое предприятие – это станция технического обслуживания грузовых автомобилей одного из крупных автомобильных брендов. Путем анализа регламентов процессов, проведения фотографии рабочего дня, а также проведения интервью с сотрудниками склада станции технического обслуживания автором были исследованы процессы склада, существующие на текущий момент на предприятии. На основе полученных данных о структуре и этапах процессов, автором были разработаны модели следующих процессов:

- заказ товара;
- подготовка к прибытию товара;
- приёмка товара и размещение на хранение;
- подбор товара;
- отгрузка товара;
- перемещение товара;
- доставка товара;
- программа Exchange;
- инвентаризация;
- выдача инструмента;
- прием инструмента;
- выполнение пуско-наладочных работ складского оборудования.

На основе разработанных моделей, а также результатов данных, полученных в рамках интервью и опросов сотрудников станции технического обслуживания, хронометража процессов склада автором исследования были определены «узкие места» бизнес-процессов склада. Автором были выделены следующие основные группы проблем, влияющих на эффективную деятельность склада:

- 1) несистематизированный ручной учёт продукции и инструмента на складе;
- 2) проблемы организации складского пространства и размещения продукции на складе;
- 3) отсутствие анализа показателей процессов (спрос на инструмент, поломки инструмента);
- 4) отсутствие автоматизации процессов в пользу фиксации и передачи информации на бумажном носителе;
- 5) за складом закреплена часть функционала, который должен выполняться другими подразделениями;
- 6) отсутствие достаточных знаний и квалификации у сотрудников склада.

Для устранения вышеуказанных узких мест процессов склада автором исследования был разработан комплекс мер совершенствования процессов склада (согласно пожеланиям сотрудников склада, а также на основе информации о современных решениях, предлагаемых для автоматизации процессов склада).

Автором были разработаны следующие рекомендации для устранения проблемы несистематизированного ручного учёта продукции и инструмента на складе:

- ограничение доступов координаторам сервиса к размещению заказа в специализированных системах по размещению заказов, а также к проведению документов о выдаче/извлечении товаров в/из реализации в системе склада – данная мера позволит сотрудникам склада самостоятельно контролировать все складские операции, систематизируя учёт и избегая некорректных проведений операций в системе

без передачи запасных частей клиенту или возврата их на склад, самостоятельно обеспечивать контроль сроков выполнения задач склада (например, контроль сроков поставки заказанных запасных частей);

- замена существующей системы на складе: внедрение системы "1С: WMS Логистика. Управление складом", а также внедрение системы штрих-кодирования на склад, а также RFID меток на адреса хранения запасных частей, что позволит автоматически собирать данные о запасных частях при приемке, размещении на хранение и инвентаризации запасных частей и инструментов, делая учет более прозрачным и минимизируя ошибки ручного подсчета;

- внедрение модуля учета инструмента – данная мера позволит автоматизировать и систематизировать процессы поиска, приема и выдачи инструмента, снижая время на поиск инструмента, а также фиксируя данные о выдаче и приеме инструмента в электронном виде, что в свою очередь даст возможность отследить историю перемещений инструмента на производстве;

- организация процесса инвентаризации инструмента на складе.

Проблемы организации складского пространства и размещения продукции на складе могут быть также решены с помощью замены существующей системы на складе: внедрение системы "1С: WMS Логистика. Управление складом", поскольку данная система имеет функционал, позволяющий автоматически на основе заданных критериев распределять товарно-материальные ценности на складе. Несмотря на то, что разработка стратегии в отношении закупок запасных частей напрямую не связана с организацией складского пространства, однако, пересмотр стратегии закупок, а именно осуществление закупки запасных частей не одновременно в начале года, а ежеквартально исходя из реальной сезонной потребности, позволит организовать место для хранения запасных частей текущих закупок вместо хранения нереализованных запасов на год. Не менее важная мера для устранения данного узкого места — это внедрение регламента размещения товаров на складе. Данная мера позволит определить критерии и установить правила, согласно которым запасные части будут размещаться на хранение на склад, позволяя сотрудникам затрачивать наименьшее время на поиск и отбор запасных частей.

Для внедрения анализа показателей процессов, по которым на текущий момент анализ не проводится (спрос на инструмент, поломки инструмента) предлагается создание дополнительных реестра спроса на отсутствующий на складе инструмент, реестра взаимозаменяемых инструментов, а также реестра выхода из строя инструмента и оборудования, позволяющих фиксировать данные для определения необходимости проведения закупки дополнительной единицы инструмента или нового инструмента в целом (по причине поломки или отсутствия инструмента на складе).

Одной из наиболее значимых проблем процессов склада является отсутствие автоматизации некоторых процессов: в рамках таких процессов информация фиксируется или передается между сотрудниками на бумажном носителе (например, передача информации о заказе запасной части, об отгрузке запасных частей, фиксация информации о приеме и выдаче инструмента). Для автоматизации данных процессов рекомендованы к внедрению: система "1С: WMS Логистика. Управление складом", функционал которой направлен на автоматизацию всех процессов склада, позволяющий фиксировать и передавать информацию в электронном виде в рамках системы, система штрих-кодирования, а также RFID метки на адреса хранения запасных частей – данные системы позволят автоматизировать учет и избавиться от бумажных записей при подсчете и размещении запасных частей при приёмке и инвентаризации, модуль учета инструмента (автоматизированное рабочее место учета инструмента) – данная система упростит поиск инструмента, сделает учет инструментов более прозрачным, позволит фиксировать всю информацию о выданном и принятом инструменте в электронном виде, а не на бумажном носителе.

Поскольку за складом закреплена часть функционала, который должен выполняться другими подразделениями, необходимо снять функционал по данным процессам со склада, а именно подбор товара, доставку запасных частей клиентам или от поставщиков, оценку запасных частей, сдаваемых к восстановлению, клиентами. Данная мера позволит снять лишнюю нагрузку с сотрудников склада и увеличит время на выполнение основных складских процессов.

Для обеспечения эффективности всех процессов склада и увеличения скорости их выполнения сотрудникам склада необходимо также восполнить отсутствие знаний и квалификации по определенным направлениям, а именно сотрудникам склада рекомендовано пройти обучение знаниям технического устройства прицепа, навыкам подбора запасных частей на различных платформах, знанию каталога инструмента, хранимого на складе, а также навыкам обслуживания и несложного (не технологичного) ремонта инструментов.

На основе предложенных рекомендаций для совершенствования процессов склада автором были разработаны усовершенствованные модели существующих процессов склада. Внедрение разработанных моделей процессов склада должно привести к повышению эффективности работы склада, снижению затрат в рамках складской логистики и увеличению прибыли (как результат снижения затрат, так и в результате получения дополнительного дохода за счет перераспределения бюджета склада), снижению временных затрат на осуществление складских операций, а также снижению количества ошибок в результате ручного труда сотрудников и систематизации учета складских операций и товарно-материальных ценностей (запасные части, инструмент), хранимых на складе.

В результате проведенного анализа рисков автором были определены основные риски реализации данного проекта и ранжированы согласно тепловой карте рисков. Тепловая карта рисков представлена на рисунке.



Рисунок. Тепловая карта рисков

Таким образом, было определено, что наиболее значимым риском для реализации данного проекта является возможная нестабильность бизнес-процессов из-за непрекращающихся изменений на предприятии, поскольку данный риск имеет высокую вероятность возникновения и также может принести некоторые убытки. Остальные выделенные риски имеют более низкую степень вероятности возникновения.

В рамках оценки эффективности проекта совершенствования процессов склада автором был произведен расчет затрат, необходимых для реализации проекта. В структуру затрат на реализацию данного проекта входят такие виды затрат как затраты на основную заработную плату, затраты на закупку программного обеспечения, затраты на закупку дополнительного оборудования, амортизационные отчисления, налоги, затраты на обучение. Общая сумма затрат на реализацию проекта совершенствования процессов склада составит 1 861 924,7 рублей.

Говоря об ожидаемом доходе после внедрения разработанных рекомендаций на склад предприятия можно отметить достижение следующих эффектов:

- 1) сокращение 1 ПШЕ (20% от 5 человек) кладовщика;
- 2) сокращение затрат на внеплановый ремонт инструмента (снижение затрат на ремонт инструмента на 20%);
- 3) сокращение неэффективных закупок запасных частей ("мертвый склад" - 10% от всех закупок запасных частей);
- 4) рост дохода от продажи услуг по сервису автомобилей (увеличение скорости обслуживания клиентов на 5%);
- 5) доход от размещения высвобожденных финансовых средств (равномерное распределение финансовой нагрузки в течение года - закупка запасных частей не одновременно в начале года, а ежеквартально исходя из реальной сезонной потребности).

Согласно результатам расчетов, общий доход от реализации мер по устранению узких мест в рамках данного проекта составляет 19 034 301,4 рублей.

В таблице приведены основные показатели оценки экономической эффективности проекта по совершенствованию бизнес-процессов склада на СТО.

Таблица

Расчёты основных показателей экономической эффективности

Ставка дисконтирования (квартальная)	0,04			
Начальные инвестиции в проект (I), руб.	1 861 924,69			
Чистый приведенный доход (NPV), руб.	34 626 804,94			
Период	31.03.2022	30.06.2022	30.09.2022	31.12.2022
Чистый денежный поток (NCF), руб.	3 170 041,06	8 049 869,83	12 732 376,68	17 172 376,68
Рентабельность инвестиций (ROI), %	170,3%	432,3%	683,8%	922,3%

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что уже в первом квартале предприятие окупит те финансовые средства, которые были затрачены на реализацию проекта по совершенствованию бизнес-процессов склад СТО, а также получит прибыль за проект.

Разработанные рекомендации и модели процессов могут быть как использованы на исследуемом предприятии услуг, так и внедрены на других предприятиях или взяты за основу для совершенствования процессов склада или разработки стандартов процессов склада.

Литература

1. Гаджинский А.М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика: учебно-практическое пособие/ Гаджинский А.М. Москва: Проспект. 2005. 176 с.
2. Багинова В.В., Николашин В.М., Николаева А.И., Сеницына А.С. Основы складской логистики: учебное пособие / Багинова В.В., Николашин В.М., Николаева А.И., Сеницына А.С. Москва: МИИТ/ 2010. 86 с
3. Самсонов В.С., Курмаев Р.А. Оптимизация работы промышленного склада/ В.С.Самсонов, Р.А. Курмаев // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. 3 (21). с. 50 – 53.
4. Яшин И. Инновации в складской логистике/ Яшин И. // Склад. Управление запасами. 2016. 3. С. 22-24
5. Одарченко А.Н., Соколова Е.Б. Преимущества внедрения системы автоматизации склада на базе WMS / А.Н. Одарченко, Е.Б. Соколова // Бизнес-информ. 2014. 12. стр. 329-332.

Olga Oskina

Year of birth: 1996

ITMO University,

faculty of control systems and robotics,

student of group №R42383,

field of study: 27.04.03 – System analysis and control,

e-mail: olga.oskina1996@gmail.com

Sergei Shavetov

Year of birth: 1988

ITMO University,

faculty of control systems and robotics,

professor (associate), Ph.D.,

e-mail: s.shavetov@itmo.ru

УДК 004.42

**DESIGN OF STEREO VISION-BASED SYSTEM
FOR MOBILE ROBOT AUTONOMOUS NAVIGATION**

O. Oskina

Thesis Supervisor – Ph.D., professor (associate) S. Shavetov

Abstract

The paper considers the design of a navigation system for a mobile robot provided with methods that allow a robot to localize itself within an indoor environment after building a 2D-occupancy grid map using a set of images from the stereo camera as input data. The conducted investigation of existing methods and related works has allowed finding the solution for such nontrivial tasks as obstacle detection and mapping. As a result, a working implementation of stereo vision-based autonomous navigation in the unknown indoor environment is presented. Simulation results are obtained by executing algorithms via Robot Operating System (ROS) framework in a simulated indoor environment in a Gazebo simulator.

Keywords

Navigation, stereovision, calibration, depth map, visual odometry, occupancy-grid map, path planning, A* algorithm, ROS, Gazebo, Raspberry Pi.

Integration of robotic systems and other complex cyber-physical systems (CPS) into our life promises many benefits. Mobile robots hold a special place in various industries and human activities. Mobile robots make a workflow more efficient and productive, working side-by-side with humans. It results in endless applications of mobile systems in logistics, warehousing, entertainment, and domestic tasks. Navigation is the fundamental concept that makes a robot mobile. The main current engineers' objective still lies in developing mobile robots capable of navigating fully autonomously in complex environments.

There are different approaches to localization and navigation. Wheel odometry provides an ability to define robot translation relative to the previous position. However, the robot movement over uneven or slippery terrain leads to measurement errors accumulating over time. GPS can be useless in indoor navigation or in an environment where a signal from the GPS satellites is obstructed by trees, buildings, or other objects. Another alternative method is visual odometry. The method estimates the robot translation and rotation according to the processing of the images sequence taken by single or multiple cameras attached to it. The implementation of this method is the most reasonable at a price. The cost of the camera is lower compared to IMUs. But this approach still does not fully solve the drift problem. Due to the mentioned

limitations, the family of algorithms, solving the tasks called Simultaneous Localization and Mapping - SLAM [1], has been proposed. According to the research [2], it is the most reasonable to implement visual odometry or SLAM. These methods accumulate less error, solve the drift problem, show the best results in indoor navigation.

The sensors commonly used as a perception tool for visual odometry, or visual SLAM are ultrasonic, lidars, and visual sensors (monocular cameras, stereo cameras, and RGB-D cameras). Monocular cameras lack depth information. Acoustic sensors and lidars lack the feature-rich representation of the environment. RGB-D cameras provide both depth and texture information, but they have a limited range. Moreover, lidars and RGB-D cameras are bulky, expensive, usually power-hungry and entail computational challenges. Tabl. 1 shows the characteristics of the sensors.

Table 1

Sensors attributes

Sensor Type	Max. Depth Range, [m]	Accuracy [cm]	Power Consumption, [W]	Dimensions	Price, (\$)
Acoustic	2-5	0.3-0.5	0.01-1	Very compact	1-500
Lidar	50-300	2-14	50-200	Bulky	5k-100k
Monocular camera	N/A	-	0.01-10	Compact	100-5k
Stereo camera	5-20	0.5 -5	2-15	Compact	500-5k
RGB-D camera	3-6	0.4-1.8	2-5	Compact	150-400

Considering mentioned pros and cons, the sensor chosen for this work is a stereo camera. It can provide depth and rich visual information. It requires less power to operate being a passive sensor. Widely available at a low cost because it can be constructed with two identical monocular cameras.

The main idea in this work is to provide a low-cost reliable navigation system for mobile robots in an unknown indoor environment. The system should provide the following: 1) Capturing stereo pairs with further processing: camera calibration, epipolar geometry calculation, the rectification of stereo images. 2) Generating a model of the world with static objects in the form of a map. 3) Moving and avoiding collisions with static obstacles detected on stereo images. The calibration should provide the desired results in obstacle detection and distance estimation tasks: the range of the measured distance to the obstacle is between 20 and 100 cm, and the maximum relative error of the measured distance is within 10%.

In this paper, stereo vision is performed with a stereo vision camera constructed with two identical Raspberry Pi Camera Modules attached to StereoPi board with Raspberry Pi Compute Module 3+, presented in fig.1.

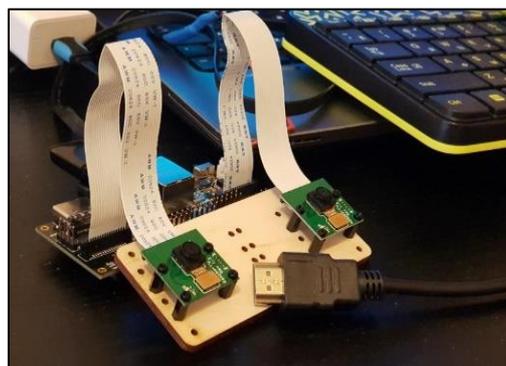


Fig. 1. Constructed stereo camera

It is necessary to make a camera calibration in the first place. Camera calibration is a process of obtaining the following parameters:

- the intrinsic camera parameters - the inner transformations of the camera, including focal length, the position of the principal point, sensor scale and skew,
- the parameters of lens distortion,
- the external transformation parameters (3D rotation and translation).

Camera mathematical model (1) as a matrix-vector product in homogeneous coordinates describes the relationship between the coordinates of the point $P(X, Y, Z)$ in the camera's coordinate system (CS) and its projection $p(x, y)$ onto the image plane, the geometry of which is presented in fig. 2

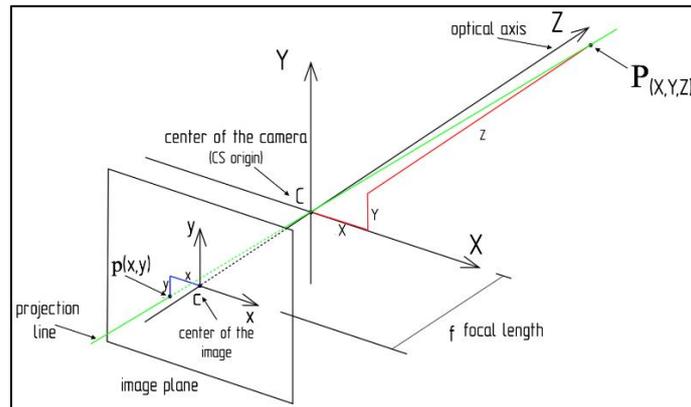


Fig. 2. Geometry of the camera model

Obtained camera matrix K represents so-called intrinsics parameters.

$$\begin{aligned}
 [x \quad y \quad 1]^T &= \frac{1}{Z} \begin{bmatrix} fk \frac{X}{Z} + c_x Z & fl \frac{Y}{Z} + c_y Z & Z \end{bmatrix}^T \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow Z \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x & 0 \\ 0 & \beta & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [I \quad 0] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = K [I \quad 0] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

where $[c_x \quad c_y]^T$ is an offset of a principal point, k, l are parameters corresponding to the change of units (pixel/cm) in the two axes of the image plane.

The next step is to obtain additional transformation (2) that relates points from the world coordinate system to the camera coordinate system

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R & t \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

where $R_{3 \times 3}$ is a rotation matrix and $t_{3 \times 1}$ is a translation vector known as extrinsics parameters.

To obtain full projection matrix M (3) that describes the external and internal parameters of the camera transformation from the world coordinate system to the camera coordinate system, we substitute expression (2) in expression (1):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K \left([I \ 0] \begin{bmatrix} R & t \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = K [R \ t] \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Calibration is implemented using the OpenCV computer vision library. A 6x9 chessboard is taken as a calibration template. The size of one square is 25 mm. The images of the chessboard are taken at different angles and distances because the calibration needs various points with different perspectives (fig. 3). The world coordinate is linked to the chessboard. For simplicity, a coordinate system is chosen such that one of the chessboard corners is in the origin and the board is in the plane $Z = 0$. Each stereo pair should be split by half to obtain a calibration matrix for each camera. The detection of the corners of the checkerboard is shown in fig. 3.

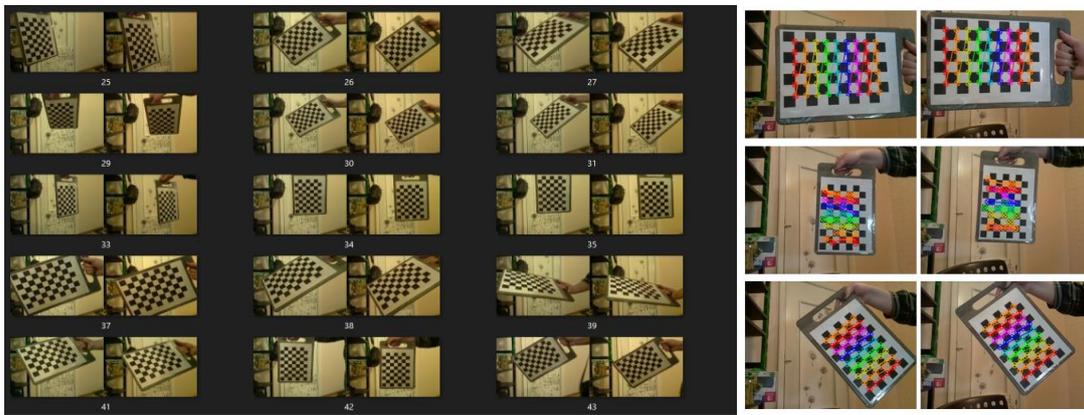


Fig. 3. A part of a collection of 50 stereo pairs and detected corners of squares

After corner detection and their coordinates extraction, full projection matrix is obtained by solving matrix equation (4) with Least Square Method (LSM) to obtain full projection matrix:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

As a result of calibration intrinsics and extrinsics parameters are obtained:

$$K_{left} = \begin{pmatrix} 620,6836 & 1,1520 & 322,0979 \\ 0 & 615,2511 & 231,6518 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; K_{right} = \begin{pmatrix} 624,1312 & 0,9725 & 315,7615 \\ 0 & 626,5425 & 235,0988 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} 0,9999 & -0,0130 & 0,0045 \\ 0,0133 & 0,9977 & -0,0669 \\ -0,0037 & 0,0669 & 0,9978 \end{pmatrix}; t = (63,7751 \ -1,4998 \ 1,3299)$$

The process of stereo calibration was also carried out. Distortion correction and rectification aligns images so that all epipolar lines of the right and left images coincide and

become parallel to the horizontal sides of the image. Images after calibration and correction of distortion can be seen in fig. 4.

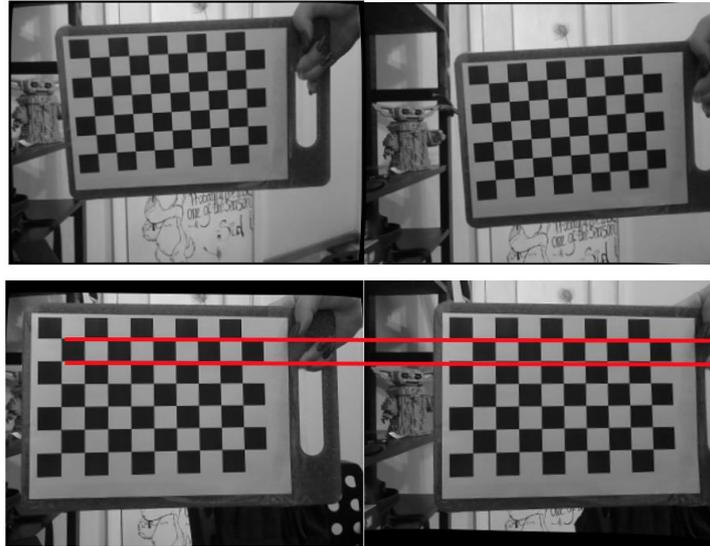


Fig. 4. Stereo calibration results

After all corrections is done and calibration matrices obtained, we can start to estimate the depth as the distance to the objects using stereo images. The stereo geometry which is used for depth measurements with Raspberry Pi cameras is presented in fig. 5.

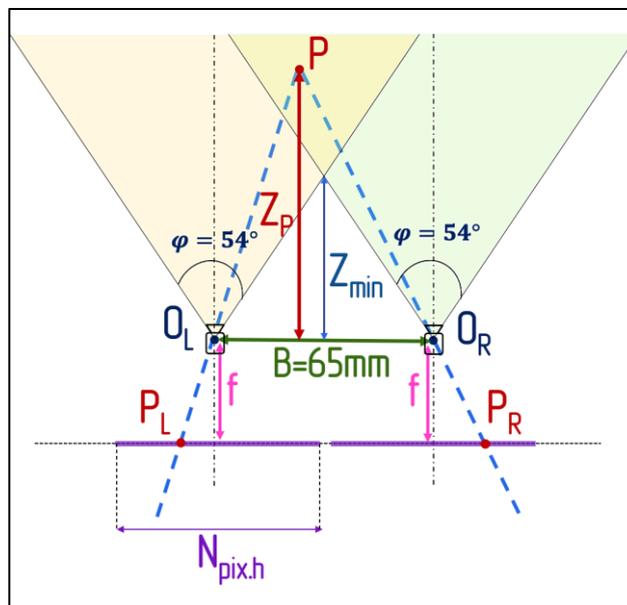


Fig. 5. Stereo geometry for stereoscopic depth measurements with Raspberry Pi cameras

Using fig. 5, we can define distance Z_p to the object P , using the similarity of triangles $O_L P O_R$ and $P_L P P_R$. We get the following expression (5):

$$\frac{B}{B + (x_L - x_R)} = \frac{Z_p}{Z_p + f} \Leftrightarrow Z_p = \frac{Bf}{x_L - x_R} = \frac{Bf}{d}, \quad (5)$$

where B is a baseline, f is a focal length, Z_p is a depth, $d = x_L - x_R$ is a disparity.

As the depth estimation is only possible in the area where fields of view of both cameras overlap, the minimum measurable distance is the following:

$$Z_{\min} = B \tan(90^\circ - \frac{\varphi}{2}) = 0,065 \tan(63^\circ) = 0,065 \cdot 1,96 \approx 13 \text{ cm}$$

and the maximum measurable distance is the following:

$$Z_{\max} = \frac{BN_{pix,h}}{2 \tan(\frac{\varphi}{2})} = \frac{0,065 \cdot 640}{2 \tan(27^\circ)} \approx 40 \text{ m}$$

The results of the implementation of proposed depth estimation method shows the mean error of 6,4 % and presented in tabl. 2.

Table 2

Measured distances with constructed camera

Attempt №	Actual distance, [cm]	Measured distance, [cm]	Error, %	Average error, %
1	15	16,97	13,13	6,4
2	25	28,21	12,84	
3	35	31,54	9,89	
4	45	42,08	6,49	
5	55	56,44	2,62	
6	65	62,13	4,42	
7	75	77,8	3,73	
8	85	86,48	1,74	
9	95	98,89	4,09	
10	105	100,12	4,65	

A 2D occupancy grid map is generated by projecting the 3D point cloud onto the X-Z plane with the Z-axis in the direction of motion of the robot [3, 4]. The X-Z plane is divided into grid cells which can be occupied or free. The occupancy map generation uses the stereo images as input which correspond to the camera pose estimation and the information about the obstacles and the free spaces. The obstacle and the free spaces detection are computed with the disparity map. The camera pose estimation is based on obtaining the extrinsic parameters of the stereo camera.

For path planning, the navigation map information is used by A-Star (A*) algorithm for optimal path finding based on finding shortest line that does not cross any of occupied cells [5]. A* approach calculates the distance to the target position using the search by the first best match on the weighted graph, which finds the path with the lowest cost from the initial position to the goal. The cell with least cost to move and the shortest estimated distance to the goal is selected.

To sum up the previously described steps for mapping and path planning, the desired navigation algorithm is presented in fig. 6.

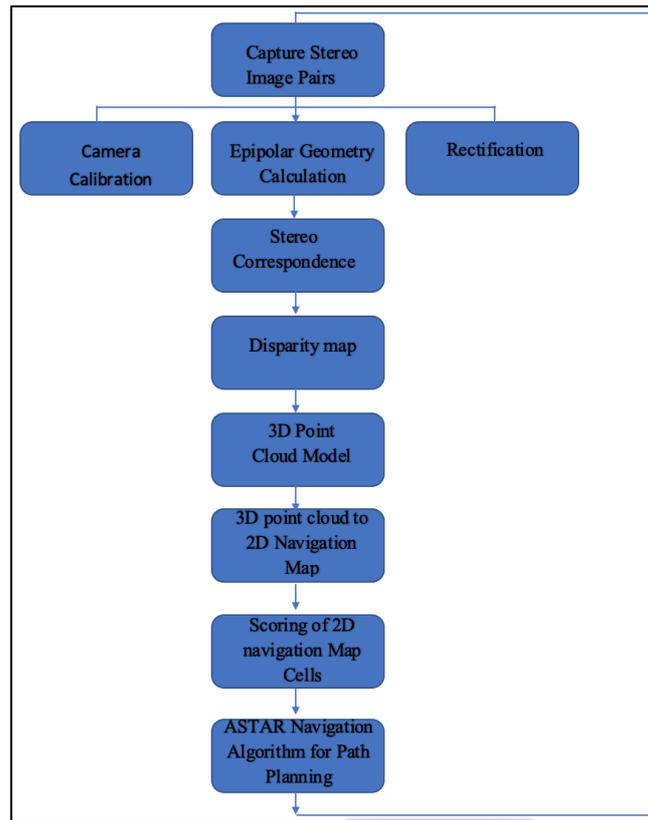


Fig. 6. Navigation algorithm

For simulation, constructed stereo camera is transformed into 3D solidworks model which is integrated into simulation world and attached to model of the TurtleBot mobile robot (fig. 7).

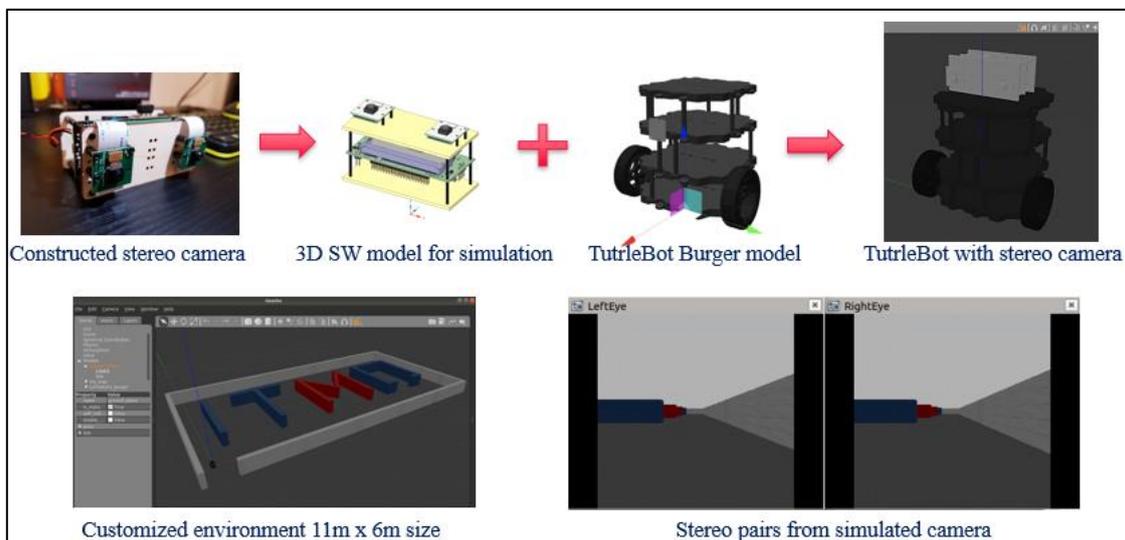


Fig. 7. Simulation process

The simulation world consists of the customized environment with the static obstacles in Gazebo simulator. The simulation results (fig. 8) shows that simulated camera successfully operates, and we can see receiving images from both cameras. After a generation of 3D point cloud 2D-occupancy grid map is generated. Safe path is planned, and robot follows it avoiding detected obstacles.

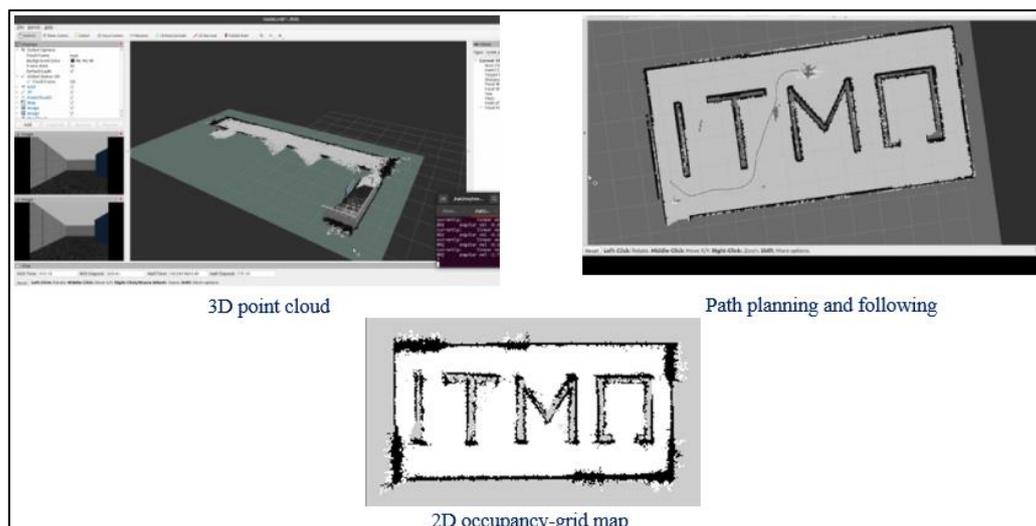


Fig. 8. Simulation results

The simulation results demonstrate the desired stereo vision-based system works appropriate. The designed system has its own advantages and disadvantages which are presented in the tabl. 3.

Table 3

Advantages and disadvantages of the proposed system

Advantages	Disadvantages
Low installation cost	Navigation problems with dynamic obstacles
Easy to install and modify	Problems in badly illuminated environment
No invasive installation	Bad on surface without visual features

The disadvantages can be overcome in the future work by providing sensor fusion and active stereo vision.

References

1. Durrant-Whyte H., Bailey T. Simultaneous localization and mapping: part I //IEEE robotics & automation magazine. 2006. Vol. 13. №. 2. pp. 99-110.
2. Mikhailov B.B., Nazarova A.V., Yuschenko A.S. Autonomous mobile robots-navigation and control //Izvestija JuFU. Tehnicheskie Nauki. 2016. pp. 48-67.
3. Marin-Plaza P. et al. Stereo vision-based local occupancy grid map for autonomous navigation in ros //11th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications VISIGRAPP. 2016. Vol. 2016.
4. Perrollaz M. et al. Using the disparity space to compute occupancy grids from stereo-vision //2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE/ 2010. pp. 2721-2726.
5. Liu X., Gong D. A comparative study of A-star algorithms for search and rescue in perfect maze //2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering. IEEE/ 2011. pp. 24-27.

Пономаренко Михаил Викторович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R42052с,

направление подготовки: 15.04.04 – Автоматизация технологических

процессов и производств,

e-mail: Ponomarenko.mx@gmail.com

Яблочников Евгений Иванович

Год рождения: 1957

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: e.yablochnikov@mail.ru

УДК 629.039.58+004.4+004.8

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНЫХ БОКСОВ
И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ ДОБАВЛЕНИЯ ИМ НОВОГО ФУНКЦИОНАЛА**

М.В. Пономаренко

Научный руководитель - к.т.н., доцент Яблочников Е.И.

Работа выполнена в рамках темы ВКР: «Проектирование ламинарных боксов с использованием технологий киберфизических систем».

Аннотация

В работе рассмотрено применение технологий киберфизических систем и системного инжиниринга при проектировании устройств типа ламинарный бокс с целью создания нового алгоритма, который позволит ускорить и удешевить процесс проектирования за счет уменьшения количества итераций и ошибок, а также разработано клиент-серверное программное обеспечение с использованием технологий машинного обучения для добавления ламинарному боксу нового функционала.

Ключевые слова

Ламинарный бокс, системный инжиниринг, CAE, CAD, SysML, проектирование, веб-приложение, машинное обучение, автоматизация процессов ламинарного бокса, обучение на GPU.

Современные высокотехнологичные отрасли промышленности предъявляют высокие требования к качеству воздуха при выполнении технологических операций. К таким отраслям промышленности относятся: медицинская, фармацевтическая, биологическая, химическая, точная механика и гидравлика, оптика, микроэлектроника. В зависимости от отрасли предъявляются дополнительные требования к рабочей зоне, в которой выполняются технологические операции.

Для выполнения указанных требований зачастую применяется комплекс таких решений, которые включают в себя оборудование класса ламинарных боксов, которые создают конечную чистую зону, где непосредственно выполняется технологическая операция. Тенденция на автоматизацию и роботизацию технологических процессов предполагает возможность использования современных роботов внутри ламинарных боксов. Также во время проведения анализа рынка подобных устройств была выявлена

потребность в модульности конструкции, отсутствию вибрации, а также возможности использовать технологии машинного обучения и обработки больших данных.

В работе были рассмотрены этапы жизненного цикла изделия, начиная от маркетингового исследования до технологической подготовки производства. На рис. 1 показан алгоритм, который описывает этот процесс [3].

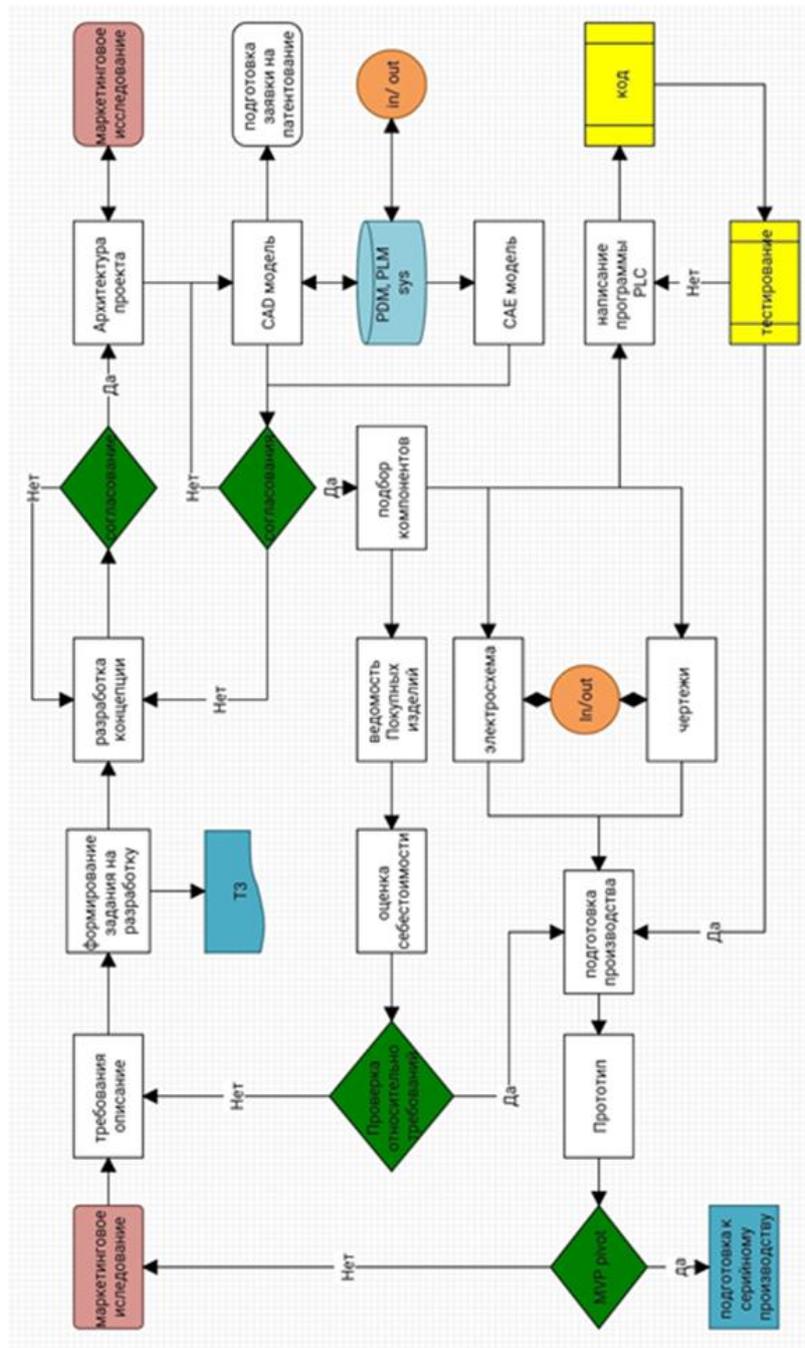


Рис. 1. Алгоритм проектирования ламинарного бокса

По результатам маркетингового исследования были сформированы требования и выполнена их формализация при помощи языка SysML. Были построены различные диаграммы, которые полностью описывают модель ламинарного бокса и взаимодействие его компонентов. Также для данных целей использовалась модель RAMI, но сложность построения такой модели не позволила оценить эффект от применения такой модели [2]. Сформированные требования были перенесены в

платформу Jira, где на основании конкретных значений и параметров формировалась отдельная карточка задачи, с которой можно было работать совместно. Также данные задачи позволили сформировать план-график в виде диаграммы Ганта.

На основании требований была разработана архитектура ламинарного бокса модульной конструкции и принципиальная блок-схема, которая описывает состав будущего изделия и взаимодействие всех компонентов.

Следующим этапом были выполнены расчеты и 3D моделирование. На основании требований, были рассчитаны значения производительности вентилятора и HEPA фильтра. Данные элементы оказывают ключевое значение на форму и конфигурацию ламинарного бокса. После выбора указанных комплектующих была создана мастер-модель (3D модель), на основе которой проводилась проверка выполнения ряда требований (геометрические размеры, удобство использования, возможность монтажа робота). Далее данная модель разделяется на отдельные модули, работа с которыми в дальнейшем ведется отдельно. Это позволяет проводить итерационные изменения не целой сборки, а отдельных частей, которые могут быть заменены на другой модуль. На рис. 2 показан алгоритм CAD проектирования [4].

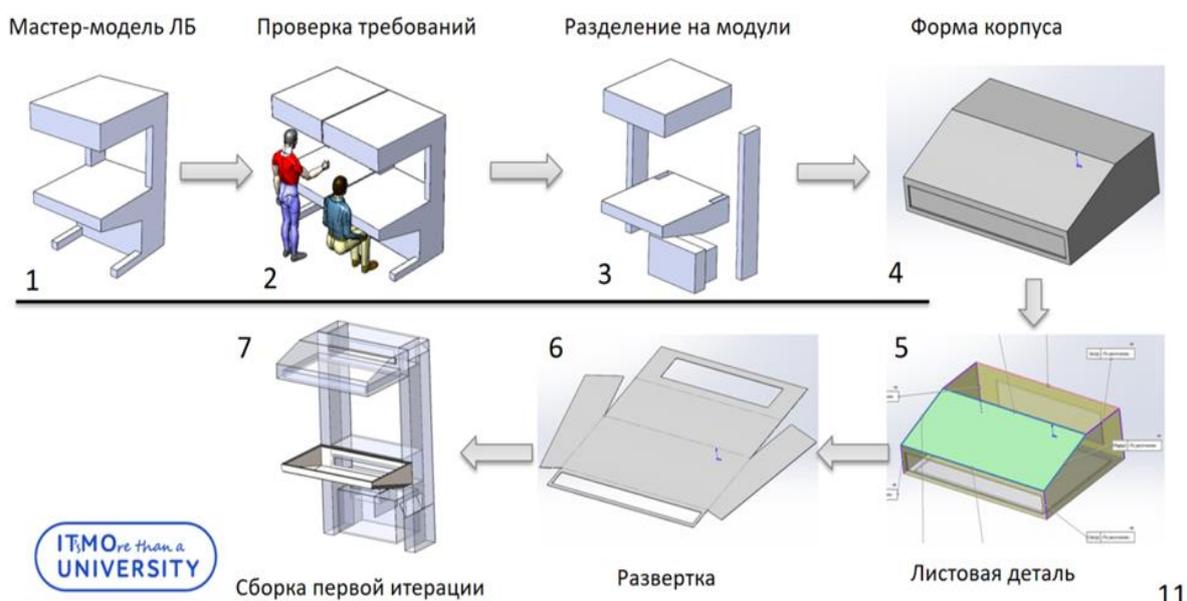


Рис. 2. Алгоритм CAD проектирования

После создания детали выполняются расчеты в CAE системе: сначала моделируем движение потоков газов, затем, после фиксации правильной геометрии, выполняем расчеты на прочность. Расчет на прочность помимо проверки прочности конструкции позволяет снизить металлоемкость. Для этого в процессе проектирования используется методика Design to Cost или разработка под заданную себестоимость. Таким образом мы заранее принимаем решение какое техническое решение имеет большую эффективность и вклад на конечную себестоимость нового продукта.

Далее переходим к подбору остальных компонентов, а именно, система управления, датчики и иные вспомогательные элементы. В качестве управляющей системы был выбран ПЛК Овен и написана программа на Codesys 3.5. Данная среда также позволяет провести моделирование работы управляющей программы [5].

Одной из опциональных возможностей ламинарного бокса является машинное обучение, а также возможность использовать коллаборативных роботов.

В ходе выполнения работы разработана регрессионная модель машинного обучения (МО), позволяющая прогнозировать оставшееся время до загрязнения фильтров ламинарного бокса, что упрощает процесс их своевременной замены. А также система машинного зрения, в основе которой используется модель классификации, для контроля технологического процесса внутри ламинарного бокса. Это система совместно с коллаборативным роботом позволяют автоматизировать процессы, например, процесс хроматографии при органическом синтезе новых соединений [1].

Разработанное программное обеспечение позволяет автоматизировать, такие сложные процессы, как контроль и прогнозирование, следовательно, это ведет к сокращению числа ошибок, издержек и упрощает возможность увеличения количества используемых ламинарных боксов ввиду отсутствия необходимости обучать персонал.

В конечном итоге, была проведена оценка зрелости технологии по методике TRL. На данный момент проект готов к переходу к этапу технологической подготовки производства первого прототипа. Участие в бизнес акселераторе ИТМО с данным устройством подтвердило интерес рынка и инвесторов к подобным технологиям. Также была подана заявка на патент на изобретение, по результатам которой был получен ответ об успешном прохождении формальной экспертизы.

Комплексное применение рассмотренных методик позволяет повысить качество разработки, а также снизить стоимость за счет выявления возможных проблем на этапе проектирования. Разработанный алгоритм возможно успешно применять при разработке других изделий подобного уровня сложности. Работа оставляет открытыми такие вопросы, как использование PLM-систем, моделирование технологической подготовки производства и программное обеспечение коботов.

Литература

1. Sisyukov A.N., Dobrynin V. and Yulmetova O.S. "Web Based GPU Acceleration in Embodied Agent Training Workflow," 2021 IEEE, pp. 686-689, doi: 10.1109/EIConRus51938.2021.9396663.
2. Левенчук А. Системно инженерное мышление // Левенчук А. / TechInvestLab. 2015. 306 с.
3. Абышев О.А. Инжиниринг индустриальных киберфизических систем: образовательный аспект // Абышев О.А., Яблочников Е.И., Мэкио Ю. / Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 9-й Международной научно-практической конференции / Под ред. Евграфова А.Н. и Поповича. А.А. СПб.: ПОЛИТЕХ_ПРЕСС. 2020.
4. Яблочников Е.И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении / Учебное пособие. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ). 2002. 92 с.
5. Зильбербург Л.И. Информационные технологии в проектировании и производстве / Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. // СПб.: Политехника. 2008. 304 с.

Попова Анна Викторовна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

магистрант группы № U4271,

направление подготовки: 27.04.05 – Инновационное предпринимательство. Фудтех,

e-mail: hanna.popova@gmail.com

Орлова Ольга Юрьевна

Год рождения: 1966

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.т.н., доцент,

e-mail: oousova@itmo.ru

УДК 613.2

**БИЗНЕС-ТЕЗИС «EATING HABIT»: СЕРВИС ПОДБОРА
И ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ
С ТЕХНОЛОГИЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

А.В. Попова

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.Ю. Орлова

Работа выполнена в рамках темы НИР №619404 «Обеспечение коммерциализации и капитализации проектов в области Life Science в ситуации цифровой трансформации инновационных социально-экономических систем».

Аннотация

Целью данного проекта является разработка стартапа персонализированного питания, способного формировать персонализированные рационы, прогнозировать пищевое поведение, отклонения от диеты, прогнозировать спрос на заказ продуктов согласно сформированному рациону, поддерживать принятие решений нутрициолога.

Ключевые слова

Персонализированное питание, машинное обучение, нутрициология, пищевое поведение.

Актуальность стартап-проекта «Создание сервиса подбора и отслеживания рационов питания на основе технологии машинного обучения» определяется возрастающим трендом на здоровый образ жизни и увеличивающимся рынком специалистов в области диетологии и нутрициологии. Профессии ИТ-диетолог и молекулярный диетолог являются профессиями будущего по данным «Атласа новых профессий 3.0 [1]. Инновационная актуальность обусловлена необходимостью совместить медицинские знания о здоровье человека, холистический подход к рассмотрению человеческого организма, технологию машинного обучения, способную анализировать большие данные, формировать персонализированный рацион, прогнозировать пищевое поведение и спрос на продукты у конкретного пользователя.

Многие нарушения питания оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека, увеличивая риск развития основных социально-значимых заболеваний. С неправильным питанием связывают не менее 50% случаев сердечно-сосудистых заболеваний, около 40% случаев рака лёгких, ободочной и прямой кишки, почек, предстательной железы, мочевого пузыря у мужчин и около 60% случаев рака

молочной железы, матки, почек, кишечника у женщин [2]. Любые нарушения питания являются серьезной угрозой для здоровья. Сегодня человечество сталкивается с двойным бременем нарушений питания, включающих как недоедание, так и избыточный вес, особенно в развивающихся странах. Такие заболевания называют неинфекционными (НИЗ).

Проблема, с которой сталкиваются люди, желающие изменить свой образ жизни, это изменение пищевого поведения. Это комплексная психологическая проблема, требующая вовлечения, как клиента, так и нутрициолога. Принято считать, что при работе с нутрициологом с дистанции сходят только клиенты. Но наши предварительные исследования показали, что и нутрициологи подсознательно, а порой сознательно, выбирают лишь высокомотивированных клиентов, остальным же назначают единоразовую консультацию или отправляют на образовательные марафоны по нутрициологии.

Сервис Eating Habit решает сложную психологическую проблему пищевого поведения. Сервис, используя технологию машинного обучения, основывается на управлении знаниями по медицине, психологии, нутрициологии и надлежащей клинической практике.

Сервис прогнозирует паттерны пищевого поведения, отклонения от диеты, паттерны эмоционального состояния и паттерны по влиянию онлайн контента, связанного с едой, на клиента.

Мы проанализировали целевых клиентов и нутрициологов, и на основе глубинных интервью определили их рациональные, эмоциональные выгоды, а также мотивацию для использования данного сервиса (таблица).

Таблица

Описание портрета целевой аудитории и нутрициологов

Целевые клиенты	Нутрициологи
<ul style="list-style-type: none">• современные продвинутые пациенты, стремящиеся как можно дольше оставаться здоровыми и активными и не желающие тратить деньги и время на лечение заболеваний,• прошедшие огонь и медные трубы в лечении своих заболеваний и не сумевших это сделать с помощью лекарств,• имеют непереносимость глютена, лактозы и пр. аллергенов,• не горят желанием сверять состав продуктов со списком рекомендаций,• пользовались или планируют воспользоваться услугами нутрициолога,• сдают регулярно анализы и хотя бы однажды сдавали или планируют сдать анализ на ДНК, микробиоты.	<ul style="list-style-type: none">• улучшают качество жизни своих клиентов,• сталкивались с проблемами питания сами,• нутрициология - вторая или третья профессия,• занимаются частной практикой,• консультируют онлайн и используют современные средства коммуникации• сдавали анализы ДНК и микробиоту самостоятельно.

Оборот глобального рынка персонализированного питания «по оценкам Axiom Market Research&Consulting, в 2018 году составил \$7.2 млрд. Компания прогнозирует, что мировой рынок персонализированного питания (включая все сервисы,

диагностические компании и связанные с ними функциональные продукты питания, витамины и БАД и т.д.) в период 2018-2025 будет расти на 7% ежегодно и к концу прогнозного периода достигнет \$11.5 млрд». А российский рынок к 2025 г. достигнет - \$7–8 млрд [3].

Одним из направлений персонализированной медицины и питания на сегодняшний день являются консультационные услуги нутрициологов и диетологов. По данным отчета «Исследование рынка коммерческой медицины в России» Ernst&Young «рост спроса на превентивную медицину и услуги в области ЗОЖ отметили 27% опрошенных данного исследования». В рамках этого же отчета «некоторые представители медицинских организаций обозначали планы по запуску направления диетологии / нутрицевтики в ответ на появляющийся запрос со стороны пациентов» [4].

ГК «ЭФКО» и проект «Едим лучше» провели исследование, результаты которого были опубликованы в издании «Известия» в феврале 2021 г. [5]. В опросе приняли участие 1885 респондентов в возрасте от 18 до 60 лет. Исследование проводилось с 1 по 15 февраля среди граждан со всей страны. Согласно результатам исследования порядка 43% россиян оказались готовы выделить дополнительные деньги на персонализированное питание, если это не будет сильно превышать их обычные расходы на еду.

В качестве решения на проблему отслеживания и прогнозирования пищевого поведения мы предлагаем создание мобильного сервиса – приложения, доступного для скачивания из AppleStore и GooglePlay. Мобильное приложение будет состоять из следующих блоков:

- позволяющий клиенту зарегистрироваться, внести свои данные, заполнить анкету, вкусовые предпочтения по питанию, данные по образу жизни, подгрузить анализы;
- формирующий персонализированный рацион на базе полученных данных о клиенте, включая анализы крови и ДНК микробиоты;
- прогнозирующий отклонения от диеты;
- задающий предиктивные вопросы по поведению клиента;
- отслеживающий паттерны и прогнозирующий пищевое поведение;
- отслеживающий паттерны и прогнозирующий эмоциональное состояние;
- отслеживающий паттерны и прогнозирующий влияние соц. сетей на клиента (реклама и аккаунты, связанные с едой);
- прогнозирующий изменения здоровья по подгруженным анализам;
- позволяющий нутрициологам принимать решения на основе анализа данных;
- позволяющий нутрициологам вести картотеку клиентов и организовывать свой график;
- позволяющий интегрировать рацион питания с продуктовыми сетями;
- прогнозирующий заказ продуктов;
- предоставляющий возможность клиенту и нутрициологу общаться посредством текстовых, аудио и видео сообщений;
- позволяющий оплачивать все услуги внутри приложения.

Для того, чтобы создать сервис, который будут выбирать клиенты, основатель сервиса Eating Habit лично прошла весь путь, сдав назначенные нутрициологом анализы, заполнив предложенные специалистом анкеты (рис. 1), и получив персонализированный рацион питания (рис. 2).

Данные для персонализации рациона - более 40 опросников

EATING HABIT

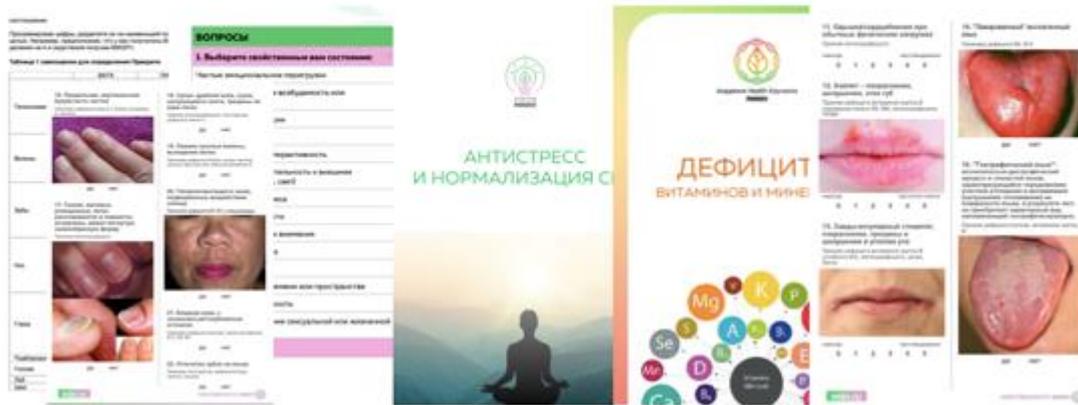


Рис. 1. Примеры анкет нутрициолога

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ РАЦИОН ПИТАНИЯ Клиент - Анна Попова

1. Клиент ежедневно употребляет 3 стакана воды (около 600-700 мл). Больше в течение дня воды не пьет. Воду пьет не холодную, а комнатной температуры. Также в течение дня Клиент выпивает 2 чашки кофе или 1 чашку чая. Кофе и чай выпивает воду из термоса, также у Клиента сразу вода, ледяная, прохладная, онакает, обострение колит кишечника. Клиенту воды в сутки не достаточно. Недостаток воды в организме замедляет обменные процессы, снижает обеспечение клеток кислородом, может спровоцировать спазмы кишечника, ухудшает общее физическое состояние, нарушает концентрацию внимания, может повлиять на работоспособность, головные боли, нарушения пищеварения.
2. Рекомендую постепенно увеличивать употребление воды в течение дня небольшими глотками (до 2-х литров в день). Если будет отечность, то сократить количество потребляемой воды до 1,5 литров в день. Так как у Клиента тип Питт-Купала, то рекомендуется пить воду не холодную и не горячую. Вода должна быть обязательно фильтрованной, так как хлор мешает усвоению Вода Горный источник воды (минеральная вода 40С) с содержанием 25 мг/л. Рекомендуется выпить после пробуждения, чтобы kick-стартовать и запустить обменные процессы. Полному рекомендуется во время стрессовых ситуаций минимизировать потребление чая и кофе. Заменить на травяной чай (например, мята-чай, анисовый, лимонная вода).
3. Для профилактики Питт-кофе и чай дополнительно присоединяет к употреблению продукты гликемии (зеленая кукуруза или индейка с заваренной крупкой). Недостаточное разнообразие как жидкостей, так и растительных белков. В рационе питания отсутствует рыба и морепродукты. Также у Клиента имеются следующие симптомы, указывающие на дефицит белка: рвотки и рвухи на теле, нарушение работы щитовидной железы (гипотироз), отекли по телу, недостаток энергии в течение дня.
4. Рекомендую:
 - Лечебное жидкого и растительного белка в сутки (в пропорции 50/50) 0,8 г на 1 кг массы тела.
 - Исключить продукты гликемии - употребить запеченную курочку или индейку без зажаренной кожи.
 - Выбирать оптимальные способы приготовления мяса, рыбы, птицы, овощей - тушение с небольшим добавлением масла ГМ/Л/кислотного масла или приготавливание пищи на пару.
 - Органическое мясо курицы, индейки, утки, свинина, баранина.
 - Добавлять в рацион питания рыбу и морепродукты (морепродукт, анж, шенгай, морская капуста, гребешки, треска, тунец, кальмары, крабы, устрицы), морские водоросли, растительные белки, яйца.
 - Разнообразить растительный белок, включив в рацион питания тофу, киноа, нут, рис (бразильский, семя подсолнечника и тыквы, рисовый, шпинат).
 - Больше период приготавливать замочить на ночь в теплой воде с добавлением сока лимона/лайма или яблочного уксуса для уменьшения содержания фитиновой кислоты и лучшего усвоения белка.
 - В целях улучшения усвоения белка использовать ферменты (панкреатин) - сок лимона 0,5 ч.л. + сок лайма 0,5 ч.л. + щепотка лимонной соли. После приема самой необходимо сделать 2-3 глотка лимонной воды и сразу выпить проки пища.
 - Нормализовать кислотность желудка с помощью ферментных препаратов:
 - Растворить 1 ч.л. натурального лимонного уксуса или 2-3 ст.л. лимонного сока в стакане теплой воды. Выпить за полчаса до приема пищи.
 - Использовать для нормализации кислотности сока лимона/лайма/яблочного уксуса. Лимонный сок. Помогает нормализовать уровень кислотности.
 - Соединить лимонный сок с небольшим количеством масла и добавить парварить белок. Заправлять зеленые салаты.
 - Соединить лимонный сок с небольшим количеством масла. После приема пищи можно съесть дольки лимона.
 - Использовать в качестве гарнира отварную брокколи и цветную капусту (варить 3 минуты и слить использованную воду). Овощи употребить их рекомендуется в небольшом количестве (не более 200 грамм).
 - Включить в рацион авокадо или замороженные ягоды - чернику, клубнику, бруснику.
 - Через час после еды можно выпить чайную ложку лимонного сока или негустого кофе высокого качества со специями (кардамон, кориандр, базилик).
 - Регулярно включать в рацион ферментную капусту и желчь.
 - Соединить уксус (пропорция) - это поможет восстановить микрофлору и нормализовать работу желудка.
 - Использовать натуральную лимонную или яблочную соль, необходимую для образования в организме солевой кислоты.
 - Регулярно использовать отвар из шиповника.
 - Улучшению кислотности желудка способствуют прохладные мясные омакс. Принимать по 1 ч.л. за 15 мин до еды.

Рис. 2. Выдержка из персонализированного рациона питания Анны Поповой

Для персонализации рациона нутрициологи используют более 40 анкет и более 90 медицинских показателей анализов. Анализы нутрициолог подбирает, исходя из жалоб и состояния клиента. Среди показателей для персонализации нутрициологи выделяют 6 групп:

1. Основные – общий анализ крови, общий анализ мочи, биохимия – ферменты, липидный обмен, белковый обмен, углеводный обмен, копрограмма, гормоны, биохимия-кортизол, гормоны щитовидной железы, маркеры воспаления, железодефицитная анемия, витамины Д, А, Е, К, группы В.

2. Микробиота – анализы микробиоты по ХМС по Осипову для определения состояния микробиома кишечника. Анализы микробиоты с помощью технологии компании Shumnia. Иммунохелс для определения запрещенных, разрешенных продуктов и продуктов, подлежащие исключению до погашения общего иммунного ответа.

3. Ключевые дефициты – витамин Д, Омега-3, витамин С, магний, железо.

4. Макронутриенты – содержание в рационе питания белков растительных и животных, жиров, сложных и простых углеводов, клетчатки, биофлавоноидов, воды, наличие в рационе питания трансжиров, продуктов с гликацией, чай, кофе, напитки, алкоголь, продуктов с глютенем и лактозой.

5. Эссенциальные микроэлементы – йод, марганец, молибден, хром, кобальт, медь, железо, цинк, селен, магний, кальций, калий, кремний.

6. Дополнительные - наличие тяжёлых металлов: мышьяк, свинец, ртуть, алюминий, кадмий, литий, наличие эссенциальных микроэлементов смотрят по анализу волосы/ногти, кровь или моча.

Работа сервиса Eating Habit предполагает два пользовательских сценария:

- в случае, когда клиент уже был у нутрициолога и/или уже знает, какие ингредиенты и блюда ему можно или нужно употреблять, а что стоит исключить, он может самостоятельно сформировать рацион, фильтруя необходимые ингредиенты и другие показатели, и заказывать продукты через сервис;

- в случае, когда клиент не был у нутрициолога и не знает, какой рацион ему потребуется. При этом клиент подписывается на приём и сопровождение у нутрициолога, загружает свои анализы, заполняет анкеты, на основании чего получает необходимый персонализированный рацион. После чего он может формировать заказ продуктов через систему.

Стратегия защиты интеллектуальной собственности предполагает регистрацию патента на автоматизированный метод и систему получения персонализированных диетических и оздоровительных рекомендаций для отдельных пользователей, а также регистрацию патента на дизайн; защиту авторских прав; защиту пользовательских прав и соглашение по неразглашению и обмену медицинскими и личными данными; корпоративный документооборот; положение о выплате авторского вознаграждения; приказ и служебное задание; акт об использовании прав; договор о выплате авторского вознаграждения; дополнительное соглашение о распределении интеллектуальных прав к трудовому договору с работником. Альтернативным вариантом, в случае отсутствия возможности зарегистрировать патент, является создание ноу-хау и оформление корпоративного соглашения о неразглашении коммерческой тайны.

Для выстраивания стратегии позиционирования (рис. 3) мы проанализировали рынок и конкурентов, и остановились на сервисах, предлагающих:

- сдачу анализов на микробиоту и ДНК;
- персонализированное питание с системой отслеживания пищевого поведения;
- персонализированное питание, интегрированное с продуктовым ритейлом;
- инструменты для нутрициологов.

Сервис Eating Habit совмещает в себе все эти четыре направления, при этом является единственным, чьим конкурентным преимуществом является система отслеживания пищевого поведения.

Позиционирование



Рис. 3. Позиционирование сервиса Eating Habit

Бизнес-модель сервиса строится на следующих потоках доходов: подписке для тех, кто готов самостоятельно формировать персонализированные рационы и заказывать продукты из приложения согласно программе питания; подписке для тех, кому требуется помощь нутрициолога в подборе и отслеживании питания; подписке для тех, кто планирует ежегодно сдавать анализы (биохимические и микробиоту); получении комиссии за счет оформления заказов продуктов в онлайн магазинах, а также в сервисах для сдачи биохимических анализов крови и анализов на микробиоту кишечника (рис. 4).

Бизнес-модель



Рис. 4. Бизнес-модель сервиса Eating Habit

В заключении необходимо отметить, что помимо вышеописанных аспектов, выпускная работа также включает главы по конкурентному анализу технологий,

финансовому моделированию, определению компетенций команды, расчета рисков, дорожной карты и стратегии выхода стартапа.

Литература

1. Атлас новых профессий 3.0. под ред. Варламовой Д., Судакова Д.М.: Интеллектуальная Литература. 2020 г.
2. Проблемы современного питания // Министерство здравоохранения Беларуси. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by/en/dlya-belorusskikh-grazhdan/profilaktika-zabolevaniy/zdorovoe-pitanie/problemy-sovremennogo-pitaniya.php> (дата обращения 01.06.2021).
3. Аналитический отчет: Исследование российского и мирового рынка FoodTech: ключевые тренды, ограничения и перспективы, J'son&Partners Consulting, 2019 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/issledovanie-rossiyskogo-i-mirovogo-rynka-foodtech-klyuchevye-trendy-ogranicheniya-i-perspektivy-20200527010059(дата обращения 01.06.2021).
4. Исследование рынка коммерческой медицины в России, Ernst&Young, 2020 г // [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/news/2020/03/ey_healthcare_research_2018-2019_24032020.pdf (дата обращения 01.06.2021).
5. Более 40% россиян оказались готовы выделить деньги на персонализированное питание // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iz.ru/1129821/2021-02-26/bolee-40-rossiian-okazalis-gotovy-vydelit-dengi-na-personalizirovannoe-pitanie> (дата обращения 01.06.2021).

Поцулин Антон Дмитриевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U42291с,

направление подготовки: 27.03.02 – Управление качеством,

e-mail: anton.potsulin@yandex.ru

Сергеева Ирина Григорьевна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

д.э.н., профессор,

e-mail: igsergeeva@gmail.com

УДК: 65.012.123

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОСТАВЩИКОВ
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ**

А.Д. Поцулин

Научный руководитель – д.э.н., профессор И.Г. Сергеева

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

Аннотация

В работе представлена методика, позволяющая отбирать поставщиков в соответствии с критериями, выбранными автором для их оценки. Разработанная методика включает в себя построение, обучение и использование модели машинного обучения, способной оценить поставщика, как привлекательного или непривлекательного для сотрудничества. За счёт применения предложенной методики оценка поставщика формируется на основе анализа результатов его деятельности, что позволяет минимизировать влияние субъективных факторов на выбор поставщика.

Ключевые слова

Оценка поставщиков, методика оценки поставщиков, критерии оценки, машинное обучение, метод случайного леса, управление качеством продукции.

Управление закупками является одной из составных частей производственной цепи, где поставщик выступает основным звеном, непосредственно влияющим на качество и безопасность готового продукта. Решение о выборе поставщика играет ключевую роль в снижении затрат, поддержании стандартов качества и повышении производительности компании.

Поскольку на каждом из товарных рынков осуществляют свою деятельность большое количество поставщиков, производящих подобную продукцию, возникает сложность в нахождении лучшего способа их оценки и отбора.

Организациям необходимо выстроить процесс коммуникации с поставщиками. Данный процесс включает оценку способности поставщика удовлетворять ожиданиям и требованиям к качеству и безопасности продукции [1]. Например, при внедрении и поддержании систем менеджмента качества и безопасности пищевой продукции на предприятии, в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и

ГОСТ Р ИСО 22000-2019, обязательными условиями являются проведение оценки поставщиков и мониторинг результатов их деятельности.

Для проведения оценки поставщиков наиболее часто используют метод рейтинговых оценок, как наиболее простой и удобный в воспроизведении. Данный метод применяют в тех случаях, когда необходим быстрый расчёт показателей. С другой стороны, при использовании метода рейтинговых оценок есть вероятность получения необъективных данных. Это происходит из-за недостаточной квалификации экспертов в необходимой области, либо из-за неверной формулировки вопросов [2].

Итогом оценки становится перечень поставщиков, с которыми ведется дальнейшая работа по заключению договорных отношений. Окончательный выбор поставщика осуществляется лицом, принимающим решения, например, специалистом отдела закупок.

В связи с вышеизложенным актуальной становится исследовательская задача, направленная на поиск моделей оценки, снижающих влияние субъективных факторов на выбор поставщика.

В качестве технологии, помогающей организациям в процессе выбора поставщиков, выступает искусственный интеллект, где машины, обученные лицами, принимающими решения, или историческими данными, могут предоставлять прогнозы и рекомендации по выбору поставщиков. Одним из процессов искусственного интеллекта, который может существенно повысить качество закупочной деятельности, является машинное обучение.

Использование методов машинного обучения в управлении закупками стало объектом исследования ряда ученых. В частности, Абдулла А., Барьяннис Д. и Баги И. описали и применили модель машинного обучения для наиболее подходящего поставщика. Набор данных для машинного обучения взят из практики деятельности двух нефтегазовых компаний Ливии: Srgi Oil и Lifeco [3]. Харикришнакумар Р., Дэнд А., Наннапанени С. и Кришнан К. опубликовали алгоритмы классификации, которые применяются для задачи оценки поставщиков, где модель обучается на основе предыдущих исторических данных, а затем тестируется на новом наборе [4]. Перечисленными выше авторами были разработаны модели, способные проводить оценку поставщиков и ранжировать их с учетом качественных характеристик.

Целью исследования является доказательство возможности и целесообразности применения методов машинного обучения в процессе оценки и выбора поставщиков. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: определение состава критериев, формирование обучающей выборки, разработка и обучение модели оценки поставщиков, оценка точности и преимуществ предлагаемой модели.

Практическая значимость работы обусловлена возможностью применения предложенной методики при проведении предприятиями оценки поставщиков продукции.

Для решения задачи классификации поставщиков в работе использован метод случайного леса. Основанием для его выбора стали преимущества метода, а именно высокая точность, устойчивость к выбросам, способность обрабатывать данные с большим числом признаков и классов.

Случайный лес хорошо себя зарекомендовал в рамках решения задач оценки поставщиков как надежный, обладающий высокой гибкостью и низкой субъективностью.

Дерево принятия решений является основным структурным элементом случайного леса. Дерево принятия решений наглядно показывает, что почти каждый выбор поставщика связан с некоторой неопределенностью, а также с риском, присущим этому

решению. В рамках решения задачи выбора поставщика предлагается использование бинарного дерева.

Исследование проведено на основе набора данных, источниками которых является информация, полученная в ходе анализа годового отчёта отдела закупок мясоперерабатывающего предприятия и сервиса доставки продуктовых наборов, а также открытая информация, опубликованная на сайте Россельхознадзора. В качестве критериев выбраны следующие показатели: качество и стоимость продукции, срок доставки, надежность поставок, наличие у поставщика документированных систем менеджмента качества и безопасности пищевой продукции, реакция поставщика на рекламации, репутация и ценовая политика поставщика, транспортные расходы, наличие и правильность оформления товарно-сопроводительной документации, соответствие маркировки, ассортимент продукции.

Критерии разделены на два блока: стратегически важные критерии для организации-покупателя и требования к качественным характеристикам поставщика и продукции. Заведомо предполагается, что поставщик вначале будет оценен в соответствии с критериями первого блока. Следующим шагом является оценка поставщиков по критериям второго блока.

Для всех критериев оценки поставщиков введены порядковые шкалы. Следует отметить, что на практике для получения более точной конечной оценки лучше использовать фактические значения по критериям, связанным с материальными затратами, к таким критериям относятся: стоимость продукции, наличие скидок (с указанием размер скидки), транспортные расходы.

Основные этапы исследования [5]:

1. Поиск источников с целью нахождения данных для формирования обучающей выборки. В качестве атрибутов принята информация, полученная в ходе анализа годового отчета отдела закупок мясоперерабатывающего предприятия и листа оценки поставщиков сервиса доставки продуктовых наборов. Также использовалась открытая информация, опубликованная на сайте Россельхознадзора, цены, представленные в каталогах производителей продукции, отзывы потребителей и ответы на них. Проанализированы сайты поставщиков с целью выявления срока доставки продукции.

2. Перечисленные выше данные были соединены в единую таблицу с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel.

3. Формирование обучающей выборки из полученного на предыдущем этапе набора. В качестве выборки из таблицы извлечены данные по 250 предполагаемым поставщикам. На основе оценок по критериям каждому поставщику присвоен статус: 1 – привлекательный для сотрудничества, 0 – непривлекательный.

4. Преобразование таблицы Excel в CSV файл и выгрузка данных в Microsoft Azure Machine Learning Studio.

5. Разделение выборки случайным образом на тренировочную и тестовую части в отношении 80/20. Тестовая выборка использовалась для проверки точности классификации.

6. Выбор алгоритма машинного обучения. В качестве алгоритма выбран случайный лес (Random Forest).

7. Настройка гиперпараметров модели с помощью модуля Tune Model Hyperparameters. Цель этапа заключается в определении оптимальных параметров для модели машинного обучения. Модуль создает и тестирует несколько моделей, используя различные сочетания параметров. Модуль сравнивает метрики по всем моделям пока не найдет «наилучшую» модель. В качестве основного параметра, по которому осуществлен поиск «наилучшей» модели, была выбрана метрика AUC (англ. “area under the curve”). Параметр AUC представляет собой площадь под кривой ошибок и с его помощью можно количественно оценить точность модели машинного обучения.

8. Обучение модели и получение результатов прогнозирования на тестовой выборке;

9. Оценка точности модели.

После обучения модели она будет способна с той или иной степенью точности классифицировать поставщика по ранее выделенным критериям, как привлекательного или нет.

Таким образом, была сформирована база данных для проведения обучения модели классификации поставщиков на удовлетворяющих условиям сотрудничества и не удовлетворяющих.

Результаты прогнозирования с помощью каждой из выбранных моделей представлены на рис. 1. Столбец “Cooperation_decision” представляет собой фактические значения отклика, “Scored Labels” – предсказанные значения. В столбце “Scored Probabilities” указаны вероятности отнесения поставщика к положительному классу.

Delivery_time_rate	Supplier_reliability_rate	QMS_rate	FSMS_rate	Claim_reaction_rate	Pricing_policy_rate	Transport_costs_rate	TSD_rate	Marking_packaging_rate	Assortment_rate	Cooperation_decision	Scored Labels	Scored Probabilities
0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	0	0	0.090024
1	1	2	2	2	0	1	1	2	1	1	0	0.203614
1	2	1	1	1	0	1	2	2	1	1	1	0.713008
0	2	1	1	2	0	0	1	1	2	0	0	0.016993
0	2	2	2	1	0	1	2	2	0	0	0	0.036667
0	2	2	2	2	0	1	2	2	1	0	0	0.005882
0	2	1	2	2	1	1	2	2	1	0	0	0.055882
0	2	2	2	1	1	1	2	2	0	1	0	0.036667
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0.005882
1	1	1	1	1	1	0	1	2	2	1	1	0.736073
1	1	2	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0.281905
1	1	1	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0.260131
1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0.778767
1	2	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0.005882
1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	0.769948
1	1	2	2	2	1	0	1	1	1	1	1	0.676374
1	2	2	2	1	0	0	2	2	1	0	0	0.27917
0	2	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0.081135
0	1	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0.011111
0	2	2	2	2	1	1	2	2	0	0	0	0.049216
0	2	0	0	2	0	1	2	2	2	1	0	0.062549
1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	0.916389
1	2	2	2	1	0	1	1	1	2	1	1	0.736056

Рис. 1. Фрагмент результатов прогнозирования

Модель машинного обучения принимает решение по отнесению того или иного элемента к классу по рассчитанным вероятностям и этот параметр настраивается.

На рис. 2 представлено дерево принятия решений по выбору поставщика. На основе полученного дерева можно проанализировать логику данной модели и сделать вывод о том, что с помощью модели были выявлены критерии, оказывающие наибольшее влияние на принятие решения о выборе поставщика: «качество продукции», «срок доставки» и «стоимость продукции», – что соответствует условиям, по которым формировались отклики в обучающей выборке. Возможность анализа логики отнесения элементов к классам является преимуществом дерева принятия решений, так как можно быстро перенастроить модель под необходимые условия, по которым предприятие выбирает поставщиков.

На рис. 3 представлены показатели точности обученной модели: ROC-кривая (кривая ошибок), которая показывает зависимость доли истинно положительных объектов от доли ложноположительных объектов. Для количественной оценки точности модели используется показатель, который рассчитывается, как площадь под кривой ошибок и показывает производительность метода.

На практике, в зависимости от значения AUC, эффективность модели интерпретируется следующим образом: $AUC \leq 0,5$ – модель не работает; $0,5 < AUC < 0,6$

– модель работает удовлетворительно; $0,6 \leq AUC < 0,8$ – модель работает хорошо; $0,8 \leq AUC \leq 1$ – модель работает превосходно.

Когда $AUC = 0$, такой классификатор всегда распознает положительный пример как отрицательный, т. е. вероятность ошибки составляет 100%.

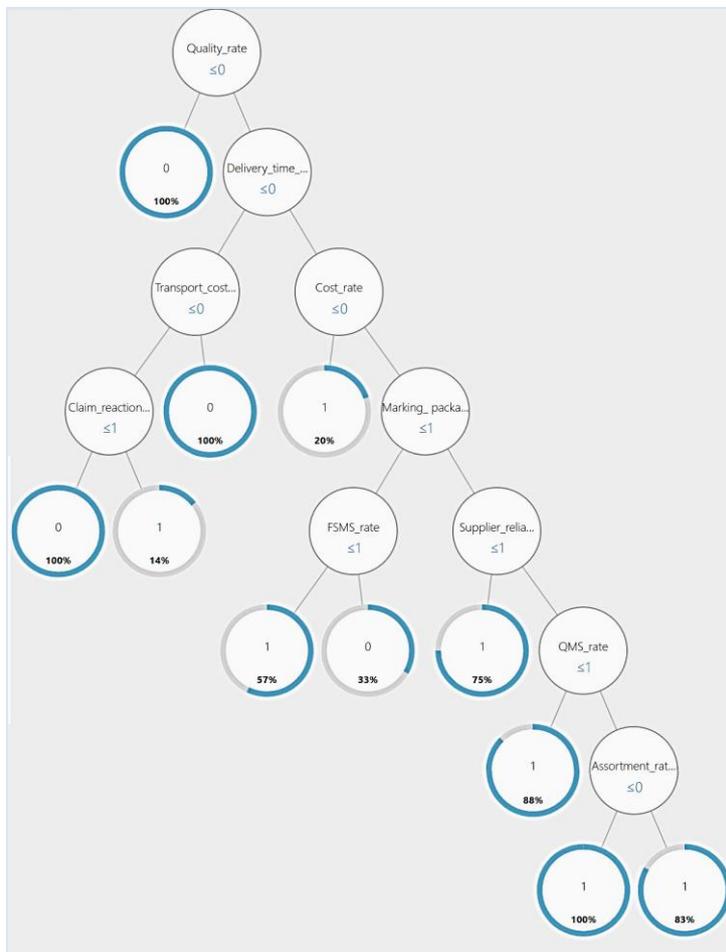
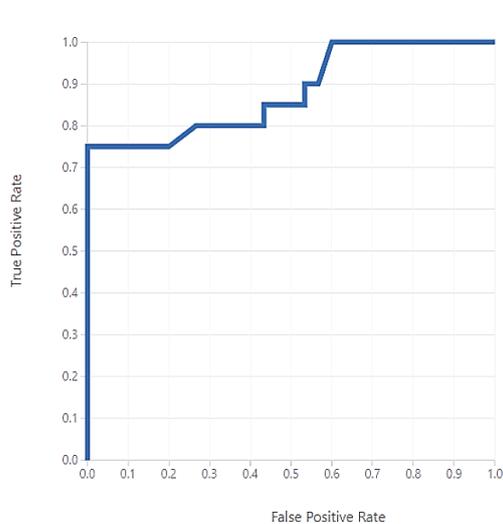


Рис. 2. Дерево принятия решений



Reference	Prediction	
	Positive	Negative
Positive	15	5
Negative	0	30

AUC 0,882

Precision	Recall
1	0,750

F1 Score	Accuracy
0,857	0,900

Positive Label – 1 Negative Label – 0

■ Scored dataset

Рис. 3. Показатели точности обученной модели

Как видно из рис. 3, метрика AUC обученной модели составила 0,882, следовательно, модель работает превосходно и можно сделать вывод, что модель обеспечивает высокую точность вычислений и пригодна для использования.

Таким образом, разработана методика оценки качества поставщиков. Её основные характеристики заключаются в следующем:

1. Цель методики – обеспечить возможность выбора качественного поставщика.
2. Этапы методики:
 - определение состава критериев;
 - формирование обучающей выборки на основе оценок по критериям;
 - разработка и обучение модели оценки поставщиков. Рекомендующим методом, лежащим в основе построения модели, является случайный лес. Если используется метод случайного леса, то необходимо определить ключевую метрику для выбора модели;
 - перенос модели машинного обучения в программный продукт с созданием удобного интерфейса по желанию заказчика.
3. Средства реализации методики: набор данных по поставщикам; программное обеспечение.
4. Ограничения на использование модели. Главное условие – наличие данных о поставщике, т. е. предлагаемая методика подойдёт средним и крупным предприятиям, имеющим историю работы с поставщиками.
5. Возможности. С помощью методики можно прогнозировать будущие результаты взаимодействия с поставщиком, а также сохранять историю работы с поставщиками, что позволит использовать положительный опыт.
6. Преимущества: снижение влияния человеческого фактора; модель обладает высокой чувствительностью: прослеживается зависимость итогового отклика (1 – удовлетворяет условиям сотрудничества, 0 – не удовлетворяет условиям сотрудничества) по наиболее значимым для организации критериям; модель хорошо работает даже при наличии пропусков в данных; единая форма для сбора сведений о поставщике и интерпретация данных; возможность модификации состава критериев и перенастройка модели под необходимые условия.

За счёт использования предложенной модели оценка поставщиков формируется исходя из анализа результатов их деятельности, благодаря чему минимизируется влияние субъективных факторов на выбор поставщиков. Получение результата, основанного на фактах, будет являться итогом конечной оценки поставщика.

Использование полученных результатов упростит процесс выбора поставщиков, будет содействовать развитию конкуренции на товарных рынках Российской Федерации, позволит предприятиям сократить управленческие расходы и сэкономить время на осуществление поиска, оценки и выбора добросовестных поставщиков.

Литература

1. Федосеева У.С., Полякова Л.И. Методология оценки поставщиков в системе менеджмента безопасности пищевой продукции // Техника и технология пищевых производств. 2015. № 2. С. 125-131.
2. Сергеева И.Г., Поцулин А.Д. Совершенствование системы выбора и оценки поставщиков товаров // Modern Economy Success. 2019. № 6. С. 194-198.
3. Abdulla A. Baryannis G., Badi I. Weighting the key features affecting supplier selection using machine learning techniques // Proceedings of the 7th International conference on Transport and Logistics. 2019. DOI: 10.20944/preprints201912.0154.v1.
4. Harikrishnakumar R., Dand S. Nannapaneni S., Krishnan K. Supervised Machine Learning Approach for Effective Supplier Classification // 18th IEEE International Conference On Machine Learning and Applications (ICMLA). 2020. DOI: 10.1109/ICMLA.2019.00045.

5. Поцулин А.Д., Сергеева И.Г., Руденко В.Д. Использование методов машинного обучения для оценки поставщиков продукции // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2020. Т. 13. № 6. С. 79-90.

Радченко Владислав Дмитриевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R42201,

направление подготовки: 24.04.01 – Ракетные комплексы и космонавтика,

e-mail: maksic1996@gmail.com

Федоров Алексей Владимирович

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н., доцент,

e-mail: afedor62@yandex.ru

УДК 371.693.2

**РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО
ТРЕНАЖЕРА АГРЕГАТА СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА**

В.Д. Радченко

Научный руководитель – д.т.н., доцент А.В. Федоров

Аннотация

В работе рассмотрено применение технологии виртуальной реальности в учебно-тренировочных средствах, позволяющий ускорить процесс обучения и получения навыков техническими специалистами по эксплуатации, управлению и обслуживанию, и минимизировать человеческий фактор. Предложен экспериментальный метод оценки усвоения учебного материала в учебно-техническом средстве обучаемым.

Ключевые слова

Виртуальная реальность, образование, технические специалисты, обслуживание, ремонт, дистанционное обучение, тренажеры, нейроинтерфейсы.

Современные учебно-тренировочные средства (УТС) применяются в обучении и получении навыков специалистами по эксплуатации, управлению и обслуживанию авиационной, морской, военной и космической техники. В них имитируется работа системы управления с помощью специальных моделей, реализованных в программном обеспечении (ПО) вычислительного комплекса УТС. Применение УТС в обучении – это отечественный и зарубежный опыт решения проблемы минимизации негативного влияния ошибочных действий высококвалифицированного специалиста. Недостатком современных УТС является отсутствие комплексного решения, в котором возможно реализовать модель обучения эксплуатации, управлению и обслуживанию техники, дороговизна решения, в том числе и в содержании тренажера, сложность в его эксплуатации и необновляемость.

Главный тренд совершенствования УТС для устранения перечисленных недостатков является применение технологии виртуальной реальности. Преимуществом такого решения: дешевизна, простота в эксплуатации, доступность, применяемость в дистанционном обучении, к тому же на одном тренажере может быть реализовано одновременно несколько различных программных обеспечений.

Основной фокус данной работы направлен на повышение результативности обучения технического персонала навыкам за счет применения инструментов виртуальной реальности.

В качестве примера ВИ УТС разработано программное обеспечение (ПО) симуляции агрегата обслуживания сложной технической системы с применением технологии виртуальной реальности.

Применение виртуальной реальности в УТС определяет класс тренажера как динамическое УТС [1] для которого характерно существование математической модели процессов. Архитектура построения таких УТС на рис.1.

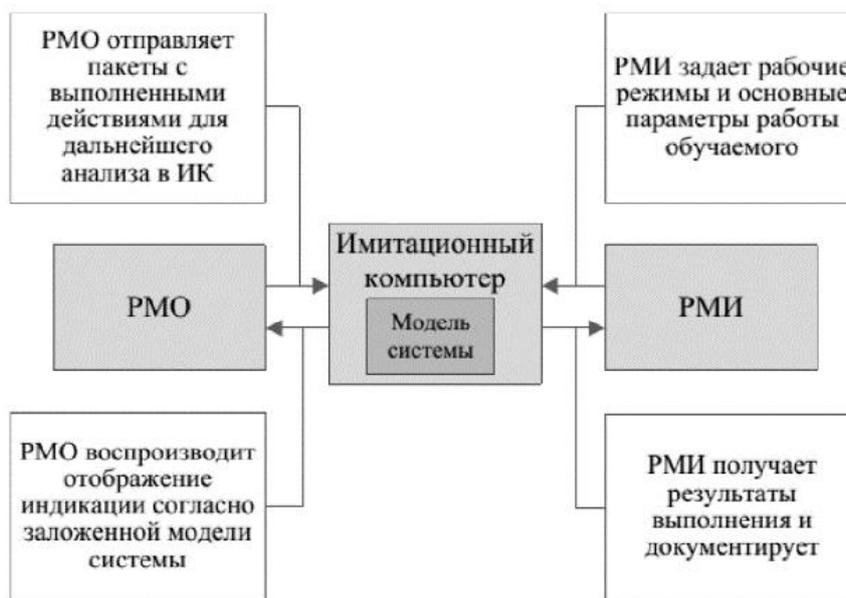


Рис. 1. Архитектура построения динамического УТС

Рабочее место обучаемого (РМО) позволяет пользователю свободно передвигаться в пространстве с шлемом виртуальной реальности, манипулировать органами управления способом, приближенным или идентичным используемому в реальном процессе. Динамический отклик тренажера должен быть приближен к отклику систем и компонентов реального объекта – это достигается вибро-откликом контроллеров.

Рабочее место инструктора (РМИ) позволяет отслеживать происходящее в шлеме виртуальной реальности на мониторе имитационного компьютера, выбирать сценарий тренировки и начальное состояние имитируемого процесса, вводя свои моделируемого процесса или его компонентов либо изменяя внешние факторы. Часть функций инструктора может автоматически выполняться и сам имитационный компьютер.

Состав программных модулей, разработанного УТС на основе виртуальных интерактивных (ВИ) средств включает в себя, ПК с ПО ВИ УТС на OS Windows 10, шлем виртуальной реальности (VR), контроллеры, и позиционные сенсоры или устройства трекинга.

В обучении специалистов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) в качестве учебного материала, имитация технологического процесса эксплуатации изделия на авиационном, морском или космическом предприятии.

Технологический процесс эксплуатируемого изделия можно разделить на два основных этапа:

1. Применение изделия по назначению, определенного в технической документации к изделию, либо системе;
2. Регламенты, которые предписаны, при техническом обслуживании и ремонте изделия.

Следовательно, в качестве информации об изделии, эксплуатации которого обучается пользователь в ВИ УТС, будет:

1. Получение информации о составе изделия и его назначения, а также принципе работы, если того требуется в технической документации к изделию;

2. Регламенты технического обслуживания в том числе, информация об источнике и причине возникновения отказа, способы устранения причины неисправности.

Структурная схема организации информационного потока разрабатываемого средства технической подготовки специалистов, показана на рис. 2.

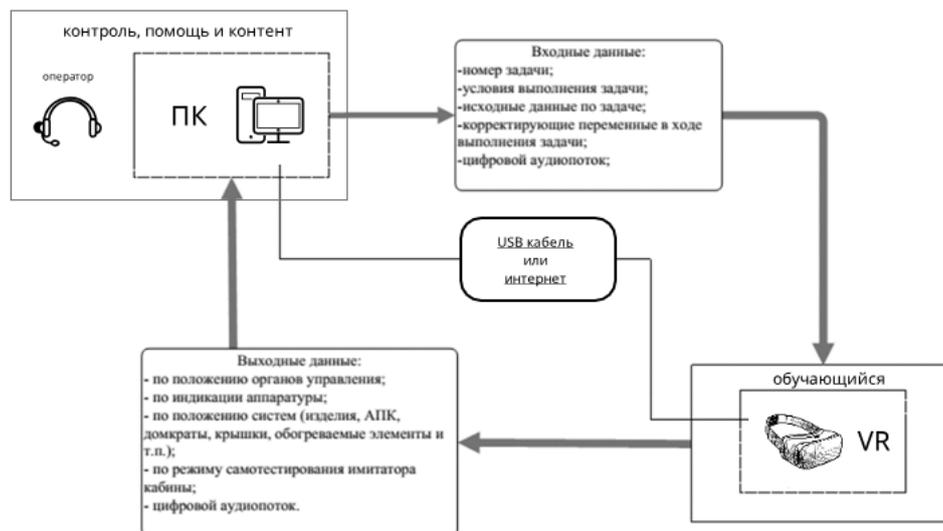


Рис. 2. Схема организации информационных потоков

Ключевым исследовательским вопросом в разработке ПО для обучения специалистов ТО и Р в виртуальной реальности: каким образом оценить усвоение учебного материала, полученный профессиональный опыт, и как сравнить полученные результаты с традиционным методом обучения. Для этого необходимо использовать параметры усвоения учебного материала в процессе обучения и метрики для их сравнения.

В задачах машинного обучения [2] для оценки качества «обученных» моделей и сравнения различных алгоритмов используются различные метрики, а их выбор и анализ — зависит от типа задачи. Перед тем, как определиться с метриками оценивания усвоения учебного материала, необходимо определить измеряемые параметры, которые можно измерить в процессе обучения с использованием, как традиционного метода, так и виртуального метода. Предлагается измерять следующие параметры:

1. True Positive (TP), True Negative (TN) - истинное утверждение и отрицание соответственно.

2. False Negative (FN) - если факт отрицается, а на самом деле есть — ошибка 2-го рода.

3. False Positive (FP) - факт утверждается, на самом деле ничего не произошло — ошибка 1-го рода.

4. Время одной полной сессии — это время прохождения одной сессии пользователем от начала сессии до ее завершения (выполнения всех действий) без прерывания сессии.

На основе использования данных параметров предлагается рассчитывать следующие метрики:

1. Доля правильных ответов — количество правильных ответов на общее количество ответов (1):

$$\text{Доля правильных ответов} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP}; \quad (1)$$

2. Точность – доля объектов/действий, названных обучающимися положительными (верными ответами) и при этом действительно являющимися положительными (2):

$$\text{Точность} = \frac{TP}{TP + FP}; \quad (2)$$

3. Полнота – долю объектов/действий, положительного класса (относящихся к верным ответам) из всех объектов/действий положительного класса нашел обучающийся (3):

$$\text{Полнота} = \frac{TP}{TP + FN}; \quad (3)$$

4. F1 оценка – сочетание «полноты» и «точности» (4), дает некоторый компромисс между ними двумя, оценка F1 достигает своего наилучшего значения в приближении 1 и худшее в 0:

$$\text{F1 оценка} = 2 * \frac{\text{Полнота} * \text{Точность}}{\text{Полнота} + \text{Точность}}; \quad (4)$$

5. Среднее время сессии – усредненное время полного прохождения тренировочной сессии, обучающимся (5):

$$\bar{t}_{\text{среднее время сессии}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{время сессии } i}}{n_{\text{количество сессий}}}. \quad (5)$$

Обучаемый, при выборе правильного ответа ведет себя как классический классификатор, предсказывающий тип данных из заданного множества вариантов, например, да/нет/не уверен.

Выведен порог допустимых значений измеряемых параметров и рассчитываемых метрик, при ориентире на то, что количество ошибок специалиста в учебной сессии, обучаемого обслуживанию техники, должно быть сведено в минимум. Не допускается больше 5% ошибок во время одной учебной сессии. Допустимый предел метрик «Доля правильных ответов» и «F1 оценка» по которым можно считать, что обучающийся завершил освоение материала успешно ~ 95-100%. Возможный предел этих значений «Доля правильных ответов» и «F1 оценка» ~ 0 -100%.

Время сессии зависит от количества и сложности действий, а также времени ожидания, при этом нижний предел не может быть ≤ 0 и не ≥ 2 учебных часов без перерыва.

В работе разработана симуляция агрегата обслуживания сложной технической системы [3] в виртуальной реальности. В качестве среды разработки применяется игровой движок Unity, а в качестве комплекта виртуальной реальности для разработки и тестирования – шлем Oculus Rift S и комплект прилагаемых контроллеров. Минимальные требования для ПК определены начинкой шлема, под который разрабатывается ПО.

Модель агрегата обслуживания, компоненты окружения, текстуры разработаны в ПО для создания трех- мерной компьютерной графики, экспортированы в игровой

движок. Модели прошли этап верификации. Верификация импортированной модели в Unity проведена по специализированным тестам, которые разработаны для агрегата обслуживания на производстве, чтобы обучать специалистов. На рис. 3 представлена небольшая часть созданного набора игровых объектов для взаимодействия.

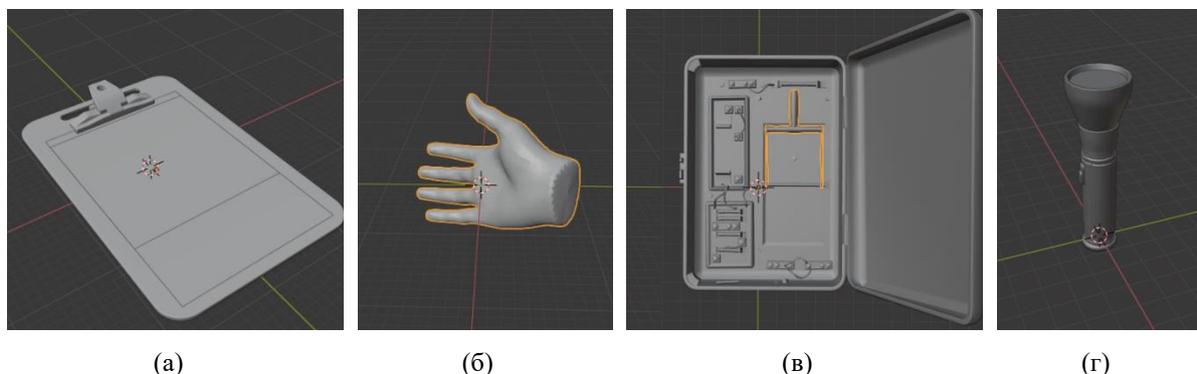


Рис. 3. Игровые объекты в ВИ УТС, планшет (а), левая рука пользователя (б), автомат управления (в), фонарик (г)

Разработан набор шейдеров и материалов на базе рейдера Universal Render Pipeline для улучшения графики. Имеются свыше 20 шейдеров: анимационные, геометрические и пиксельные. И свыше 300 материалов металлы, стекло, дерево, пластик, материалы игровых объектов итд. Цель применения шейдера, создать фотореалистичный материал объекта, при минимальной нагрузке вычислительного устройства. Применение шейдеров в ПО ВИ УТС необходимый шаг для оптимизации ПО, т.к. современные комплекты VR имеют ограничения по производительности

Настроено освещение и тени для того, чтобы графическое изображение не раздражало глаза пользователя, окружение было видимым, различимым и понятным пользователю.

Базовый рендеринг изображения заменен на продвинутый Universal Render Pipeline – это улучшение игровой среды для увеличения эффекта погружения в виртуальный мир, а также необходимый компонент для отрисовки шейдеров.

Реализованы следующие функциональности в ПО:

- a. синхронизация перемещения пользователя в виртуальной среде с перемещением в материальном мире,
- b. синхронизация перемещения в пространстве контроллеров и виртуальных рук «цифрового аватара» в программной среде,
- c. добавлен транспортный луч для перемещения в виртуальной среде, в случае ограниченного пространства игрового помещения у пользователя,
- d. запрограммирована функциональность имитации касания поверхностей окружения контроллерами, в том числе и сферических поверхностей,
- e. ограничено перемещение пользователя за пределы игровой среды,
- f. добавлен набор возможностей для взаимодействия с объектами в виртуальной среде на подобии с материальным миром: касание, поднятие, перетаскивание, толкание объектов и взаимодействие с лестницами,
- g. добавлена возможность сбора и разбора агрегатов и компонентов для создания игровых задач, обучения технического персонала в виртуальной среде,
- h. добавлена физика к игровой среде, в том числе соударение объектов, вес и влияние формы объекта на перемещение его в пространстве,
- i. добавлена возможность функционирования предметов игровой среды, как имитация работы шуруповерта, энкодера, активация фонарика и лазерной указки, поворот рубильника, и т.д.

В итоге разработанного функционала достаточно для создания сценариев обучения и тренировки навыков, в качестве подтверждения создан тестовая сцена, где необходимо запустить освещение на платформе. На рис. 4 представлено визуализация некоторых реализованных возможностей в разработанном ВИ УТС.

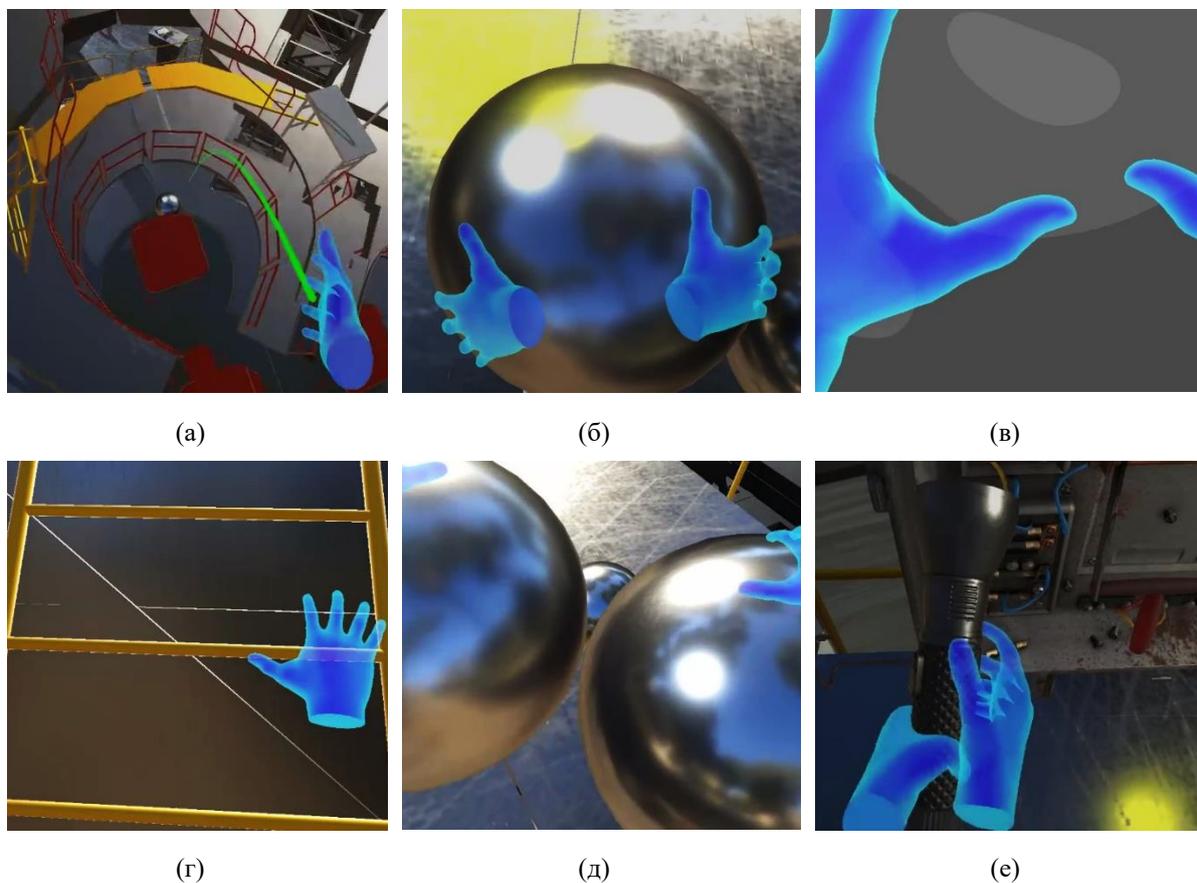


Рис. 4. Визуализация реализованного функционала: транспортный луч (а), касание поверхностей (б), ограничение игрового пространства (в), взаимодействие с лестницами (г), ударение объектов друг об друга (д), активация объектов окружения (е)

Таким образом, результатом выполнения работы стали новый метод оценивания усвоения учебного материала в ВИ УТС для обучаемых, подход к разработке ВИ УТС для обучения технического персонала с применением технологии VR и работоспособное ПО ВИ УТС с использованием предложенного подхода. Работоспособность изложенного подхода подтверждается демонстрированием функционала в тестовой игровой сессии разработанного ПО ВИ УТС.

К недостаткам разработанного подхода обучения технического персонала относится недостаточное развитие технологии виртуальной реальности, чтобы полностью симитировать производственно- технологический процесс, отсутствие ощущения прикосновения к виртуальным поверхностям, и необходимость в специальном оборудовании. Предложенный подход является этапом перед закреплением профессиональных навыков и умений на производственно- технологическом предприятии для сокращения временных издержек на обучение технического персонала.

К достоинствам предложенного подхода относится универсальность в создании игровых сценариев и задач обучения, дешевизна и доступность в сравнении с традиционными ВИ УТС, возможность отработки чрезвычайных ситуаций или не стандартных сценариев обучения, контроль обучаемого без присутствия контролирующего, воспроизводимость результатов обучения и возможность

использования ВИ УТС удаленно от производственно- технологического предприятия.

Предполагаются проверить гипотезы применимости метрик для оценки усвоения учебного материала на симуляции агрегата обслуживания сложной технической системы в виртуальной реальности.

Литература

1. Кашин В.М., Белов В.В., Власов Н.Н., Водиченков Д.А. / Принципы построения учебно-тренировочных средств и опыт создания тренажера оперативно-тактического ракетного комплекса // ISSN 1995-4565. Вестник РГРТУ. 2016. № 57 – 94-104 с.
2. Powers David M.W. "Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation" (PDF). Journal of Machine Learning Technologies. 2: pp. 37–63. December 2007.
3. Руководство по эксплуатации. Кабина обслуживания 373У034 в 3-х частях.

Роголев Алексей Иванович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет энергетики и экотехнологий,
студент группы №W42511,

направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность,

e-mail: rogolev.alexei@yandex.ru

Банарь Светлана Александровна

Год рождения: 1963

Университет ИТМО,
факультет энергетики и экотехнологий,

к.геогр.н., доцент,

e-mail: banar@mail.ru

УДК 004:502/630.96

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ДЛЯ РЕШЕНИЯ
АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
(НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

А.И. Роголев, С.А. Банарь

Научный руководитель – к.геогр.н., доцент С.А. Банарь

Аннотация

Проблема оперативности предоставления данных является актуальной в каждой сфере промышленности. Но особо важное значение данное направление имеет в сферах, связанных с сохранением и существованием биогеоценозов. В данной работе рассмотрены способы модернизации системы ведения лесного хозяйства на территории Псковской области с применением цифровых методов. В работе рассмотрены основные модели усовершенствования системы, путем использования модели распространения пожара, а также создание моделей о возможности проведения рубки и типов лесовозобновления.

Ключевые слова

Геоинформационные системы, лесной пожар, лесное хозяйство, камера видеомониторинга, модель улучшения.

Проблема по обнаружению и локализации лесных пожаров, на территории Российской Федерации является актуальной в сфере лесного хозяйства. Лесные пожары ежегодно уничтожают десятки миллионов гектар лесных насаждений, тем самым истребляя не только древесину, но и все вокруг себя. Немаловажным в сфере лесного хозяйства является эффективное и оперативное предоставление данных о возгораниях. Ведь именно скорость и достоверность предоставления информации является основой эффективного ведения лесного хозяйства. Но из-за большой площади лесных земель на территории Российской Федерации, достоверность и оперативность предоставления информации является важной проблемой лесного хозяйства. Для более эффективного ведения лесного хозяйства должна использоваться современная система мониторинга и предоставления информации [1]. Проблема улучшения лесного хозяйства является актуальной, в существующей экологической обстановке, в лесном хозяйстве уже имеются работы, предлагающие цифровизацию лесохозяйственных данных, но из-за больших площадей земель лесного фонда готовых проектов по реконструкции системы для каждого субъекта Российской Федерации еще не существует.

Целью данной работы является анализ существующих методов представления информации о лесных пожарах, а также представление и визуализация данных о ведении лесного хозяйства, на примере Псковской области.

Существующие системы предоставления информации о возникновении лесных пожаров, а также о ведении лесного хозяйства находятся в ненадлежащем состоянии. Первопричиной этих систем является слабое развитие системы цифровизации лесохозяйственных данных. Имеется большое количество инструментов мониторинга лесохозяйственной информации: визуальный мониторинг; аппаратно-инструментальный мониторинг; авиационный мониторинг; космический мониторинг. Каждый из представленных методов мониторинга имеет как преимущества, так и недостатки. Но основным недостатком этих систем является применение одного или же двух систем предоставления данных в определенной системе мониторинга и предоставления лесохозяйственных данных. С конца 90-х, начала 2000-х годов в нашей стране стали разрабатываться инструменты на основе картирования местности и проведении анализа возникающих чрезвычайных ситуаций, которые могут служить информационным ядром для работы любой системы мониторинга лесохозяйственной информации [2].

Объектом для модернизации системы ведения лесного хозяйства, с использованием ГИС технологий служит Псковская область. Выбор территориального субъекта обусловлен тем, что область является пограничной с различными европейскими государствами, и возникновение каких-либо чрезвычайных ситуаций может причинить ущерб странам соседям. Другой немаловажной причиной выбора именно этого территориального субъекта является то, что на территории области имеется довольно развитая система мониторинга лесных пожаров, использование информации которой можно объединить с системой ведения лесного хозяйства и тем самым минимизировать затраты на улучшение существующей системы мониторинга.

Существующая система мониторинга лесных пожаров на территории Псковской области «Лесохранитель», была внедрена в 2011 году. За период работы системы на территории области было установлено 93 видеокamеры. Представленная система является одной из самых распространенных на территории РФ [3].

Первоочередным действием по улучшению системы мониторинга лесохозяйственных данных на территории области является увеличение зоны покрытия камерами видеонаблюдения. Так как имеющиеся камеры видеонаблюдения установлены на имеющиеся вышки сотовой связи, которых на территории области недостаточно, то мы предлагаем установку камер видеонаблюдения на высоковольтные ЛЭП. Из-за недостаточной высоты ЛЭП мы предусмотрели установку большего количества камер, но меньшего ценового диапазона, а также возможно произвести установку камер с дополнительным тепловизором большого радиуса обзора, например Пергам РТМ-300М. Питание камер видеонаблюдения рассчитано на использование солнечных панелей, с установкой дополнительного запасящего аккумулятора и инвертора. Расчеты по использованию солнечных панелей произведены исходя из средней годовой солнечной активности Псковской области и использовано оборудование с запасом по мощности и емкости [4].

Для решения вопроса по распределению недостающих камер видеонаблюдения по территории области мы использовали ГИС, а именно программу QGIS. С помощью данных программных компонентов, нам удалось выявить недостающее количество видеокamер, чтобы добиться охвата территории области в 95-97%. Работа по выбору мест установки дополнительных камер была проведена с помощью метода привязки растров имеющихся камер видеонаблюдения и высоковольтных ЛЭП. С дальнейшим их наложением. Далее с помощью метода буферных зон мы произвели доустановку

дополнительных камер видеонаблюдения. В итоге мы получили, что нам необходима доустановка 18 камер с тепловизором или же 22 процессорных камер видеонаблюдения.

После проведения дооборудования территории области дополнительными видеокамерами, мы предлагаем провести улучшение программной основы системы мониторинга. Существующая система мониторинга Лесохранитель использует в своем арсенале лишь аппаратно-инструментальный метод, то есть видеокамеры, а также космический мониторинг. Для более эффективной работы системы мы предлагаем создание совокупной системы мониторинга, которая включает в себя визуальный, аппаратно-инструментальных, авиационный и космический методы мониторинга. То есть данная система представляет собой симбиоз всех систем мониторинга. Представленные методы мониторинга мы предлагаем объединить в одну общую сеть с использованием ГИС, а именно программы QGIS, но также возможно использование других программных компонентов. Главным преимуществом QGIS, является то, что она полностью бесплатна, и имеет возможность кастомизации под определенные условия. Возможные направления мониторинга модернизированной системы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Направления мониторинга с использованием комбинированной системы

Вид системы мониторинга	Направления мониторинга
Модернизированная система мониторинга лесных пожаров	<ul style="list-style-type: none">– использование материалов ежедневного зондирования Земли– использование камер видеонаблюдения AXIS с интеллектуальными возможностями по автоматическому или полуавтоматическому детектированию возгораний и определению географических координат– использование систем глобального позиционирования (Глонасс и GPS), для того чтобы отслеживать передвижение групп мобильного патрулирования– использование данных гидрометеоцентра, о сводках погоды за ближайшее время, а также информации о возникновении грозных разрядов– и все это объединяет использование геоинформационных технологий для представления, а также обработки полученных картографических данных и публикация ее в сети Internet

На основе существующей системы мониторинга Лесохранитель мы предлагаем создание системы по ведению лесного хозяйства на территории Псковской области. Так как программный комплекс у нас уже имеется, нам необходимо дополнить его функциями, которые будут полезны для ведения лесного хозяйства. Первоочередной проблемой, которую необходимо решить является перевод лесохозяйственной информации в цифровой формат. Данная проблема является решаемой, так как уже существует распоряжение президента по цифровизации лесохозяйственной информации. Следующим направлением, в котором мы провели работу, является визуализация предоставляемых данных о ведении лесного хозяйства, с использованием программы QGIS. Основной задачей внедрения ГИС в систему мониторинга лесных пожаров является создание модели распространения пожара в режиме реального времени. Для этого мы провели полную оцифровку нескольких кварталов определенного лесничества, с выбором разновозрастного древостоя.

Далее с помощью таблицы классов пожарной опасности Мелихова мы произвели разделение выделов по классам пожарной опасности, в зависимости от условий

местопроизрастания и возраста насаждений. Используя полевой метод распространения пожара, мы внедрили в него дополнительный коэффициент, который влияет на скорость распространения пожара, а именно коэффициент захламленности. В итоге мы создали стандартную модель распространения лесного пожара за 180 минут. С помощью полученной модели можно в более оперативные сроки приступить к ликвидации возгорания, и в итоге пресечь возгорание на стадии низового пожара.

Использование ГИС для ведения лесного хозяйства на территории Псковской области мы предлагаем в первую очередь в качестве компонента по отведению лесных насаждений в рубку. Оцифровав полностью лесные насаждения в квартале, мы задали формульное выражение, с помощью которого на карте отображаются выдела, возможные для отведения в рубки.

Следующим немаловажным вопросом является создание упрощенного алгоритма по отведению насаждений под выборочную рубку. Мы предлагаем следующий алгоритм: лесничий, подходя к дереву, которое нуждается в выборочной рубке, ставит на нем засечку, а также в своем планшете ставит точку своей геолокации, далее информация с точечным слоем передается обработчику, который создает модель будущей выборочной рубки, и передает ее арендатору лесного участка.

И заключительным компонентом системы, с которым мы предлагаем провести работу – это создание модели по лесовосстановлению насаждений. Так как большая часть лесных насаждений в РФ идет на энергетические нужды, то рациональнее производить смешанное лесовозобновление хвойными и лиственными породами. В итоге мы получаем с единицы площади больший объем древесины, который возможно использовать как для энергетических целей, так и для строительства.

Эффективность работы полученной системы представлена в табл. 2.

Таблица 2

Преимущества модернизированной системы мониторинга

Для мониторинга лесных пожаров	Для ведения лесного хозяйства
<ul style="list-style-type: none">– введение в систему анализа и обработки данных ГИС технологий, что позволит производить моделирование лесных пожаров в режиме реального времени– использование ГИС позволит более точно направлять бригады на место тушения лесного пожара– исключить человеческий фактор в выборе места, куда необходимо отправить бригаду для тушения пожара	<ul style="list-style-type: none">– система предполагает перевод данных о ведении лесного хозяйства в цифровой формат, что упрощает дальнейший анализ данных– цифровизация повысит эффективность передачи данных от участкового лесничего к дальнейшим ступеням, что увеличивает скорость обмена данными– визуализация данных об учете древостоя позволит наглядно проанализировать карту и дать заключения о назначении хозяйственных мероприятий– визуализация данных о рубках, позволит сократить количество ступеней для передачи насаждения в рубку. То есть лесозаготовителю можно просто дать координаты места, где можно проводить лесозаготовку. Визуальные данные, представленные в программе QGIS, помогают легче ориентироваться в насаждениях, которые необходимо подвергать рубке– визуализация данных для лесовосстановления поможет смоделировать возможность роста насаждений с течением времени, а также возможно предложить различные варианты по проведению лесовосстановления, с подтверждением результатов в виде наглядных 3D моделей

Для оценки практической эффективности работы модернизированной системы мы провели сравнение причиненных ущербов от лесных пожаров, с использованием системы моделирования лесного пожара и без. Система с использованием ГИС и компонентов по моделированию лесного пожара, позволяет нам обеспечить полный контроль возгорания за 180 минут. По статистике возникающих пожаров, обеспечение контроля источника лесного пожара без использования системы моделирования достигается за 300-350 минут. Как вы можете видеть на рисунке, мы создали модель распространения пожара, в том же насаждении за 300 минут и посчитали, причиненные ущербы. В итоге мы получили, что площадь пожара за 300 минут превышает площадь за 120 минут на 43,5 га. А разница причиненных материальных ущерба при среднем запасе насаждений в 180 м³/га составляет 287 тысяч р. Также мы посчитали, запас кислорода, который могли бы производить насаждение за разницу обнаружения пожара в 120 минут. Мы получили, что за сутки насаждение могло бы производить 8265 кг кислорода, и поглощать 8700 кг углекислого газа [5].

В результате проделанной работы были получены следующие выводы:

1. Проведение мониторинга лесных пожаров с использованием одной системы мониторинга является нерациональным, так как общая результативность предоставляемых данных мала.

2. Основная часть материалов, передаваемых в центры обработки информации – это бумажные материалы полевых измерений, которые являются малоэффективными при текущем уровне общей цифровизации.

3. Основополагающим звеном эффективности работы системы является полный контроль территории путем равномерного распределения камер видеонаблюдения по территории области.

4. Одним из вариантов усовершенствования системы мониторинга лесных пожаров на территории Псковской области является использование комбинированной системы наблюдения, которая включает в себя симбиоз возможных систем обнаружения лесных пожаров. В работе предлагается объединить полученную систему с помощью геоинформационных систем.

5. Изменение системы предоставления информации о ведении лесного хозяйства на территории Псковской области является глобальным. С помощью программных компонентов геоинформационной системы QGIS, можно произвести оцифровку и дальнейшую обработку предоставляемых материалов. В работе мы провели дополнение предоставляемых электронных отчетных документов наглядными картографическими материалами.

6. Оценка эффективности системы предоставления и визуализации лесохозяйственных данных на территории Псковской области показала, что путем объединения систем мониторинга и внедрения ГИС в существующую систему контроля можно добиться не только снижения в несколько раз материальных ущербов, причиняемых лесному хозяйству, но также сохранить большее число компонентов биогеоценоза.

Литература

1. Некрасова Н.М. Работа системы мониторинга в пожароопасный период с применением специализированного программного комплекса на базе геоинформационных технологий [Электронный ресурс] // Некрасова Н.М. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Круглый стол. 17 сентября 2015 г. Доклады и выступления. – М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2015. С. 263-268.

2. Григорец Е.А. Сравнительный анализ видов и методов мониторинга лесных пожаров на территории России [Текст]// Григорец, Е. А. Молодой ученый. 2015. №8. С. 379-381.
3. Лесохранитель – как единая платформа для выполнения различных задач [Электронный ресурс]// Крупнейшая в мире по количеству точек мониторинга с автоматическим определением лесных пожаров. Режим доступа: <https://lesohranitel.ru/files/present.pdf> (Дата обращения 25.05.2020)
4. Расчет стоимости окупаемости солнечных батарей [Электронный ресурс] // Энергия и элементы питания 2020 – Режим доступа: <https://enpartner.ru/novosti/okupaemost-solnechnykh-batarej-raschet-i-sroki-rentabelnosti-tselesoobraznost-ustanovki> (дата обращения 11.02.2021)
5. Концепция развития систем обнаружения и тушения лесных пожаров [Электронный ресурс] // Необходимые мероприятия по повышению эффективности систем пожаротушения. 2019. Режим доступа: <https://pandia.ru/text/77/452/15515-5.php> (дата обращения 06.03.2021)

Родькин Яков Эдуардович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W42053,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная

техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: rod-yakov.grp@mail.ru

Зайцев Андрей Викторович

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

доц., к.т.н., доцент (квалификационная категория "ординарный доцент"),

e-mail: avzaitsev@itmo.ru

УДК 629.015

**ПРИМЕНЕНИЕ СПГ В ДВУХТОПЛИВНЫХ
СУДОВЫХ УСТАНОВКАХ**

Я.Э. Родькин

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Зайцев

Работа выполнена в рамках темы НИР №620149 «Усовершенствование ожижителя природного газа».

Аннотация

В данной работе приведено обоснование приоритетности использования сжиженного природного газа в качестве моторного топлива на двухтопливных установках морских судов. Определены основные параметры бункеровочных операций, получена зависимость роста давления при бездренажном хранении криожидкости в емкости, а также проведен сравнительный анализ вакуумной и полиуретановой изоляции в криогенных условиях. В CFD-модуле выполнено моделирование процесса слошинга.

Ключевые слова

СПГ, хранилище СПГ, морские суда, бункеровка, захолаживание, CFD-модуль, слошинг.

В настоящее время градиент развития нефтегазовой отрасли направлен по касательной к экологической составляющей, имеющей огромное влияние на сохранение животного и растительного мира, поэтому при выборе топлива будущего следует опираться на его экономические и экологические параметры. Данная работа имеет важное стратегическое значение для дальнейшего развития энергетической сферы нашей страны. Использование природного газа вместо дизельного топлива на морских судах является важным способом снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [1].

Природный газ в настоящее время является самым чистым из всех видов ископаемого топлива и все чаще выбирается в качестве источника энергии. Природный газ при горении выделяет меньшее количество оксида азота (NOx) и твердых частиц (ТЧ), чем обычное дизельное топливо (рис. 1) [2]. СПГ нетоксичен, не вызывает коррозии и, благодаря своей экстремально низкой температуре, не горюч. Однако после испарения в газообразное состояние он становится легко воспламеняющимся.

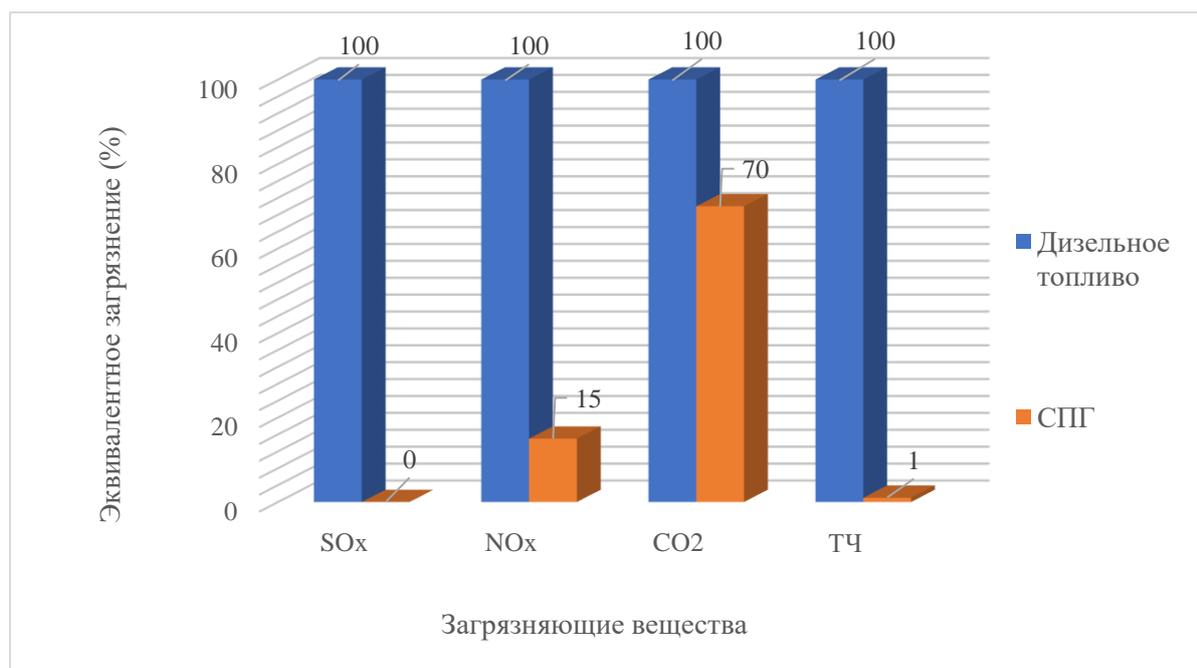


Рис. 1. Эквивалентные выбросы загрязняющих веществ для СПГ и мазута

Метановый двухтопливный двигатель – это относительно новая технология, которая использует для своей работы как метан, так и дизельное топливо. В основном, устройства представляют собой модифицированные обычные двигатели с воспламенением от сжатия, которые используют метан (90–95%) в качестве основного топлива и дизельное топливо (5-10%) в качестве вторичного (запального) топлива [1]. Эти двигатели имеют хороший тепловой КПД при более высоких значениях нагрузки, хотя их производительность относительно более низкая в условиях частичной нагрузки. Наиболее значительным преимуществом использования этой технологии является существенное сокращение выбросов в ответ на стремительные темпы роста глобального потепления. Свободное переключение используемого вида топлива позволяет оптимально эксплуатировать суда в зависимости от экологической и экономической зоны, опираясь при выборе топлива на локальные требования к выбросам, на амплитудные значения цен и возможность дозаправки. Двухтопливные системы также способствуют безопасной и безотказной работе двигателя. При прекращении поступления природного газа происходит автоматический переход на дизельное топливо без остановки работы при сохранении мощностных и скоростных параметров.

Перед загрузкой СПГ в резервуары на морских судах требуется провести двухэтапное захолаживание: предварительное охлаждение стальной конструкции до температуры 143 К, а затем постепенное снижение температуры до 111 К с параллельным наполнением резервуара.

Предварительное охлаждение помогает избежать дополнительных низкотемпературных напряжений в корпусных конструкциях танка. Данный процесс осуществляется путем подачи части СПГ на специальные системы охлаждения и дальнейшего его распыления внутри емкости. Капли СПГ в контакте с более теплыми элементами конструкции испаряются, тем самым забирая энергию у стенок танка [3].

В работе рассматриваются резервуары объемом 200 м³ и 1000 м³ с вакуумно-перлитной (ВПИ) и пенополиуретановой изоляцией (ППУ).

Исходные данные для расчета

Объем резервуара	V=200 м ³		V=1000 м ³	
Температура окружающей среды, T _{о.с.} , К	293			
Температура захлаживания, T _{зах.} , К	143			
Радиус танка, R, м	4		6	
Длина танка, l, м	6,65		12,85	
Материал стенок танка	10X14Г14Н4Т			
Толщина стенки танка, δ _{ст.} , мм	30		40	
Толщина изоляции танка, δ _{из.} , мм (ВПИ)	250	300	250	300
Толщина изоляции танка, δ _{из.} , мм (ППУ)	300	350	300	350

На рис. 2 представлена диаграмма потерь на предварительное захлаживание резервуара.

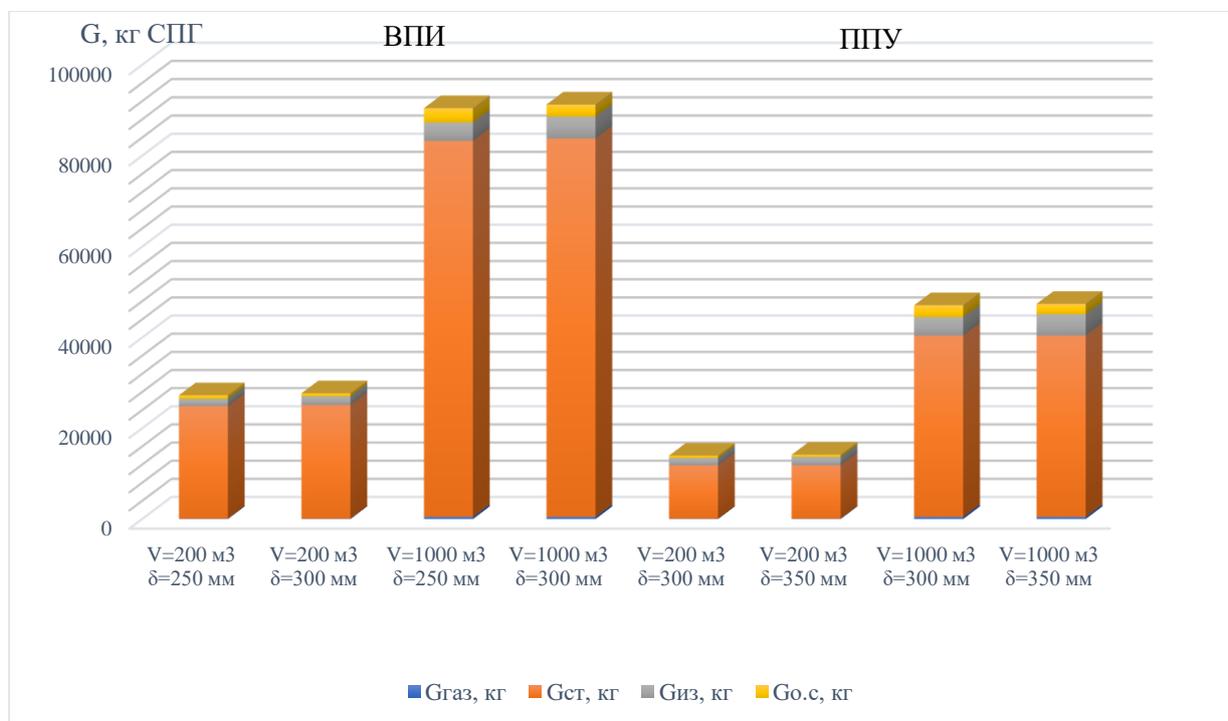


Рис. 2. Накопительная диаграмма расхода СПГ на захлаживание:

G_{газ} – затраты СПГ на охлаждение газа внутри резервуара; G_{ст} – затраты СПГ на охлаждение стальной конструкции; G_{из} – затраты СПГ на охлаждение изоляции; G_{о.с.} – затраты СПГ компенсацию теплоты, поступающей за время захлаживания.

Из представленной диаграммы можно отметить, что основную часть потерь составляет захлаживание стальной конструкции. Наибольшие суммарные потери свойственны хранилищам с большим объемом и вакуумной изоляцией с перлитным наполнением. Наименьшие потери наблюдаются у резервуаров с меньшим объемом и пенополиуретановой изоляцией. Применение пенополиуретановой изоляции по сравнению с вакуумно-порошковой сокращает потери СПГ на 92–95%.

После осуществления процесса захлаживания требуется охладить систему до необходимой температуры 111 К и приступить к заполнению хранилища (рис. 3).

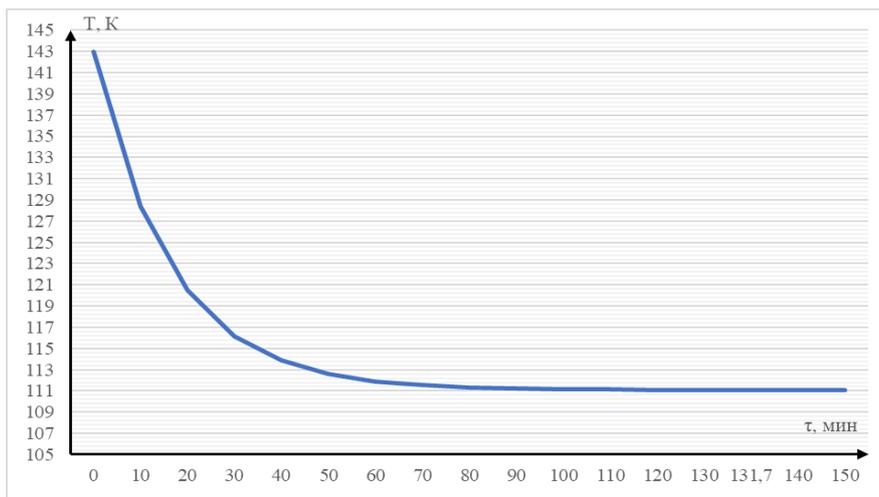


Рис. 3. График изменения температуры в резервуаре в зависимости от времени

Транспортировка СПГ в хранилищах неизбежно сопровождается неконтролируемым ростом давления, вызванным фазовым переходом криожидкости в газообразный вид. Катализаторами данного процесса является качка судов, вызывающая собой процесс волнообразования – слошинг [3]. Графики изменения градиента давления с течением времени представлены на рис. 4.

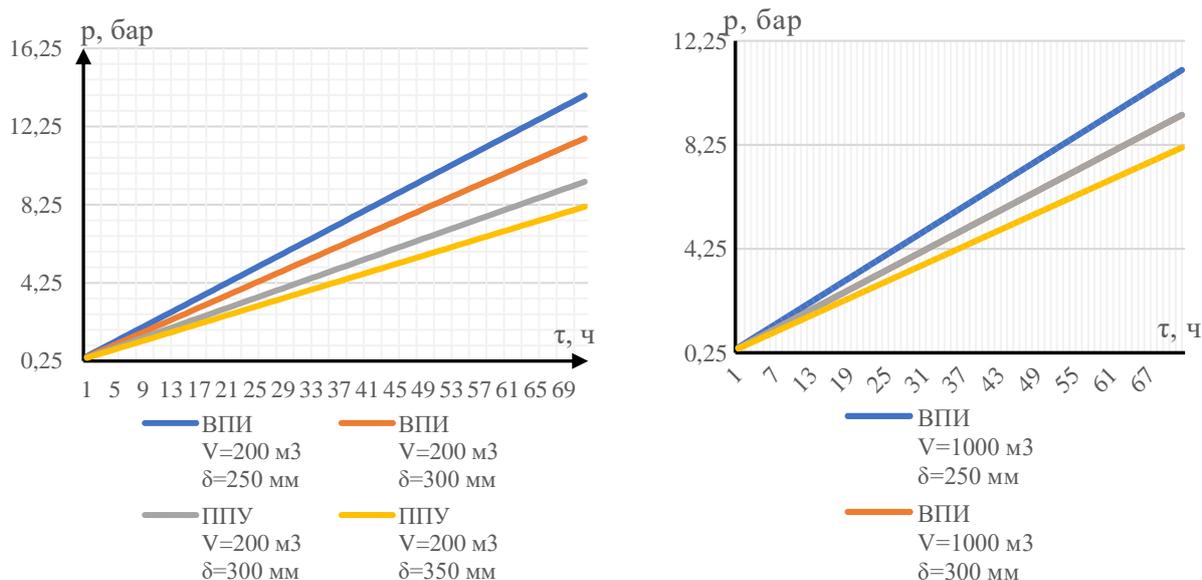


Рис. 4. График роста давления в зависимости от вида и толщины изоляционного слоя для танков $V=200 \text{ м}^3$ и $V=1000 \text{ м}^3$

Из представленных графиков можно отметить, что в танках с пенополиуретановой изоляцией рост давления происходит с меньшей скоростью. Таким образом, можно отметить, что с улучшением характеристик теплоизолирующего слоя происходит уменьшение скорости роста давления.

На основании проведенного исследования удалось оценить тенденции изменения вышеперечисленных параметров от размеров резервуара, типа и толщины слоя изоляции.

При сравнении разных типов изоляционного материала было установлено, что полиуретановая пена эффективнее справляется со снижением потерь, чем вакуумно-

порошковая. В зависимости от объема и толщины изоляции потери сокращаются на 44–48 % для 200-кубовых и на 16–18% для 1000-кубовых танков.

Ранее уже упомянутый эффект слошинга оказывает высокое воздействие на стенки резервуара хранения, что может повлечь за собой их преждевременный износ и разрушение [1]. Вследствие данного обстоятельства в настоящее время этот эффект подлежит тщательному изучению для более детального прогнозирования и создания методов противодействия. Моделирование процесса осуществляется в CFD-модуле [4] на основании уравнений Навье-Стокса и моделей турбулентности. Для графической интерпретации результатов используются следующие шкалы (рис. 5).

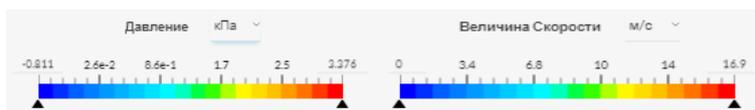


Рис. 5. Шкалы исследуемых величин

При исследовании влияния волновой нагрузки на поведение жидкости в баке предполагается, что в начальный момент жидкость в баке покоится (рис. 6).



Рис. 6. Начальные условия

В момент старта судна криогенная жидкость в резервуаре получает импульс, что приводит ее в движение. Вследствие чего на боковые стенки хранилища усиливается давление жидкости. Кинетическая энергия жидкости резко возрастает. Скорость движения верхних слоев способна достигать порядка 17 м/с (рис. 7).

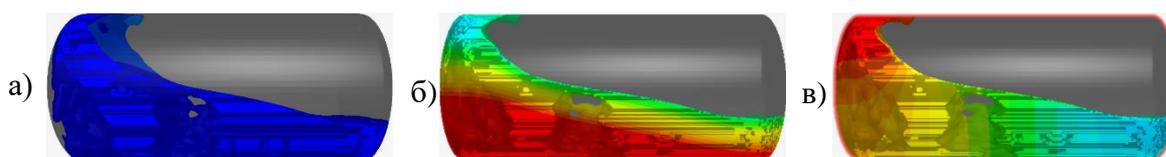


Рис. 7. Моделирование процесса слошинга в момент времени $\tau = 0,25$ с

После начального колебания жидкость старается вернуться в исходное положение. Однако избыток кинетической энергии приводит к возникновению дестабилизирующей активности. На данном этапе наблюдается снижение скорости потока и незначительное снижение давления СПГ на стенки сосуда (рис. 8).

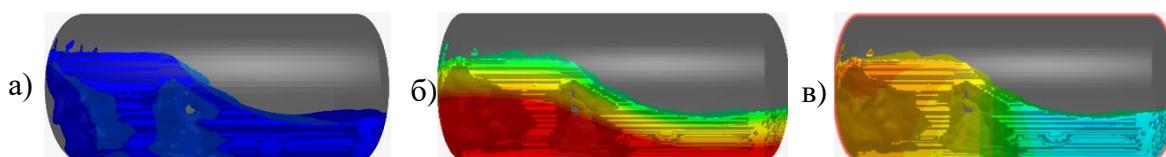


Рис. 8. Моделирование процесса слошинга в момент времени $\tau = 0,5$ с

Порожденная вторая волна криожидкости оказывает более сильное воздействие на конструкцию. Это связано с тем, что первая волна брала начало из состояния покоя т.е.

нулевой начальной скорости, в то время как на данном этапе значение начальной скорости потока принимает положительное значение (рис. 9). При обрушении волны СПГ происходит интенсивная регазификация, сопровождающаяся возрастанием давления в паровом пространстве танка.

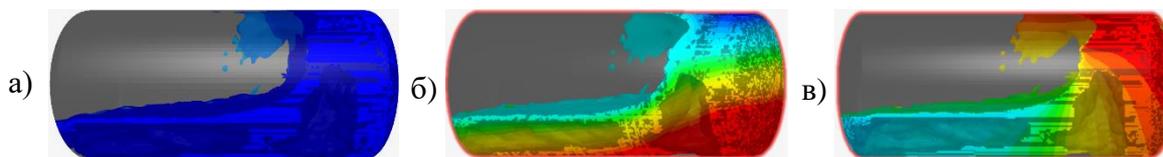


Рис. 9. Моделирование процесса слошинга в момент времени $\tau = 1,0$ с

Обрушение волны гасит приобретенную скорость, а накопленная энергия расходуется на парообразование криожидкости. Как видно на рис. 10, данный процесс сопровождается постепенным снижением давления на стенки танка.

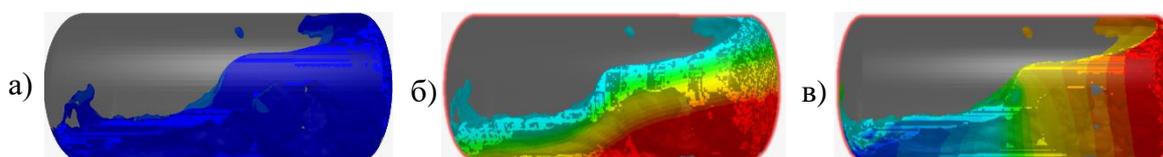


Рис. 10. Моделирование процесса слошинга в момент времени $\tau = 1,25$ с

В дальнейшем происходит перераспределение скоростей в теле жидкости (рис. 11). При этом уже на данном этапе можно отметить значительное сокращение величин давления и скорости внутри хранилища.

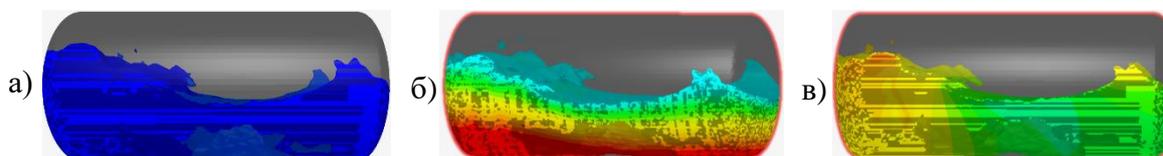


Рис. 11. Моделирование процесса слошинга в момент времени $\tau = 2$ с

При выходе судна на номинальную скорость при равномерном движении жидкость в резервуаре постепенно возвращается к первоначальному состоянию (рис. 12).

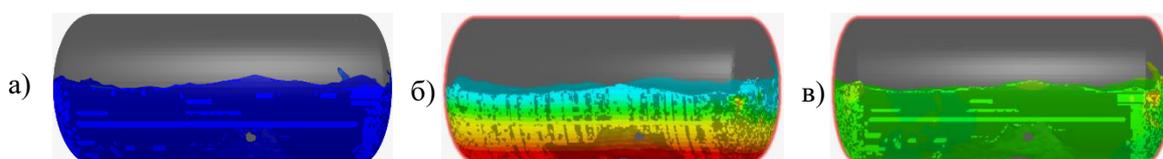


Рис. 12. Моделирование процесса слошинга в момент времени $\tau = 2,5$ с

Моделирование процесса слошинга позволило оценить воздействие криогенной среды на стенки резервуара, определить причины возникновения концентрации напряжений и увеличения градиента скоростей, а также выявить области, наиболее подверженные высоким температурным напряжениям и воздействию гидростатического давления.

Подводя итог вышесказанному, стоит отметить, что быстро возрастающий в мировом энергетическом сегменте рынок СПГ становится ориентиром при выборе

топлива будущего благодаря своим высоким энергетическим и экологическим показателям. Применение СПГ в качестве моторного топлива на двухтопливных установках морских судов имеет широкие перспективы развития. Поэтому исследования в данном направлении нуждаются в тщательной проработке и подборе материалов, изучение свойств которых позволит значительно сократить потери при выполнении бункеровочных операций, а также снизить рост давления в процессе хранения и транспортировки. Использование высокоэффективных материалов и усовершенствованных конструкций резервуаров помогут минимизировать последствия от слошинга и других негативных явлений.

Литература

1. Evangelos K. Boulougouris, Leonidas E. Chrysinas. LNG Fueled Vessels Design Training. 2015. 151 стр.
2. Аналитический обзор «Перспективы и возможности использования СПГ для бункеровки в арктических регионах России», Климентьев А.Ю., Книжников А.Ю., Григорьев А.Ю. WWF. 2017.
3. Теплофизические основы морской транспортировки и бункеровки сжиженного природного газа. СПб: Крыловский государственный научный центр. 2019. 170 с.
4. CFD (Computer Fluid Dynamic) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.simscale.com/> (дата обращения 10.04.2021).

Саламахина Алиса

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы № Т42182с,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: alisa-97@yandex.ru

Баракова Надежда Васильевна

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: n.barakova@mail.ru

УДК 615.014.6

THE EXTRACTION OF BETA-GLUCAN FROM OATS FOR BETA-CAROTENE ENCAPSULATION

A. Salamahina

Supervisor - Ph.D., associate professor N.V. Barakova

The work was carried out within the framework of the research project №620146 "Design of functional food products of adaptogenic action for the prevention of cardiovascular diseases, diabetes mellitus, metabolic syndrome and oncological diseases associated with metabolic disorders."

Annotation

Beta-glucan was investigated from oat bran as a shell for a water-insoluble carotenoid. Beta-glucan was obtained by hot water extraction and dried as a pure powder. Next, the concentration of pure polysaccharide was determined using L-cysteine and sulfuric acid. According to the results, the highest yield of beta-glucan is obtained precisely by the hot water extraction method, in comparison with enzymatic, acidic and alkaline methods. To obtain and stabilize the capsules, beta-glucan was modified with octanoic acid and then beta-carotene was added to it. The scanning electron microscope (SEM) data are completely correlated with the data obtained with the dynamic light scattering (DLS) instrument. Particle size was determined at 200 nm. Encapsulation of beta-carotene in a polysaccharide matrix made it possible to obtain a soluble form of beta-carotene, which significantly increases its bioavailability for the body.

Keywords

Beta-glucan, hot water extraction, polysaccharide, encapsulation, beta-carotene.

Due to its many beneficial properties, beta-glucan plays an important role in healthy nutrition and pharmaceutical products. The positive effect includes a decrease in serum cholesterol and glucose levels, immunomodulation, antitumor activity, and obesity prevention [1].

Beta-glucan is a polysaccharide and is present in the structures of various types of organisms, such as fungi, yeast, oats, barley, algae, but it is not present in mammals. It has various biological activities and is used in many medical products [2].

The long chain polysaccharide consists of a D-glucose monomer linked by glycosidic bonds. In microorganisms, for example, connection through (1-3) and (1-6) sites. On the contrary, in plants through (1-3) and (1-4) [3].

It should be noted that beta-glucan is a promising platform for use as a water-soluble

coating material for water-insoluble biologically active molecules. This work demonstrates a prototype for the preparation of water-soluble beta-glucan- bet -carotene nanomyelles to increase their stability and targeted delivery.

Carotenoids are fat-soluble pigments found in all photosynthetic organisms. They prevent certain types of cancer, cardiovascular diseases and aging eye diseases, as well as enhance the functions of the immune system [4].

Beta-carotene is provitamin A and has antioxidant activity. It is characterized by poor resistance to high temperatures and light, poor water solubility and limited bioavailability. A large amount of research has focused on changing its hydrophobic nature and increasing its stability for use in the food and pharmaceutical industries. Encapsulation is a suitable way to achieve this goal [4].

In our study, we used fatty acids for the synthesis of derivatives of amphiphilic carbohydrates to give oat beta-glucan the ability to deliver and dissolve lipophilic compounds and to increase the water solubility of beta-carotene.

The aim of this work was to obtain a stable complex from modified beta-glucan with encapsulated beta-carotene to create a water-soluble form of the carotenoid.

The first stage of the study was to obtain beta-glucan from oat bran by hot water extraction. The yield was assessed by weighing the extract granules after drying on a dry Petri dish with a known mass using analytical scales [1].

Next, the content of pure beta-glucan in the extract was determined using L-cysteine and sulfuric acid. The concentration of pure beta-glucan was measured with a spectrophotometer at a wavelength of 415 nm and a standard glucose curve shown in fig. 1. Knowing the molecular weight of glucose and beta-glucan from oats, it was possible to determine the concentration of the studied polysaccharide in the resulting dry extract [5].

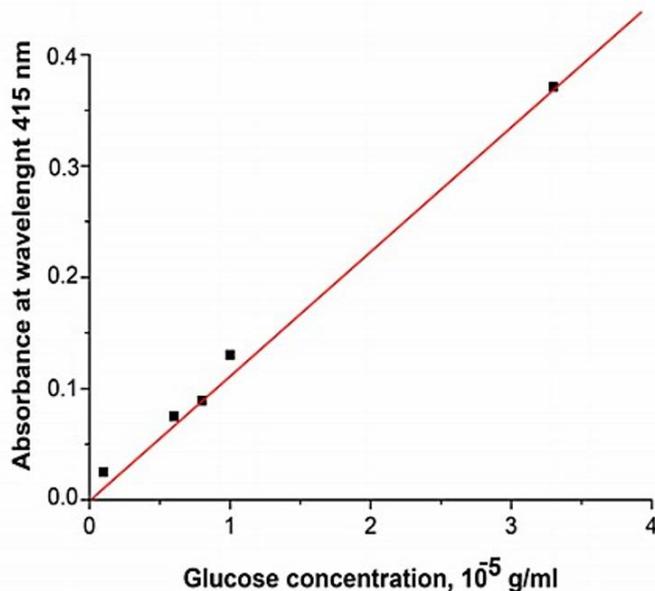


Fig. 1. Standard curve of glucose at a wavelength of 415 nm.

The glucose concentration was determined by the equation $y = 10330x + 0.0219$ with $R^2 = 0.997$, where y is the absorption and x is the concentration [6]

The content of pure polysaccharide in the extract was 90 %.

The amount of beta-glucan in 100 g of oat bran was expressed as a percentage. The beta-glucan yield is 5.3 ± 0.3 % in dry state.

The recovered product was identified using FTIR spectroscopy. For clarity, the spectrum of the obtained beta-glucan was compared with pure beta-glucan from Sigma, which is shown

in fig. 2. It can be seen from the presented spectra that they are almost equal and have the same characteristic peaks [1].

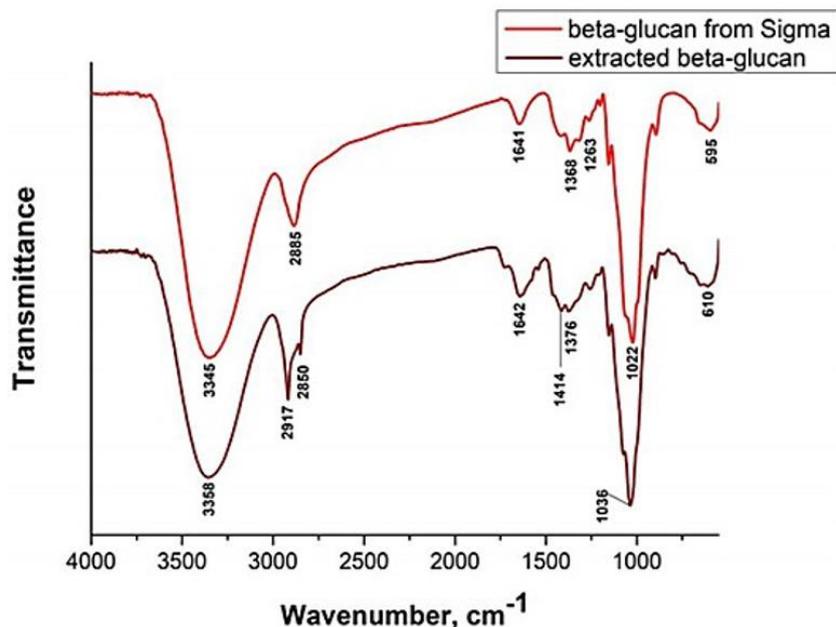


Fig. 2. FTIR spectrum of the obtained beta-glucan and beta-glucan from the company "Sigma" [6]

Further, beta-glucan was modified by chemical synthesis to create a nanocapsule. The first step was the reaction of 1,1'-carbonyldiimidazole (CDI) and octanoic acid in a dimethyl sulfoxide (DMSO) solvent. Then, the formed acylimidazole reacted with beta-glucan and formed a fatty acid ester of beta-glucan. After dialysis and freeze drying, the resulting white layer was dissolved in water, adjusted to pH 5.9 with starch and citric acid, and beta-carotene was added. Then the mixture was left on the plate at boiling point and centrifuged [3]. The result was a stable encapsulated system which can be clearly seen in fig. 3(3).



1 – only β -carotene in water, 2 – only β -glucan capsules in water, 3 – β -carotene micelles with β -glucan capsule showing solubility and uniform distribution in water

Fig. 3. Image of the solutions [6]

Further, using the FTIR spectrum, changes in functional groups in the resulting system were studied. The spectrum of the capsules in fig. 4 shows a clear peak at 1737 cm^{-1} corresponding to the C = O stretching vibration. This peak is accompanied by the C - O - C stretching vibration in the range of $1280\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$. These peaks indicate the formation of an ether bond between beta-glucan and octanoic acid and indicate successful modification of beta-glucan. A strong, clear intensity peak at 1645 cm^{-1} appears due to the stretching vibration of C = C alkene bonds in the beta-carotene molecule and is associated with hydroxyl groups of ring vibrations. In the rest of the spectral regions, no strong differences are observed [3].

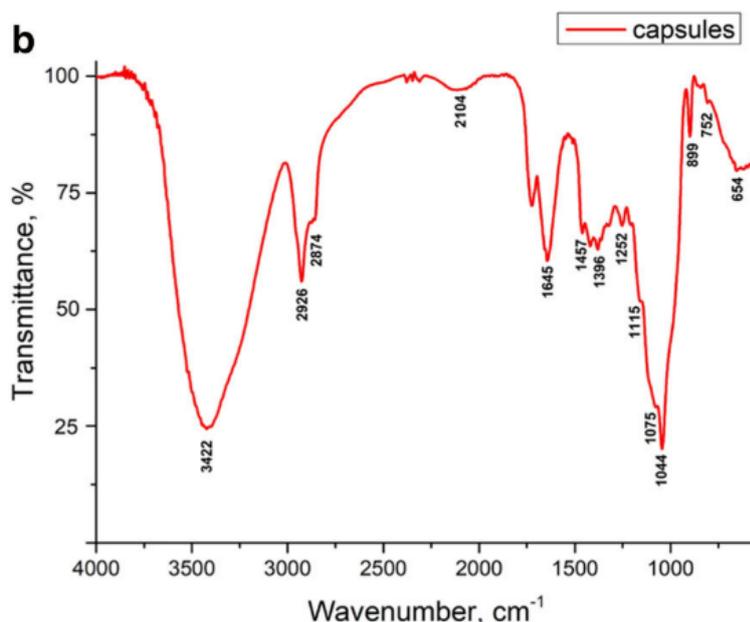


Fig. 4. FTIR spectrum of modified beta-glucan with beta-carotene [6]

Then the size of the capsules was determined using DLS. It was 220 nm as shown in fig. 5. And the zeta potential of the system is 24 mV at room temperature.

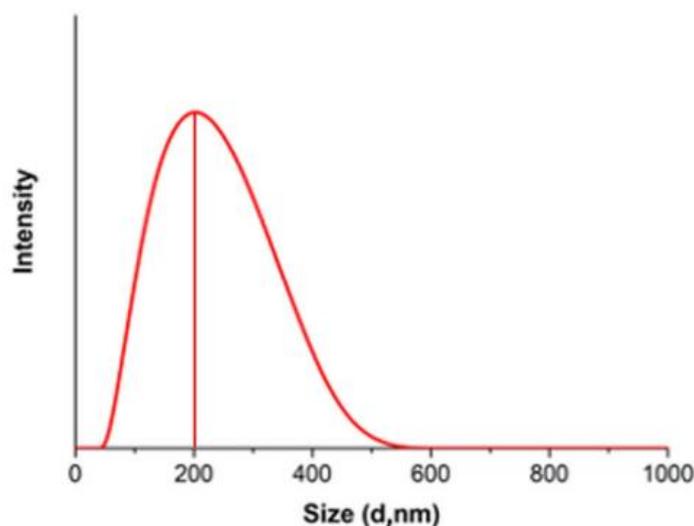


Fig. 5. DLS of modified beta-glucan with beta-carotene [6]

The structure and self-aggregation of the capsules were then studied using a SEM microscope. In figure 6 shows aggregates of particles consisting of spheres about 200 nm in size, which coincide with the DLS data [3].

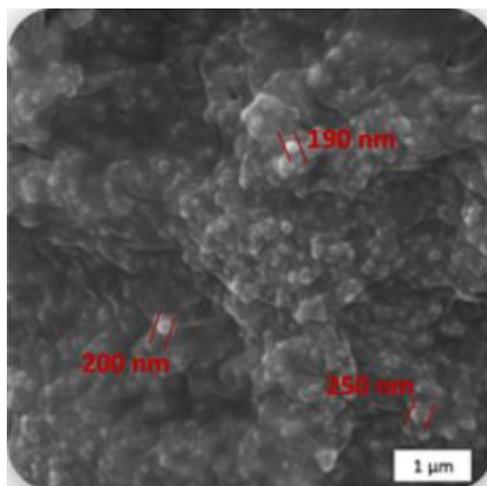


Fig. 6. SEM of modified beta-glucan with beta-carotene [6]

As a result of the work, water-soluble beta-glucan-beta-carotene micelles were obtained using readily available oat bran as a source of beta-glucan. The resulting capsules were evaluated using dynamic light scattering (DLS), scanning electron microscope (SEM), FTIR spectrometry. It is supposed that the resulting mechanism would commonly used in the food industry to create water-soluble versions of biologically active molecules. Consequently, the next task will be to carry out the cytotoxic effect of the resulting system. As well as determination of the stability and bioavailability of capsules in models of oral systems, as well as gastric and intestinal juices.

According to the research results, a prototype of the technological scheme for the production of solution of beta-carotene loaded MG is proposed. Two schemes of two stages of technological process were drawn up. The first step is recovery of pure beta-glucan from oat bran by hot-water extraction (fig. 7).

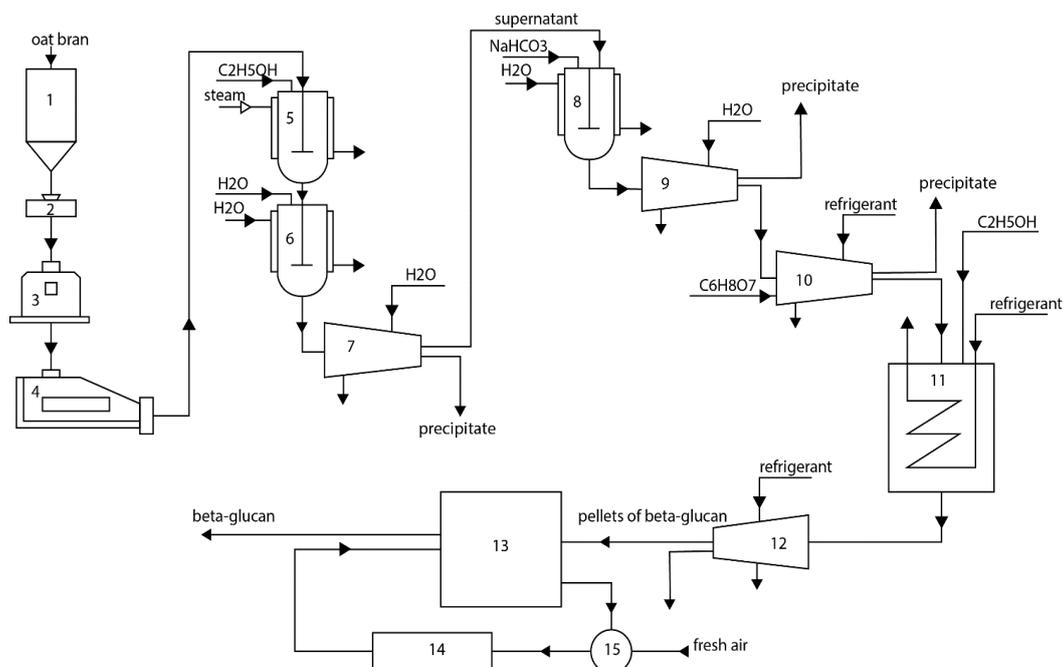
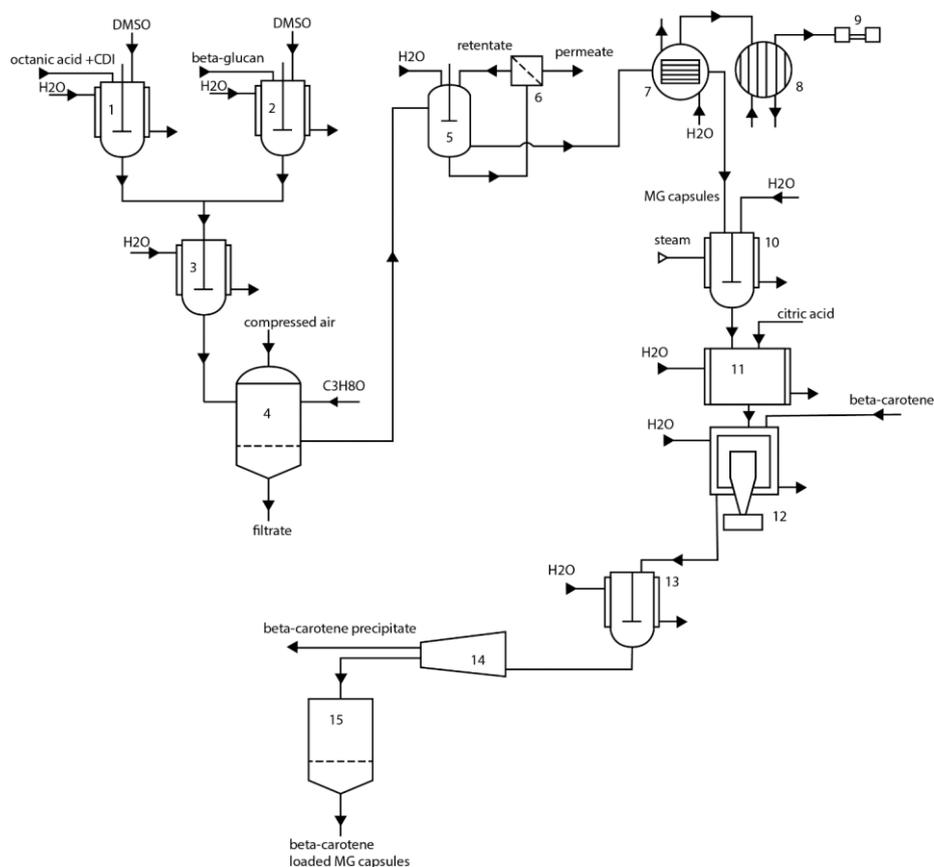


Fig. 7. 1 – bunker with oat bran; 2 – automatic scales; 3 – roller machine; 4 – bran separator; 5,6,8 – tank agitator; 7,9,10,12 – centrifuge; 11 – tank;
Hot air dryer: 13 – drying chamber, 14 – air heater, 15 – blower of fan
Figure 7 – Technological scheme of extraction of beta-glucan

The next step is to obtain micelles of modified beta-glucan and encapsulation of beta-carotene into them (fig. 8).



1-3,10,13 – tank agitator; 4,15 – filter;
Diafilter: 5 – feed tank, 6 – membrane module;
Sublimation dryer: 7 – drying chamber, 8 – condenser-freezer,
9 – vacuum pump; 11 – tank for cooling liquid; 12 – ultrasound equipment; 14 – centrifuge
Fig. 8. Technological scheme of obtaining beta-glucan capsules with beta-carotene

There are two ways of the development. First is to improve the way of modification of beta-glucan, to make it cheaper and easier to obtain capsules to receive them in large volumes. And then use them as an additive to the food products.

The second way is to create a technology of stitching capsules with each other to have a three dimensional structure with cavity inside and use them as pharmaceutical organic capsules for drug delivery.

Therefore, this research is an excellent platform for the development of improved food products or alternative casings for pharmaceuticals.

References

1. Ahmad A. and others. Extraction and characterization of beta-d-glucan from oat for industrial utilization // *Int. J. Biol. Macromol.* 2010. T. 46. № 3. P. 304–309.
2. Jin Y., Li P., Wang F. beta-glucans as potential immunoadjuvants: A review on the adjuvanticity, structure-activity relationship and receptor recognition properties // *Vaccine.* 2018. T. 36. № 35. P. 5235–5244.
3. Liu J. and others. Optimization and characterization of curcumin loaded in octenylsuccinate oat beta-glucan micelles with an emphasis on degree of substitution and

- molecular weight // *J. Agric. Food Chem.* 2014. Т. 62. № 30. P. 7532–7540.
4. Knockaert G. and others. Changes in beta-carotene during processing of carrots.: Elsevier Inc., 2015. 11–16 p.
 5. Wood P.J., Paton D., Siddiqui I.R. Determination of beta-glucan in oats and barley // *Cereal Chem.* 1977. Т. 54. № 3. P. 524–533.
 6. Climova A. and others. Application of extracted beta-glucan from oat for beta-carotene encapsulation // *J. Food Sci. Technol.* 2020.

Сауц Артур Валерьевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет инженерно-исследовательский

студент группы №В42621с,

направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,

e-mail: art_88@bk.ru

Успенская Майя Валерьевна

Год рождения: 1970

Университет ИТМО,

факультет инженерно-исследовательский,

д.т.н., профессор,

e-mail: mv_ustpenskaya@mail.ru

УДК 615.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ
2-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛАЗИДА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ СТРУКТУРНОЙ БИОИНФОРМАТИКИ**

А.В. Сауц

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.В. Успенская

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Санкт-Петербурга в рамках Постановления от 17.08.2020 г. № 640 по Соглашению от 21.12.2020 г. № 154-20.

Аннотация

В работе выполнено *in silico* исследование токсических свойств экспериментальных ракетных топлив ДМАЗ, ММАЗ и ЦПАЗ. Оценены биодоступность, вероятные токсические свойства, значения допустимых концентраций в воздухе, воде, почве, продуктах питания, венозной крови человека, классы опасности, риски возникновения заболеваний дыхательной и сердечно-системы рабочего персонала и населения при кратковременном и длительном воздействии при вдыхании исследуемых веществ.

Ключевые слова

2-диметиламиноэтилазид, 2-азидо-N-метилэтанамин, 2-азидо-N-циклопропилэтанамин, токсичность, биоинформатика, эколого-гигиеническое нормирование.

Современные ракетные топлива, используемые в жидкостных ракетных двигателях, такие как, например, гептил (1,1-диметилгидразин), представляют собой опасность для окружающей среды и здоровья человека. Вдыхание паров гептила при отсутствии средств индивидуальной защиты может вызывать тошноту, раздражение дыхательных путей и слизистых оболочек, оказывает мутагенное, канцерогенное и тератогенное воздействие [1]. В настоящее время проводятся работы по поиску и синтезу его безопасных аналогов, кандидатами в которые являются соединения 2-диметиламиноэтилазид (ДМАЗ) и его производные: 2-азидо-N-метилэтанамин (ММАЗ) и 2-азидо-N-циклопропилэтанамин (ЦПАЗ) [2].

При проведении исследований биологической активности новых химических веществ в настоящее время первым и обязательным этапом является проведение исследований с помощью компьютерного моделирования. Подход, предложенный на примере исследуемых соединений в настоящей работе, основанный на комплексном использовании современных методов структурной биоинформатики, позволяет предсказать токсические свойства новых веществ, в т.ч. отдалённые последствия их

использования, выполнить эколого-гигиеническое нормирование при их использовании. Использование предложенного подхода обладает преимуществами по сравнению реальными исследованиями на биологических объектах в силу организационно-экономических, законодательных и этических причин.

Структурные химические формулы данных соединений приведены на рис. 1.

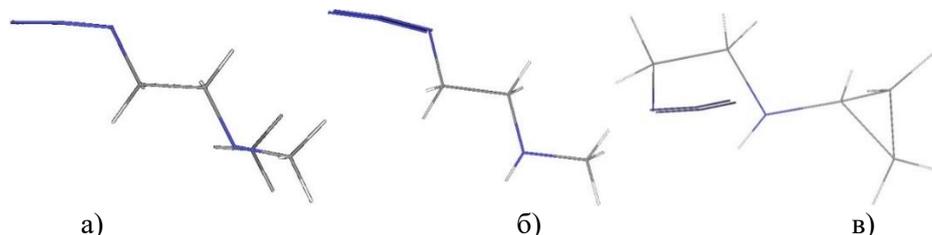


Рис. 1. Структурные химические формулы: а) ДМАЗ; б) ММАЗ; в) ЦПАЗ

Биодоступность химического вещества характеризует его способность проникать, достигать и усваиваться в живом организме. В программе Schrödinger (модуль Qikprop) нами были выполнены расчеты (предсказания) физико-химических характеристик, характеризующих биодоступность исследуемых соединений (см. табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические характеристики биодоступности ДМАЗ и его производных

Соединение	Молекулярная масса, а.е.м.	Коэффициент октанол / вода	Кол-во групп водородных связей		Проницаемость клеток Сасо-2, нм / сек	Кол-во первичных метаболитов	Коэффициент вода / воздух	Коэффициент масло / вода
			Доноров	Акцепторов				
ДМАЗ	114,15	-1,160	0	5	187,337	2	55,603	2,804
ММАЗ	100,12	-1,066	1	4	125,170	2	66,642	1,791
ЦПАЗ	126,16	-0,431	1	4	227,255	2	66,31	3,054

Исследуемые вещества полностью удовлетворяют правилам Липинского, Йоргенсена и Лазарева. Молекулы данных веществ хорошо растворимы в воде и могут проникать через липидный слой клеточных стенок. ДМАЗ и ЦПАЗ обладают сильными биоаккумулятивными свойствами, медленной скоростью накопления и иллюминации из клеток организма. ММАЗ – слабыми биоаккумулятивными свойствами, высокой скоростью накопления и иллюминации из клеток организма.

Прогнозирование основных токсических свойств исследуемых соединений выполнено с помощью алгоритмов машинного обучения методом «структура-свойство» (QSAR) в программе TEST (EPA) и VEGA QSAR с помощью методов *k*-ближайших соседей, иерархической организации, случайного леса, регрессии и группового вклада. Результаты приведены в табл. 2.

Для исследования токсичности исследуемых соединений целесообразно также использовать молекулярный докинг. Однако при оценке результатов докинга возникает проблема интерпретации передаваемого молекулярного сигнала, т.к. лиганды могут быть агонистами и антагонистами рецепторов. Также на разных участках связывания рецепторов с лигандами, могут возникать разные сигналы, соответствующие агонизму или антагонизму. Для решения данной проблемы предложен следующий подход:

1. Выполняется анализ участков рецептора, построены карты активных участков.
2. Для ориентира используются лиганды, с которыми уже были ранее связаны

рецепторы и эффект от связывания с которыми экспериментально изучен.

3. Производится поправка на структуру белка с учётом характеристик венозной крови: $pH = 7,38 \pm 0,05$ и температура $37^\circ C$ (референсные значения для человека).

4. Молекулярный докинг выполняется в программах, позволяющих автоматически его производить в разных активных участках белка.

Таблица 2

Прогнозируемые значения параметров токсичности исследуемых веществ методом QSAR

Параметр (модель / программный модуль)	Вещество		
	ДМАЗ	ММАЗ	ЦПАЗ
1	2	3	4
Модель канцерогенности (IRFMN / Antares 1.0.0)	Канцероген	Канцероген	Канцероген
Модель канцерогенности (CAESAR 2.1.9)	Канцероген	Канцероген	Канцероген
Модель классификации пероральной канцерогенности (IRFMN 1.0.0)	Канцероген	Канцероген	Канцероген
Модель канцерогенности (IRFMN / ISSCAN-CGX 1.0.0)	Не канцероген	Не канцероген	Не канцероген
Модель канцерогенности (ISS 1.0.2)	Канцероген	Канцероген	Канцероген
Тест мутагенности Эймса с использованием бактерий <i>Salmonella typhimurium</i>	Мутаген	Мутаген	Мутаген
Опасная доза канцерогена для ротовой полости, мг/ (кг·сут.) (IRFMN 1.0.0)	4,062	0,058	0,002
Модель классификации ингаляционной канцерогенности (IRFMN 1.0.0)	Канцероген	Канцероген	Канцероген
Опасная доза канцерогена при ингаляционном воздействии, мг/ (кг·сут.) (IRFMN 1.0.0)	5,5991	5,8754	1,9701
Токсичность для эмбрионального и постэмбрионального развития (CAESAR)	Токсичен	Токсичен	Токсичен
Полулетальная доза CL_{50} для эмбрионов рыб Данио-Рерио, мкг/л (IRFMN/CORAL 1.0)	2131,86	1629,84	400,88
Сенсибилизирующее действие на кожу (CAESAR 2.1)	Активен	Активен	Активен
Сенсибилизирующее действие на кожу (IRFMN/JRC)	Активен	Активен	Не активен
Общий период полувыведения вещества из организма, час (QSARINS 1.0.0)	5,51	4,369	7,132
<i>In vitro</i> активность к микроядрам клеток (IRFMN/VERMEER 1.0.0)	Активен	Активен	Активен
Классификация по способу токсического действия (EPA T.E.S.T. 4.2.1)	Наркозное	Наркозное	Наркозное
Острая полулетальная концентрация CL_{50} для рыб, мг/л (Read-Across 1.0.0)	990,36	3454,93	1471,96
Острая полулетальная концентрация CL_{50} для рыб, мг/л (NIC 1.0.0)	24,8	37,98	1,49
Острая полулетальная концентрация CL_{50} для рыб, мг/л (IRFMN 1.0.0)	25,33	21,71	28,49
Острая полулетальная концентрация CL_{50} для рыб, мг/л (IRFMN/Combase)	75,52	136,39	63,19
Пороговая концентрация хронического вредного действия для рыб, мг/л	13,2	23,86	6,15
Полулетальная концентрация для толстоголовых гольянов в течение 96 ч воздействия CL_{50} , мг/л (EPA)	3924,27	4594,31	367,53
Полулетальная концентрация для толстоголовых гольянов CL_{50} , мг/л	2073,85	1979,97	2475,04

продолжение таблицы

Параметр (модель / программный модуль)	Вещество		
	ДМАЗ	ММАЗ	ЦПАЗ
1	2	3	4
Полулетальная концентрация для дафний Магна при 48 ч воздействия CL_{50} , мг/л (EPA 1.0)	206,42	98,37	20,46
Полумаксимальная эффективная концентрация для дафний Магна EC_{50} , мг/л (IRFMN 1.0)	26,52	19,46	26,35
Острая полумаксимальная концентрация для дафний Магна EC_{50} , мг/л (IRFMN)	137,58	54,94	1,29
Классификация токсичности для водорослей (ProtoQSAR/Combase)	Токсичен	Токсичен	Токсичен
Полулетальная пероральная доза для крыс DL_{50} , мг/мг (EPA T.E.S.T. 4.2.1)	225,85	570,88	1162,00
Биоразлагаемость (IRFMN 1.0.9)	Медленная	Медленная	Медленная
Стойкость в воде в донных отложениях (IRFMN 1.0.)	Нестойкий	Нестойкий	Нестойкий
Общий период полувыведения вещества из организма, час (QSARINS 1.0.0)	5,51	4,369	7,132
<i>In vitro</i> активность к микроядрам клеток (IRFMN/VERMEER 1.0.0)	Активен	Активен	Активен

Был выбран типовой набор рецепторов, являющихся мишенями различных ксенобиотиков. Подготовка рецепторов к докингу выполнялась в программе Schrödinger (модули Qikprop и Sitemap). Докинг был выполнен в программе Autodock Vina. Связывание лиганда с рецептором принято считать достаточно сильным, если энергия связывания $\Delta G < -5$ ккал/моль. Результаты докинга приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты молекулярного докинга исследуемых рецепторов и соединений

Рецептор		5-НТ ₂ A	АНР	GABA (A)R- β_3	GABA (B)	M ₁	M ₂	A ₇	p53
Энергия связывания с лигандом ΔG , ккал / моль	ДМАЗ	-4,1÷ -3,1	-3,3÷ -2,9	-4,1÷ -3,4	-3,9÷ -3,1	-3,3÷ -2,8	-3,6÷ -2,7	-3,3÷ -2,9	-3,6÷ -2,7
	ММАЗ	-3,2÷ -2,9	-3,2÷ -2,9	-4,1÷ -3,5	-4,1÷ -3,2	-3,2÷ -3,0	-3,6÷ -3,1	-3,5÷ -3,0	-3,4÷ -2,9
	ЦПАЗ	-4,2÷ -3,6	-3,4÷ -2,9	-4,1÷ -3,6	-3,6÷ -3,3	-3,5÷ -3,0	-4,3÷ -3,2	-3,7÷ -3,2	-3,9÷ -3,1

По результатам молекулярного докинга с учётом биологических функций, за которые отвечают атакуемые рецепторы, были сделаны следующие выводы:

1. ДМАЗ и его производные, вероятно, не обладают прямым канцерогенным действием, но могут обладать слабым нервно-паралитическим действием.

2. ДМАЗ и ЦПАЗ могут обладать слабым психотропным воздействием.

3. ЦПАЗ может вызывать замедления в работе сердца.

Неотъемлемым этапом токсикологических исследований новых соединений является их гигиеническое нормирование, в основу которого входит нормирование их содержания в воде, воздухе, грунтах, в организме, продуктах питания. Первичная токсикологическая оценка новых веществ допускает расчёт временных нормативов.

Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) – это временный норматив максимально допустимого содержания загрязняющего вещества в атмосферном воздухе, действующий в течении трёх лет [3]. Аналогом ОБУВ для воды и почв является ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) и максимальный

допустимый уровень (МДУ) в продуктах питания ОБУВ (ОДК) определяется по известным физическим, химическим, токсикологическим свойствам веществ. В дальнейшем, по истечении установленного срока после более детальных лабораторных исследований результаты расчётов данный норматив пересматривается.

ОБУВ в воздухе рабочей зоны $ОБУВ_{р.з.}$, $мг/м^3$, по биологической активности химических связей можно рассчитать по формуле [4]:

$$ОБУВ_{р.з.} = 1000 M / \sum_{i=1}^n l_i; \quad (1)$$

где M – молярная масса, $мг / моль$; l_i – биологическая активность химической связи атомов в исследуемой молекуле, $л / ммоль$.

Определение значений ОБУВ исследуемых соединений предлагается проводить совместно с проведением фармакофорного анализа, чтобы из всех имеющихся химических связей в молекуле принимать в расчёт только те, в которых действительно выявлена биологическая активность. Результаты фармакофорного анализа исследуемых соединений приведены на рис. 2. Значения l_i приняты по данным [4], расчёт $ОБУВ_{р.з.}$ сведён в табл. 4.

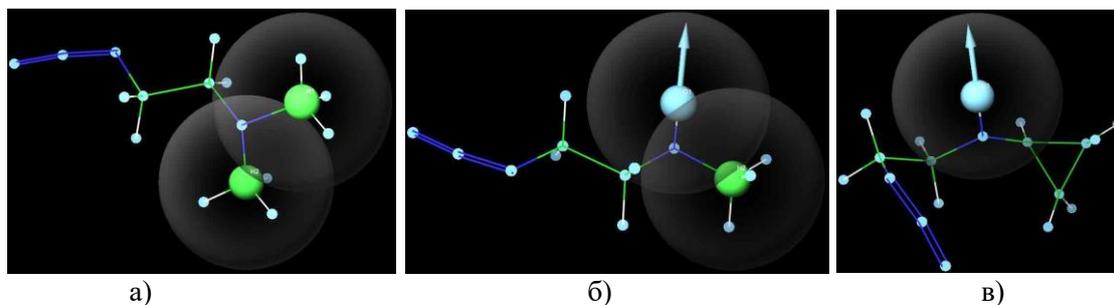


Рис. 2. Результаты фармакофорного анализа: а) ДМАЗ; б) ММАЗ; в) ЦМАЗ

Таблица 4

Расчёт $ОБУВ_{р.з.}$ исследуемых веществ по биологическим активностям химических связей

Вещество	ДМАЗ	ММАЗ	ЦМАЗ
$\sum l_i$, л/ммоль	17960,8	9264,2	283,8
$ОБУВ_{р.з.}$, $мг/м^3$	6,356	10,808	44,542

Расчёт ОБУВ (ОДК) в воде и воздухе также выполнен по нормативной методике [4]. Расчёт ОДК для почв выполнен по методикам Котелелец А.Н. (2000) и Грынчак В.А. (2019). Расчёт максимальных допустимых концентрации (МДК) в венозной крови человека (см. МР 1.2.0074-132) выполнен в программе Pk-Sim/Mobi. Для расчётов МДК в венозной крови было принято, что «виртуальный человек» получает исследуемые вещества в течение одного года внутри-желудочно в количестве максимальной недействующей дозы и ингаляционно в концентрации, равной ОБУВ в воздухе населённых мест. Результаты расчётов приведены в табл. 5. Результаты расчёта фугитивности C_{max} , коэффициента возможных ингаляционных отравлений (КВИО) и класса опасности исследуемых соединений в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 приведены в табл. 6.

Предварительно ДМАЗ и его производные можно отнести ко II классу опасности веществ (высоко опасные).

Таблица 5

Средние геометрические взвешенные ОБУВ (ОДК) в воде, воздухе ДМАЗ, ММАЗ, ЦПАЗ

Нормируемый показатель	Соединение		
	ДМАЗ	ММАЗ	ЦПАЗ
ОБУВ в воздухе населённых мест, мг/м ³	0,083	0,126	0,0564
ОБУВ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	1,242	1,177	1,284
ОДК в водоёмах санитарно-бытового водопользования, мг/л	0,147	0,146	0,141
ОДК в почве, мг/кг	1,477	1,820	3,154
МДУ в продуктах питания, мг/кг	1,597	1,926	1,414
МДК в венозной крови человека, мкг/мл	2,4	0,163	8,5

Таблица 6

Результаты расчёта фугитивности C_{max} и КВИО исследуемых соединений

Вещество	Температура кипения $t_{кип}$, °C	C_{max} , мг/м ³	CL_{50} , мг/м ³	DL_{50} , мг/кг	КВИО
ДМАЗ	135	34514,332	3286,0	405,56	10,503
ММАЗ	101	141569,6	7465,0	353,21	18,964
ЦПАЗ	155	14137,767	14002,0	484,16	1,01

Далее выполнена оценка рисков заболеваемости при аварийной утечке исследуемых соединений в атмосферу. Риск возникновения немедленных последствий оценивается с помощью пробит-метода, а отдалённых последствий с помощью показательного распределения (Плуготаренко Н.К. и др., 2014). При этом принято допущение, что рабочие контактируют с топливом только в течение рабочих смен, а остальное население в течение всего времени проживания на загрязнённой территории.

В качестве концентрации ксенобиотика принимается его фугитивность, осреднённая с учётом процесса рассеивания примесей в атмосфере по формуле:

$$C = nC_{max}; \quad (2)$$

где n – коэффициент осреднения, для осреднения разовой концентрации к среднегодовой принимается $n = 0,05$ (Теверовский Е.И. и др., 1980).

Расчётные значения рисков заболеваемости для персонала приведены в табл. 7.

Таблица 7

Риски заболеваемости населения при утечке исследуемых соединений в атмосферу

Параметр	ДМАЗ	ММАЗ	ЦПАЗ
Риск для рабочего персонала, %	89,88	77,78	72,63
Риск для населения, %	100,00	100,00	100,00

В соответствии с Р 2.1.10.1920-04 уровень рассчитанного риска не допустим ни для рабочего персонала, ни для населения.

В случае дальнейших успехов у исследуемых ракетных топлив появятся широкие перспективы стать безопасными заменителями гептила, что позволит существенно снизить опасность развития профессиональных заболеваний у работников и загрязнение окружающей среды объектами аэрокосмической отрасли. Результаты работы также имеют потенциальное практическое применение в химической, фармацевтической,

медицинской и других отраслях и при оценке биологической активности и опасности новых химических соединений.

Литература

1. Choudhary G. Hugh Hansen. Human health perspective of environmental exposure to hydrazines: a review / Chemosphere. 37. 1998. p. 801-843.
2. McQuaid M.J., Rice B.M. Computational Chemistry-Based Enthalpy-of-Formation, Enthalpy-of-Vaporization and Enthalpy-of-Sublimation Predictions for Azide-Functionalized Compounds: ARL-TR-3770 / Washington: Army Research Lab. 48 p.
3. Методические указания по установлению ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: утв. зам. главного гос. санитарного врача СССР 25 ноября 1982 г. N 2630-82.
4. Методы определения опасности химических веществ (токсикометрия) / Под ред. Саноцкого И.В. Москва: Медицина. 1970. 176 с.

Светлорусов Артём Александрович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U42952,

направление подготовки: 27.04.08 – Управление интеллектуальной собственностью,

e-mail: apt102@yandex.ru

Максимова Татьяна Геннадьевна

Год рождения: 1960

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

д.э.н., профессор,

e-mail: tgmaximova@itmo.ru

УДК 347.77

**ФОРМИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО БРЕНДА
СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

А.А. Светлорусов

Научный руководитель – д.э.н., профессор Т.Г. Максимова

Аннотация

В работе проанализирован опыт субъектов РФ по созданию региональных брендов и выявлены недостатки сложившихся подходов к формированию брендов регионов. Определено правовое содержание регионального бренда. Предложен механизм формирования регионального бренда, а также определены возможные модели управления брендом субъекта РФ. В процессе исследования выявлены недостатки законодательства в исследуемой сфере и сделаны предложения по их преодолению.

Ключевые слова

Региональный бренд, товарный знак, официальная символика субъекта РФ, бренд, управление брендом, правовая охрана регионального бренда.

В последние годы в российских регионах появилась тенденция создания региональных брендов, отражающих уникальные особенности субъектов РФ. Все регионы декларировали в своих нормативных правовых актах необходимость создания данных брендов, однако эту деятельность начали лишь несколько российских регионов. Вместе с тем в субъектах РФ складываются различные подходы к формированию регионального бренда, которые не всегда обеспечивают его правовую охрану.

Органы государственной власти субъекта РФ или их подведомственные организации продвигают региональные бренды, делая их узнаваемыми, и предоставляют право их использования региональным производителям, это должно способствовать повышению узнаваемости региона и продвижению товаров региональных производителей на территории субъекта Российской Федерации, в других регионах, а также при экспорте в иностранные государства. Как правило, в России региональные бренды являются своеобразной мерой поддержки субъектов предпринимательской деятельности региона, так как право на использование предоставляется безвозмездно.

Российское законодательство не содержит правового понятия «бренд». Как правило, под последним понимается совокупность символов, образов, ассоциаций, которые связаны с определённым продуктом [1]. Применительно к региональному бренду данные ассоциации связаны с субъектом РФ.

В процессе проведения исследования были выявлены следующие сложившиеся подходы к созданию региональных брендов в субъектах РФ.

1. Нормативное закрепление регионального бренда субъекта РФ. Примером такого способа является бренд Республики Дагестан – «Великий Дагестан». Данный способ не может обеспечить надлежащую правовую охрану региональному бренду в случае его незаконного использования третьими лицами, так как нормы о правовой охране интеллектуальной собственности, в том числе нормы авторского права, не распространяются на государственные символы и знаки на основании статьи 1231.1 ГК РФ.

2. Принятие закона субъекта РФ, создающего систему региональных брендов, которая аналогична системе средств индивидуализации, предусмотренной в Главе 76 ГК РФ. Подобный способ не обеспечивает правовую охрану бренду и является недопустимым. Данная практика сложилась только в Новгородской области в связи с принятием областного закона Новгородской области от 24.12.2018 № 357-ОЗ.

3. Регистрация регионального бренда в качестве товарного знака. Например, бренд Вологодской области «Вологодская область – Душа Русского Севера», зарегистрированный в качестве товарного знака (№581236; дата приоритета от 29.08.2014); бренд Республики Карелия зарегистрирован в качестве товарного знака «Сделано в Карелии» (№738574; дата приоритета от 03.04.2019). Рассматриваемый способ может обеспечить правовую охрану исследуемому бренду.

4. Регистрация коллективного знака для целей создания регионального бренда. Данный способ обеспечивает правовую охрану бренду, но может вызывать дополнительные сложности из-за необходимости внесения изменений в устав знака при предоставлении права его использования новым региональным производителям.

2. Регистрация наименования места происхождения товара или географического указания. Рассматриваемый способ не может быть применён, так как большинство товаров, производимых на территории субъекта РФ, не обладают требуемыми особыми характеристиками, которые обусловлены происхождением на территории региона.

3. Использование регионального бренда без какого-либо его правового оформления, в том числе без регистрации в качестве товарного знака, что не отвечает интересам субъекта РФ и региональным производителям [2].

Для обеспечения наибольшей правовой охраны региональному бренду необходимо использовать как объекты интеллектуальной собственности, так и регулировать использование официальных символов субъекта РФ. На наш взгляд, региональный бренд состоит из следующих элементов: объекты интеллектуальной собственности, официальная символика, деловая репутация субъекта РФ (рис. 1).

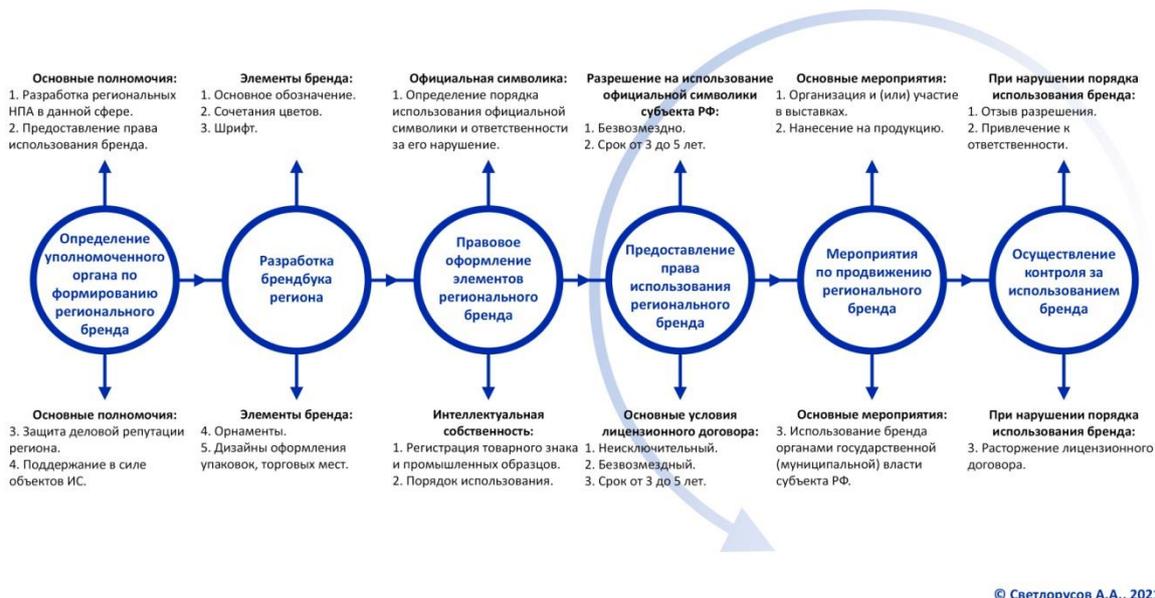


* Товарный знак, промышленный образец, НМПП, географическое указание.

Рис. 1. Правовое содержание регионального бренда субъекта РФ

К объектам интеллектуальных прав, составляющих бренд, относятся товарный знак, промышленный образец, наименование места происхождения товара, географическое указание. Официальная символика региона, как правило, включает герб, флаг, гимн, официальное наименование субъекта РФ [3]. Под деловой репутацией региона Гаврилов Е.В. понимает совокупность мнений, образов, которые складываются относительно деятельности органов государственной власти субъекта РФ и самого субъекта РФ в гражданском обороте и финансово-экономических отношениях [4].

Предлагаемый механизм формирования регионального бренда субъекта РФ состоит из шести этапов (рис. 2).



© Светлорусов А.А., 2021

Рис. 2. Механизм формирования регионального бренда субъекта РФ

На первом этапе определяется уполномоченный орган, который будет организовывать формирование бренда, а в дальнейшем управлять им. Также на этом этапе определяются полномочия органа, в число которых входят: предоставления права использования бренда региональным производителям, подготовка проектов нормативных правовых актов, регулирующих сферу регионального бренда, поддержание в силе объектов интеллектуальной собственности.

Второй этап предусматривает разработку брендбука региона, который должен содержать следующие элементы: основное обозначение субъекта РФ, орнаменты, шрифт, цветовые сочетания, дизайны упаковок продукции и различных печатных материалов.

На третьем этапе происходит правовое оформление элементов бренда. Так, основное обозначение региона регистрируется в качестве товарного знака с максимально широким охватом товаров, выполняемых работ и оказываемых услуг по классам МКТУ. В качестве промышленных образцов следует регистрировать орнаменты, дизайны упаковок и шрифт. Помимо регистрации указанных объектов в России необходима регистрация в зарубежных странах, в которые экспортируют региональные производители. Также в субъекте РФ на нормативном уровне должны быть определены порядок и условия предоставления права использования объектов интеллектуальной собственности, составляющих региональный бренд. В отношении официальной символики необходимо предусмотреть в нормативных правовых актах региона порядок

и условия получения разрешения на использование указанных символов, а также административную ответственность за их незаконное использование.

Следующий этап предусматривает предоставление права использования элементов бренда региональным производителям. В отношении объектов интеллектуальной собственности заключается безвозмездный неисключительный лицензионный договор на срок от 3 до 5 лет с возможностью дальнейшего продления. Для использования официальной символики региона необходимо получение разрешения, которое также выдаётся безвозмездно на срок от 3 до 5 лет, по истечении которого возможно получение нового разрешения.

На пятом этапе орган, управляющий брендом, продвигает его посредством организации и (или) участия в выставках продукции региональных производителей и т.д.

Вместе с продвижением бренда на шестом этапе необходимо осуществлять контроль за его использованием. В случае, если были выявлены нарушения порядка и условий использования элементов бренда, то происходит расторжение лицензионного договора и (или) отзыв разрешения на использование официальных символов. Также, при наличии оснований, возможно привлечение нарушителя к ответственности, в частности к гражданской, административной.

Четвёртый, пятый и шестой этапы осуществляются не последовательно, а параллельно.

Предлагаемый механизм формирования регионального бренда субъекта РФ является оптимальным, так как его применение возможно на различных стадиях создания бренда и с учётом особенностей каждого региона.

Управление региональным брендом может осуществляться на основании следующих моделей.

1. Внутренняя – управление брендом осуществляется полностью органом, который имеет специалистов в сфере интеллектуальной собственности.

2. Внешняя – передача на аутсорсинг управления брендом организации, специализирующейся в этой сфере.

3. Смешанная – орган, осуществляющий управление брендом, выполняет текущие вопросы, а в экстраординарных ситуациях привлекаются специализированные организации, к примеру, для защиты интеллектуальных прав на объекты интеллектуальной собственности, составляющих региональный бренд. Данная модель является предпочтительной, так как позволяет снизить затраты, но при этом обеспечить эффективное управление брендом субъекта РФ.

Управление региональным брендом имеет следующие особенности, которые необходимо учитывать.

Орган, заключающий неисключительные лицензионные договоры с региональными производителями, при нарушении исключительного права на предоставленный объект интеллектуальных прав третьими лицами обязан осуществлять защиту данных прав. Также данный орган должен контролировать качество товаров региональных производителей, которым предоставлено право использования регионального бренда субъекта РФ. В то же время в управлении брендом помимо данного органа может принимать участие другой, если в субъекте РФ законодательно предусмотрено, что разрешение на использование официальной символики выдаёт определённое лицо.

В процессе исследования сделаны предложения по совершенствованию законодательства в сфере региональных брендов, а именно:

1. Изложить последний абзац пункта 1 статьи 54 ГК РФ в следующей редакции: «Нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации может быть установлен порядок использования в наименованиях юридических лиц официального наименования субъектов Российской Федерации, а также слов, производных от этого

наименования». Необходимость этого изменения связана с тем, что использование официального наименования региона регулируется субъектом РФ, но ГК РФ предусматривает возможность определения порядка использования только официального наименования, но не производных от него слов. Также были выявлена существующая практика использования производных слов от официального наименования юридическими лицами в своих наименованиях, например: ООО «Вологодское кружево»; ООО «Крымское»; ООО «Алтайская».

2. Дополнить пункт 4 статьи 1473 ГК РФ аналогичным абзацем в предложенной выше редакции для статьи 54 ГК РФ, но только применительно к фирменному наименованию юридического лица [5].

3. Нормативно определять в субъектах РФ порядок использования государственной символики и объектов интеллектуальных прав, составляющих региональный бренд.

4. Устанавливать административную ответственность в российских регионах за нарушение указанного порядка использования государственных символов субъекта РФ.

6. Привести положения закона Новгородской области от 24.12.2018 № 357-ОЗ, регулирующего бренд данного региона, в соответствии с законодательством Российской Федерации, а именно изложить пункт 3 статьи 3 в следующей редакции: «Региональный бренд – это зарегистрированные в установленном федеральным законом порядке товарный знак, знак обслуживания, наименование места происхождения товара, географическое указание, идентифицирующие Новгородскую область и отражающие неповторимые, оригинальные характеристики Новгородской области». Также по аналогии должны быть изложены понятия муниципального и территориального брендов, содержащихся в указанном законе [2].

Таким образом, сделанные в настоящей работе выводы и предложения возможно использовать при формировании регионального бренда субъекта РФ, а также совершенствовании законодательства в данной сфере.

Литература

1. Бренд // Словарь бизнес-терминов [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/business/19353/%D0%91%D0%A0%D0%95%D0%9D%D0%94> (дата обращения: 14.06.2021).
2. Светлорусов А.А. Региональный бренд: правовые аспекты создания в субъектах Российской Федерации // Сборник трудов VIII Конгресса молодых ученых. Том 6. СПб.: Университет ИТМО. 2019. 227 с. 152 – 154 С.
3. Светлорусов А.А. Правовое содержание регионального бренда // Альманах научных работ молодых учёных Университета ИТМО. Том 5. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 469 с. С. 312 – 315.
4. Гаврилов Е.В. О праве на деловую репутацию органов публичной власти и публично-правовых образований // Арбитражные споры. 2019. № 2. С. 67 – 88.
5. Антипов А.А., Светлорусов А.А. Официальное наименование субъекта Российской Федерации как часть регионального бренда // Экономика. Право. Инновации. 2020. №3. С. 30 – 36.

Свинцов Валерий Сергеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W42053,

направление подготовки: 16.04.03 – Техника и технологии

сжиженного природного газа,

e-mail: valery.svintsov@mail.ru

Прилуцкий Андрей Игоревич

Год рождения: 1959

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

д.т.н., доцент,

e-mail: 9232550@mail.ru

УДК 62-124.2

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ
ЭЛЕМЕНТОВ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ
КОМПРЕССОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО НАДЁЖНОСТИ
И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ**

В.С. Свинцов

Научный руководитель – д.т.н., доцент А.И. Прилуцкий

Аннотация

В работе проведён литературный анализ с целью выявления уязвимых элементов и наиболее частых причин отказа поршневого компрессора. С помощью программного обеспечения «komdet» проведено исследование, по оптимизации конструкции элементов цилиндропоршневой группы компрессора (ЦПГ), с целью повышения его надёжности и эффективности работы.

Ключевые слова

Поршневой компрессор, оптимизация, ленточные клапаны, дисковые клапаны, komdet, цилиндропоршневая группа компрессора.

Активное развитие различных отраслей производства, таких как нефтегазовая, металлургическая и химическая отрасли предъявляет высокие требования к показателям надёжности, эффективности и безопасности работы оборудования. Для повышения надёжности и эффективной работы машин объёмного действия, а так же снижения удельной металлоёмкости при создании машины, необходимо ещё на стадии проектирования уделить внимание оптимизации конструкции основных элементов компрессора.

Решение задач по оптимизации конструкции ряда узлов деталей и параметров работы компрессоров в условиях конструкторских бюро, институтов и действующих производств, возможно, реализовать с помощью модернизированной программы расчёта машин объёмного действия «komdet». Данное программное обеспечение предназначено для проектирования машин объёмного действия, а так же для анализа процессов протекающих в них. С помощью данного программного обеспечения, возможно проводить углубленный анализ работы машин объёмного действия при различных режимах работы и различными рабочими агентами. В совокупности все эти входные параметры позволяют осуществлять поиск оптимальных конструкторских решений с

возможностью прогнозирования уровня надежности и эффективности работы компрессоров на стадии проектирования.

Прикладное программное обеспечение «komdet» разработано на кафедре криогенной техники и технологий СПГ Университета ИТМО. Данное программное обеспечение в настоящее время используется рядом предприятий, занимающихся конструированием и производством компрессорного и расширительного оборудования.

Различные отрасли промышленности, всё чаще сталкиваются с проблемами отказа оборудования и как следствие аварий на производствах. Данный факт, требует не только возможности увеличения эффективности, надежности и безопасности, но и возможности достоверного прогнозирования работоспособности и контроля технического состояния этого оборудования. Анализ причин отказа поршневых компрессоров (ПК) показал, что наиболее распространённой причиной является перегрузка, возникающая в результате изменяющихся физико-химических свойств перекачиваемого агента, а так же его загрязнения и насыщения влагой [2]. Согласно данным работы [1] 70-90% поломок поршневых компрессоров главным образом связаны с поломками пластин клапанов. Согласно данным компании DRESSER-RAND, которая занимается проектированием, производством и анализом неисправностей поршневых компрессоров, наиболее частой причиной отказа является отказ клапанов и узлов и деталей ЦПГ [2]. Результаты статистики одного из нефтеперерабатывающих заводов России совпадают с результатами иностранных коллег, так же указывая на неисправности связанные с клапанами и ЦПГ поршневых компрессоров [3]. Статистический анализ отказов по типам узлов, механизмов, деталей поршневых компрессоров приведён в табл. 1.

Таблица 1

Статистический анализ отказов по типам узлов, механизмов, деталей ПК

Узлы, механизмы, детали	Процент отказов	
	Данные работы [2]	Данные работы [3]
Клапаны	36	36,4
Цилиндропоршневая группа		
Сальники	17,8	17,5
Кольца	13,9	25,8
Прочие	Данные отсутствуют	5,0
Кривошипно-шатунный механизм	32,3	3,8
Кривошипно-ползунный механизм		4,0
Другие причины		7,5

Основной задачей исследования является анализ полученных данных, выявление критических параметров и оптимизация элементов конструкции цилиндропоршневой группы компрессора. Первым шагом исследования является определение основных конструктивных параметров компрессора по методике инженерного расчёта [4]. Результаты инженерного расчёта представлены в табл. 2 и рис. 1, 2. По полученным данным в программном обеспечении «komdet» проведены моделирование работы и расчёт основных показателей работы поршневого компрессора, при условиях его работы с идеальными свойствами газа. Результат расчётов работы поршневого компрессора, полученный от программного обеспечения «komdet» представлены в табл. 3.

Статистический анализ отказов по типам узлов, механизмов, деталей ПК

Параметр	Значение
Рабочий агент	Шахтный газ
Номинальный расход, м ³ /мин	250
База компрессора	Опозитная М160-4
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	370
Давление газа на всасывании, МПа	0,2
Давление газа на нагнетании, МПа	1,4
Температура газа на всасывании, К	293
Ход поршня, мм	340
Диаметр поршня 1-й ступени/2-й ступени, мм	680/410
Тип клапана	ЛУ-250

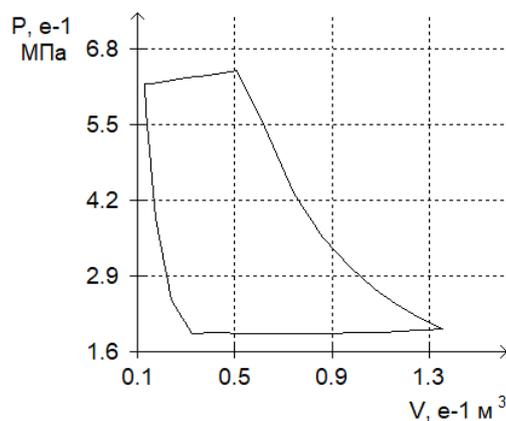


Рис. 1. P-V диаграмма работы 1 ступени прямого действия

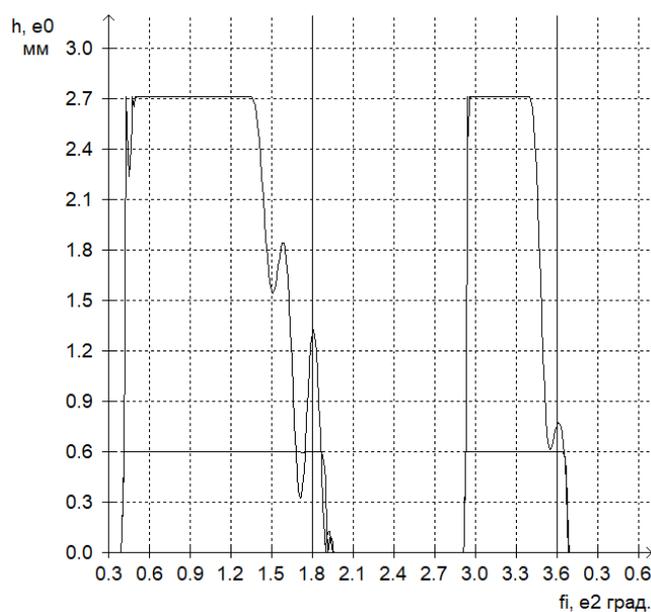


Рис. 2. Диаграмма динамики перемещения пластин клапанов 1 ступени прямого действия

Результаты расчётов программного обеспечения «komdet» работы компрессора

Ступень компрессора	\bar{m} , кг/ч	V_{ec} , м3/мин	К	T_{max} , К	P, %		f	V_{max} , м/с	
					V_{sac}	V_{sac}		СД	ОГ
1 ст. прямого действия	4423	77,3	0,857	379,8	2,6	2,3	3	0,9	5,1
1 ст. обратного действия	4432	77,45	0,837	379,4	2,5	2,3	3	0,3	5,0
2 ст. прямого действия	4887	85,41	0,902	375,7	2,3	2,3	2	0,9	5,4
2 ст. обратного действия	4623	80,79	0,897	375,7	2,1	1,9	2	0,4	5,1

Результаты расчёта свидетельствуют о неудовлетворительной работе компрессора и необходимости внесения корректировок в параметры ЦПГ и клапанов компрессора. Массовый расход (\bar{m}) на первой и второй ступенях компрессора отличается, что говорит о неправильно выбранном промежуточном давлении. Значение объёмного расхода (V_{ec}) значительно превышает требуемый расход ТЗ, что говорит о неоправданных затратах энергии. Коэффициент подачи (К), с учётом того, что его рекомендуемые значения лежат диапазоне 0,72-0,85, находится на очень хорошем уровне. Максимальные температурные значения газа (T_{max}) не превышают рекомендуемых 433-ти °К. Значение суммарных потерь мощности (P) при нагнетании ниже рекомендованных 7-10% (max 12%), что свидетельствует об избытке проходного сечения. Скорости соударения пластины (V_{max}) об ограничитель и седло находятся в приемлемых значениях. Динамика перемещения пластин (f) клапанов неудовлетворительная. Крайние точки пластин движутся без колебаний, а центральная точка пластин сильно колеблется. Такая нестабильная динамика не сильно сказывается на параметрах работы компрессора, но значительно снижает срок службы клапана, что оказывает влияние на надёжность и безопасность работы компрессора в целом.

Для решения проблемы с превышением производительности в ходе исследования были снижены диаметры цилиндров компрессора. Диаметр цилиндра первой ступени снизился с 680-ти мм до 630-ти мм, диаметр цилиндра второй ступени с 410-ти мм до 365-ти мм. Проблема разницы расходов на ступенях была решена за счёт снижения промежуточного давления первой и второй ступеней компрессора с 0,617-ти МПа до 0,601 МПа.

Для решения проблемы избытка проходного сечения клапанов количество клапанов было снижено до 4-х всасывающих и 4-х нагнетательных. Проблема неудовлетворительной динамики перемещения пластин клапана, в ходе исследования была решена за счёт замены модели клапанов на ЛУ-165, и внесения корректировки в конструкцию клапанов. Толщина пластины ленточного клапана снизилась с 0,8-ми мм до 0,6-ти мм, высота подъёма центральной точки пластины увеличилась с 2,7-ми мм до 2,77-ми мм. Такой ряд внесённых изменений позволил добиться результатов работы клапана, удовлетворяющих рекомендованным значениям.

Опыт эксплуатации ленточных клапанов выявил в них недостаток, который заключается в неудовлетворительной работе клапанов с рабочим агентом, содержащим механические примеси и капельную влагу. Поэтому в ходе исследований была произведена замена типа клапанов с ленточных на дисковые. Для 1-й ступени компрессора были применены дисковые клапана модели ДТ-270, для 2-й ступени

клапана модели ДТ-250. Т.к. суммарные потери мощности в дисковых клапанах превышали максимально рекомендованное значение, их конструкция входе исследования была подвергнута изменениям. Для модели ДТ-270 жёсткость пружины снизилась с 1750-ти Н*м до 650Н*м, ДТ-250 высота подъёма диска снизилась с 1,0-го мм до 0,7-ми мм.

В результате внесённых изменений, удалось добиться приемлимых результатов работы поршневого компрессора, удовлетворяющих всем рекомендуемым значениям показателей работы компрессора. Окончательным шагом исследований является моделирование и расчёт параметров работы поршневого компрессора с реальными свойствами рабочего агента. Результаты работы компрессора с реальными свойствами рабочего агента представлены в табл. 4 и рис. 3, 4.

Таблица 4

**Результаты расчётов программного обеспечения «komdet»
работы улучшенного компрессора с реальными свойствами рабочей среды**

Ступень компрессора	\bar{m} , кг/ч	$V_{вс}$, м3/мин	К	Tmax, К	P, %		f	Vmax, м/с	
					Всac	Наг		СД	ОГ
1 ст. прямого действия	3792	66,19	0,854	400,9	6,0	5,9	5	0,5	1,9
1 ст. обратного действия	3747	64,40	0,858	399,3	6,3	4,7	5	0,5	1,9
2 ст. прямого действия	3752	65,49	0,893	397,2	5,7	5,9	4	0,8	2,0
2 ст. обратного действия	3567	62,27	0,891	393,8	5,2	4,6	5	0,5	1,9

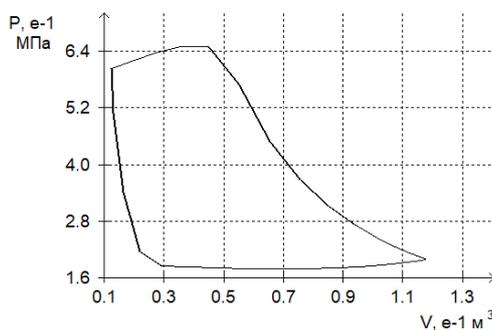


Рис. 3. P-V диаграмма работы 1 ступени прямого действия. Реальные свойства газа

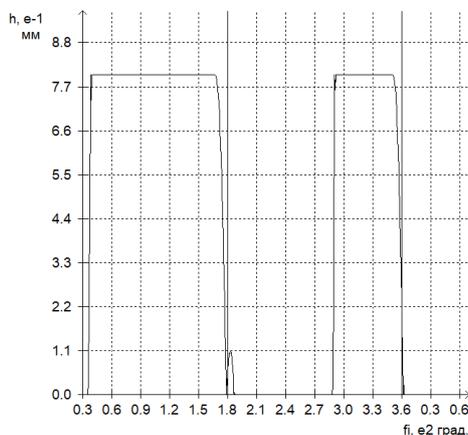


Рис. 4. Диаграмма динамики перемещения пластин клапанов 1 ступени прямого действия. Реальные свойства газа

В результате комплекса проведённых исследований, был разработан компрессор, в котором подобранные технические характеристики ЦПГ и клапанов компрессора, обеспечивают хорошую работоспособность компрессора, удовлетворяющую основным техническим требованиям. Что в свою очередь обеспечит надёжную, эффективную и безопасную работу компрессора.

В рамках исследовательской работы, был проведён литературный анализ, в рамках которого были выявлены основные причины отказов поршневых компрессоров в ходе их эксплуатации. Проведен расчет поршневого компрессора по инженерной методике и в программном обеспечении «komdet». С помощью инженерного расчёта были рассчитаны основные технические характеристики поршневого компрессора и его показатели работы. С помощью программного обеспечения «komdet» была произведена проверка инженерного расчёта и проведена исследовательская работа по анализу показателей работы поршневого компрессора и корректировке основных узлов его элементов, а именно его ЦПГ и клапанов (без изменения рабочего агента и его физико-химических свойств).

В дальнейшей работе планируется проведение исследований работы компрессора с меняющимися физико-химическими свойствами сжимаемой смеси и другими рабочими агентами.

Литература

1. Костюков В.Н., Науменко А.П., Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 2008. №3. С. 21-28.
2. Leonard S.M. Increasing the reliability of reciprocating compressors on hydrogen services / National Petroleum refiners association Maintenance Conference. New Orleans, LA, 1997.
3. Науменко А.П. Современные методы и средства real-time мониторинга технического состояния поршневых машин // Компрессорная техника и пневматика. 2010. №8. С. 27-34.
4. Пеньков М.М., Прилуцкий И.К., Прилуцкий А.И. «Основы расчёта и оптимального проектирования поршневых компрессоров и детандеров на унифицированных базах». СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. 2020. 304 с.

Серикова Екатерина Александровна

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
студент группы №Т42132,
направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,
e-mail: sea_97@list.ru

Кременевская Марианна Игоревна

Год рождения: 1961
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
д.т.н., доцент,
e-mail: mikremenevskaja@itmo.ru

УДК 615.322

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ COVID-19**

Е.А. Серикова

Научный руководитель – д.т.н., доцент М.И. Кременевская

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование биологически активных соединений из растительного сырья и лекарственных препаратов в качестве потенциальных ингибиторов Covid-19».

Аннотация

В работе рассмотрены 35 фитохимических компонентов в качестве потенциальных ингибиторов основной протеазы коронавируса. Был проведен молекулярный докинг компонентов с протеазой с целью выявления компонентов, обладающих наибольшей энергией связывания. Для выбора потенциального ингибитора все фитохимические компоненты были проанализированы по ADMET характеристикам и параметрам сходства с лекарственными препаратами.

Ключевые слова

SARS-CoV-2, основная протеаза коронавируса, SARS-CoV-2, фитохимические компоненты, антибиотики, молекулярный докинг, ADMET предсказание.

В декабре 2019 года вспышка нового штамма коронавируса, получившего название коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома 2 (SARS-CoV-2), возникла в континентальном китайском регионе Ухань и быстро распространилась по всей стране [1]. По данным ВОЗ [2], к 15 декабря 2020 года было зарегистрировано более 1,62 миллиона случаев заболевания со смертельным исходом из более чем 72,8 миллиона случаев среди зарегистрированных случаев заболевания. Вирусный патогенез вызывает несколько симптомов, таких как насморк, кашель, лихорадка, боль в горле и, в конечном счете, дыхательная недостаточность.

В настоящее время не существует такой терапии, которая бы обладала лечебной эффективностью против коронавирусной инфекции, а также не вызывала бы в последствии негативных побочных эффектов [3].

Сложный вирус способен быстро мутировать свою одноцепочечную РНК [4], поэтому необходимо рассмотреть натуральные вещества, которые окажут эффективное профилактическое действие.

Настоящее исследование было проведено с целью выявления противовирусной активности в отношении главной протеазы коронавируса компонентов, выделенных из 35 различных растительных компонентов с использованием подходов *in silico*.

Материалы и методы. Для исследования были рассмотрены растительные соединения, выделенные из коры, листьев и корней различных растений, метаболиты, обнаруженные в злаках, а также соединения фруктов, овощей и семян, обладающих антиоксидантными, противовоспалительными и противовирусными свойствами.

Молекулярный докинг – алгоритм, служащий для генерирования всех возможных вариантов помещения малой молекулы внутрь протеина и нахождения энергетически оптимального положения этого лиганда внутри протеина. Молекулярный докинг был проведен с помощью программного обеспечения UCSF Chimera. 3D-структура (PDB ID: 6LU7) в pdb формате главной протеазы SARS-CoV-2 была загружена с сайта Protein Data Bank (<https://www.rcsb.org>) и отделена от ингибитора N3 с помощью UCSF Chimera. Структуры растительных компонентов были загружены с базы данных PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>) в формате mol2.

Все растительные компоненты были также проанализированы с помощью ADMET прогнозирования. ADMET – аббревиатура в фармакокинетике и фармакологии для обозначения свойств, связанных с абсорбцией, распределением, метаболизмом, выделением и токсичностью. Эти характеристики позволяют оценить воздействие соединений на организм человека. Они влияют на кинетику воздействия лекарственного вещества на ткани и, следовательно, влияют на эффективность и фармакологическую активность соединения. Для проведения ADMET прогнозирования химическая номенклатура SMILES была загружена на сервер SwissADME (<http://www.swissadme.ch>).

Результаты и обсуждение. Предпочтительными при анализе были те молекулы, значение стыкования которых было наименьшим, поскольку оно указывает на большую стабильность связывания. По результатам молекулярного докинга все рассматриваемые растительные компоненты имели эффективное связывающее взаимодействие с основной протеазой коронавируса. Наилучшее взаимодействие было выявлено у Гиперицина с полученным значением дельта G, равным -9.6 ккал/моль. Кроме того, значение энергии связывания меньше -8.0 ккал/моль было установлено у таких компонентов, как Мирицитрин, (2S)-Эриодиктиол 7-O-(6"-O-галлоил)-β-D-гликопиранозид, Кальцеоляриозид В, Мирицетин 3-O-β-D-гликопиранозид и Эпикатехин галлат.

На рисунке показан результат взаимодействия основной протеазы COVID-19 с Гиперицином с полученным значением дельта G, равным -9.6 ккал/моль.

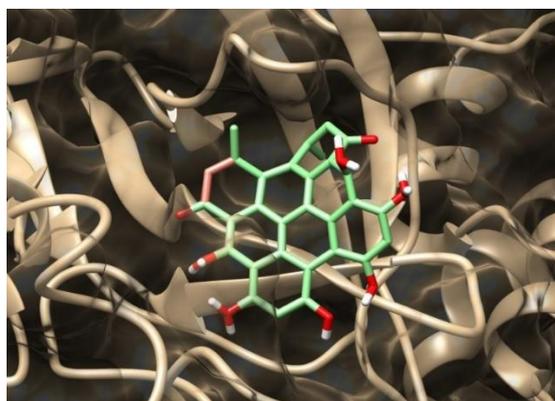


Рисунок. Результат взаимодействия основной протеазы коронавируса с Гиперицином

В таблице представлены растительные компоненты, показавшие наибольшую энергию связывания с основной протеазой COVID-19 (Mpro).

Таблица

Результаты молекулярного докинга растительных компонентов, показавших наилучшую энергию связывания с главной протеазой коронавируса

Название компонента	Энергия связывания (дельта G) (ккал/моль)
Гиперицин	-9.6
Мирицитрин	-9.3
(2S)-Эриодиктиол 7-O-(6"-O-галлоил)-β-D-гликопиранозид	-8.5
Кальцеоляриозид В	-8.5
Мирицетин 3-O-β-D-гликопиранозид	-9.3
Эпикатехин галлат	-9.3

Гиперицин – это производное антрахинона, является одним из основных действующих компонентов зверобоя. Обладает антидепрессантной, потенциальной противовирусной, противоопухолевой и иммуностимулирующей активностью. Он показал самое высокое значение стыкования (-9,6 ккал/моль) с основной протеазой коронавируса среди всех фитохимических веществ.

Флавоноид Мирицитрин содержится в овощах, фруктах, орехах, ягодах, травах, растениях, чае, вине и лекарственных растениях. Мирицитрин – это ингибитор оксида азота (NO) и протеинкиназы C (PKC), который обладает активностью центральной нервной системы, включая анксиолитическое действие, состыкован с мишенью со значением энергии связывания равной -9.4 ккал/моль.

Мирицитрин 3-O-β-D-гликопиранозид – это соединение с химиотерапевтическими, химиопрофилактическими и антиангиогенными свойствами, природный растительный метаболит, обнаруженный в таких пищевых продуктах, как черная смородина, виноград, черника и чай, состыкован с мишенью со значением стыкования -9,3 ккал/моль.

Эпикатехин-галлат – флавоноид, присутствующий в заваренных черном и зеленом чаях, а также вишне и клубнике, ингибирует рост раковых клеток и оказывает противовоспалительное действие. Его энергия связывания с главной протеазой коронавируса составила -9.3 ккал/моль.

(2S)-Эриодиктиол 7-O-(6"-O-галлоил)-β-D-гликопиранозид, флавоноид, относящийся к конденсированным дубильным веществам, выделенный из листьев мелколистого клена, отличающийся антиоксидантной активностью, обладает эффективностью связывания с мишенью со значением стыкования -8,5 ккал/моль.

Кальцеоляриозид В – натуральный продукт, обнаруженный в *Lepisorus contortus*, стыкуется с протеазой со значением энергии связывания -8,5 ккал/моль.

Учитывая результаты, полученные в ходе молекулярных докинговых исследований, компоненты растительных веществ Мирицитрин, (2S)-Эриодиктиол 7-O-(6"-O-галлоил)-β-D-гликопиранозид, Кальцеоляриозид В, Мирицетин 3-O-β-D-гликопиранозид, Гиперицин и Эпикатехин-галлат могут быть рассмотрены для профилактики COVID-19. Эти фитохимические вещества показали сопоставимую эффективность ингибирования основной протеазы коронавируса по сравнению с другими рассматриваемыми фитохимическими веществами. Однако, из правила пяти Липински можно сделать вывод, что ни одно из вышеперечисленных фитохимических

веществ не обладает свойствами, делающими его перорально активным лекарственным средством. Мирицитрин, Кальцеоляриозид В и Мирицетин 3-О-β-D-глюкопиранозид имеют число акцепторов Н-связи, равное 12, 11 и 13 соответственно, что выше приемлемых 10.

Молекулярная масса (2S)-Эриодиктиола 7-О-(6"-О-галлоил)-β-D-глюкопиранозид не ниже 500 г/моль и равна 602,50 г/моль, что также выходит из правил пяти Липински. Молекулярная масса Гиперицина равна 504,44 г/моль, что несколько выше допустимого. Эпикатехин-галлат показал значение топологической полярной площади поверхности, равное 177,14 Å², что выходит из допустимого диапазона 20-140 Å². Большинство других фитохимических веществ: Метил розмаринат, 5,7,3',4'-Тетрагидрокси-2'-(3,3-диметилаллил) изофлавоноид, Берберин, Кофеин, Капсаицин, Эмбеллин, Эмодин, Лютеолин, Сангвинарин, Дигитоксигенин, β-эвдесмол, Кемпферол, Нарингенин, Куркумин, Зингерол, Гингерол, Аллицин, Ресвератрол, Птеростильбен, Пиносильвин и Пицеатаннол следовали правилу Липински о пяти. Результат молекулярного докинга показал, что значения энергии связывания этих компонентов находилось в промежутке от -3.6 ккал/моль до -8.3 ккал/моль, где наихудшую энергию связывания с главной протеазой коронавируса показал Аллицин, а наилучшую Сангвинарин.

Исследование липофильности показало, что значения Log Po/w (Согласованность Log Po/w) Госсипола и Оксиакантина выходят за допустимые 5 и равны 5.04 и 5.12, соответственно. Мирицитрин, Мирицетин 3-О-β-D-глюкопиранозид, Амарантин и Кроцин имеют отрицательные значения липофильности, что является неблагоприятным.

Исходя из исследования на лекарственное сходство, такие молекулы, как 5,7,3',4'-Тетрагидрокси-2'-(3,3-диметилаллил) изофлавоноид, Ликолеафол, Берберин, Капсаицин, Эмодин, Лютеолин, Сангвинарин, Дигитоксигенин, Кемпферол, Кверцетин, Нарингенин, Катехин, Куркумин, Гингерол, Ресвератрол, Птеростильбен, Пиносильвин и Пицеатаннол имеют значение показателя биодоступности 0.55, что означает, что эти молекулы теоретически обладают идеальной пероральной биодоступностью.

Результаты настоящего исследования показывают, что продукты, содержащие 15 природных соединений: 5,7,3',4'-Тетрагидрокси-2'-(3,3-диметилаллил) изофлавоноид, Берберин, Капсаицин, Эмодин, Лютеолин, Сангвинарин, Дигитоксигенин, Кемпферол, Нарингенин, Куркумин, Гингерол, Ресвератрол, Птеростильбен, Пиносильвин и Пицеатаннол могут рассматриваться в качестве профилактической меры для уменьшения или предотвращения последствий COVID-19. В период вирусной активности можно рекомендовать употреблять в пищу данные соединения, которые содержатся в таких продуктах как дикорастущие ягоды с ярко выраженным содержанием антоцианов, в том числе брусника и облепиха; пряные травы, в том числе базилик; продукты семейства яснотковые, овощи и фрукты. Данные соединения можно использовать в качестве натуральных диетических добавок для профилактики заболевания. Необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы проверить эффективность и безопасность этих соединений для профилактики COVID-19.

Литература

1. Calligari P., Bobone S., Ricci G., Vocedi A. Molecular Investigation of SARS-CoV-2 Proteins and Their Interactions with Antiviral Drugs // *Viruses*. 2020. V. 12(4). P. 445.
2. World Health Organization [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/>.
3. Centers for Disease Control and Prevention [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cdc.gov/> (дата обращения 21.05.2021).

4. Jiang Y., Yin W., Xu H.E., «RNA-dependent RNA polymerase: Structure, mechanism, and drug discovery for COVID-19» // Biochemical and Biophysical Research Communications. 2020. P. 47 – 53.

Сийки Олави Олегович

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U42711,

направление подготовки: 27.04.05 – Инновационное предпринимательство,

e-mail: olavi.itmo@gmail.com

Лев Сергеевич Логунов

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

физико-технический факультет,

к.х.н., м.н.с.,

e-mail: lev.logunov@metalab.ifmo.ru

**БИЗНЕС-ТЕЗИС «WARMR»: ПРОИЗВОДСТВО
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕКСТИЛЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

О.О. Сийки

Научный руководитель – к.х.н., м.н.с. Л.С. Логунов

Аннотация

Индустрия легкой промышленности является одной из крупнейших в мировой экономике, объем этого рынка составляет 1,4 трлн долларов. Сегодня эта индустрия нуждается в современных технологиях и инновационных решениях: четвертая технологическая революция приведет к значительным структурным изменениям в экономике, промышленности и смене потребительских предпочтений и привычек. Инновации становятся ключевыми областями стратегических интересов компаний, которые стремятся занять лидирующее положение на рынке.

Описанная система подогрева представляет собой комплексное устройство, состоящее из микрокомпьютера аккумулятора и припкоретарное решения нагревательных элементов. В основе технологии создания одежды и девайсов лежит нанесение на текстиль пасты, состоящей из мелкодисперсного графита и углеродных нанотрубок в определенной пропорции, что позволяет создать эластичную пасту с положительным коэффициентом сопротивления и тем самым исключить возможность перегрева, а также решить проблему с локальным «недогревом» в определенных участках пленки.

Рынок гибкой электроники в целом и электронного текстиля в частности является одним из самых быстрорастущих в мире, что подтверждает актуальность технологии. Технология подогрева на основе технологии печатной электроники имеет все шансы реализоваться не только на российском рынке, но и на международном.

Ключевые слова

Разработка электродного текстиля, гибкая электроника, умная одежда.

Печатная электроника отличается миниатюризацией микросхем путём создания электронных схем при помощи печатного оборудования, которое даёт проводящие ток, полупроводниковые, резистивные и т.п.) [1, 2]. Это означает, что электроника становится незаметной, удобной и возможной к применению дополнительно в тех устройствах, где ранее это было невозможно [3]. Печатная электроника, с одной стороны, экономит средства на материалы, а с другой теряет конкурентоспособность по вычислительной мощности, впрочем, для отдельных разработок это не столь значимо, технология активно продвигается там, где не нужна большая вычислительная мощность электронных схем

(следовательно и снижение энергопотребления и места для энергонакопителей), например это E-текстиль базового уровня, который следит за основными параметрами жизнедеятельности, синхронизируется для этого с гаджетами или просто обеспечивает температурную регуляцию ткани, путём контроля встроенных нагревательных элементов [1]. Описание нанотехнологий, разрабатываемых или используемых в ходе реализации проекта, их места и роли в технологической (производственной) цепочке. Для обеспечения необходимого сопротивления эластичной нагревающей пасты, а также исключения возможности перегрева и решения проблемы с локальным «недогревом» в определенных участках пленки необходимо внедрение в состав углеродных нанотрубок (диаметром 24 нм) совместно с мелкодисперсным графитом (70 – 80 нм). Нанотрубки представляют собой протяженные цилиндрические структуры углерода, которые могут иметь длину до нескольких сантиметров и диаметр от одного до нескольких десятков нанометров. Анализ экспериментальных данных показывает, что добавление в полимерную матрицу углеродных нанотрубок приводит к непропорциональному увеличению электропроводности полученного композиционного материала. В результате добавления присадки УНТ в количестве около 0,1% проводимость композита может возрасти на 8-10 порядков, что переводит материал из класса диэлектриков в класс проводников. Такой переход имеет перколяционную природу, в соответствии с которой при превышении определенной концентрации нанотрубки в полимерной матрице образуются проводящие пути, обеспечивающие перенос заряда, что изображено на рис. 1.

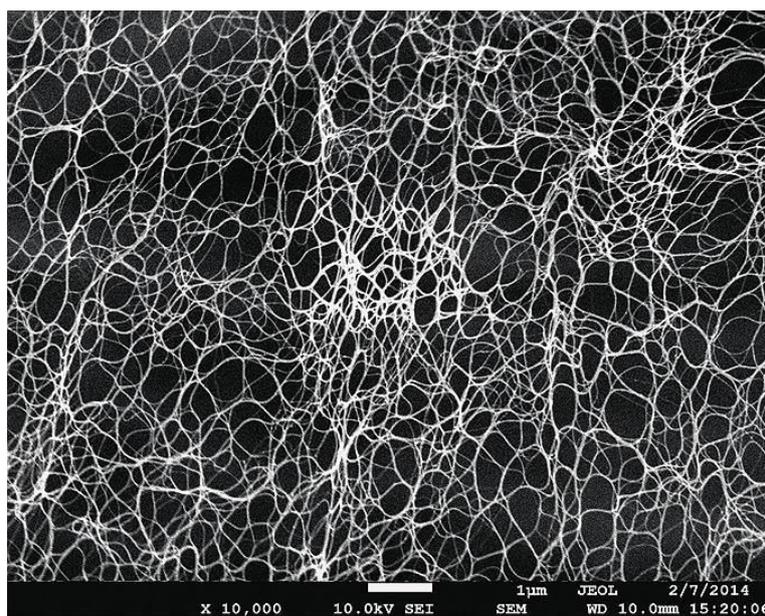


Рисунок. Перколяционная решетка, образованная углеродными нанотрубками

Анализируя данные исследований, различных научных групп, можно заключить, что на свойства итогового композиционного материала сильно влияют методы подготовки и введения УНТ в полимер. Дезагрегация УНТ приводит к значительно более высокой электропроводности композита. Кроме того, добавка углеродных нанотрубок приводит к повышенной стабильности материала по отношению к термической деградации. Продукт проекта – электроподогревающие тканевые элементы на основе карбоновой растягиваемой пасты. Благодаря использованию в составе эластичной растягиваемой пасты углеродных нанотрубок (комбинации углеродные нанотрубки – мелкодисперсный графит) будет разработана паста с положительным температурным коэффициентом сопротивления, что исключает возможность перегрева без потери

эластичности. Также данное решение позволит решить проблему с локальным «недогревом» в определенных участках пленки.

Параметры разрабатываемой эластичной нагревательной пасты:

- процентное содержание нанотрубок в пасте – 5%;
- толщина пленки – от 500 нм до 100 мкм;
- вязкость пасты – 25 Па*с;
- эл. сопротивление спеченного слоя: 0,1 Ом/кв;
- температурный коэффициент сопротивления – положительный;
- температурная стабильность электрических параметров: до 150° С;
- возможность нанесения на текстиль и неопрен – Да;
- способ нанесения: трафаретная печать.

Особенности:

- карбоносодержащая ткань, преобразующая подаваемое напряжение в инфракрасное излучение;
- материалом подложки служит ткань, то есть элемент обладает не только гибкостью, но и механической стойкостью к растяжению;
- структура нагревательного элемента позволяет «дышать», что является необходимым балансом между производимым и отдаваемым теплом;
- ИК излучение безопасно для человека (длина волны ИК равна излучению самого человека).

В конкурирующих технологиях нагревательные элементы на основе паст без нанотехнологических решений неэластичны и их параметры сильно зависят от температуры, к тому же их использование является менее безопасным.

Литература

1. Артемьев Н.В. Современные тенденции развития малого бизнеса России // Вопр. регион. экономики. 2015. No 2 (23). С. 3–14.
2. Васильева Т.С. Влияние новых технологий на формирование в дизайне одежды: на примере светодизайна костюма: диссертация ... кандидата искусствоведения: 17.00.06 / Васильева Татьяна Сергеевна; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед. ин-т техн. эстетики]. Москва. 2011. 193 с.
3. фищенко А.А. Технология изготовления гибко-жестких печатных плат с электронными компонентами на гибкой части // Биомедицинская инженерия и электроника. 2017. No 4.

Синько Михаил Витальевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42211,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: michael.v.sinko@gmail.com

Билый Андрей Михайлович

Год рождения: 1974

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.м.н., доцент (доцент практики),

e-mail: bilyi_andrei@mail.ru

УДК 004.93'12, 004.032.26

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ БАЗОВЫХ
ВООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ РУК ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА ЕГО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ**

М.В. Синько

Научный руководитель – к.м.н, доцент А.М. Билый

Аннотация

В работе предложен подход к подготовке испытуемого к совершению воображаемых движений и поддержанию его фокуса на выполнении данных движений, так как испытуемому без двигательных нарушений сложно представлять случайные воображаемые движения, а качество собранных данных влияет на итоговую точность модели классификации таких движений. Также в работе предлагается модель для моделирования и классификации траекторий воображаемых движений по мозговой активности для улучшения точности классификации воображаемых движений.

Ключевые слова

Воображаемые движения, интерфейс «мозг-компьютер», электроэнцефалограмма, моделирование траекторий движений, классификация траекторий, нейронные сети, метод сбора данных.

Развитие технологий и медицины, а также большое количество исследований в области анализа мозговой активности человека, привело к развитию интерфейса «мозг-компьютер» и большому интересу к данной технологии. Исследования в данной области направлены на установление беспрепятственной связи между человеком и электронным устройством, которая основана на информации, закодированной в нейронных сигналах мозга. Одной из рассматриваемых задач в данном домене является задача определения осуществляемых человеком движений по его мозговой активности. Развитием данной задачи стала задача предсказания предстоящего или воображаемого движения человека по его мозговой активности до непосредственного совершения самого движения. Решающие данную задачу разработчики зарекомендовали себя как многообещающие для реабилитации субъектов с двигательными нарушениями и развития физической или когнитивной работоспособности человека [1]. Несмотря на то, что связанных с анализом воображаемых движений исследований достаточно много – многие из них направлены на анализ движений относительно двумерного пространства, двух ортогональных двумерных плоскостей или не анализируют движения относительно пространства. На

данный момент существует только одна работа, которая рассматривает движения относительно реального трехмерного пространства [2]. Авторы в своей работе предлагают моделировать траектории воображаемых движений для повышения точности классической модели классификации воображаемых движений, однако им не удалось добиться положительных результатов. Кроме того, авторы предлагают испытуемым без каких-либо двигательных нарушений совершать воображаемые движения без какой-либо подготовки, причем тип каждого следующего движения выбирается случайным образом, и испытуемый узнает о нем непосредственно перед его выполнением, что достаточно сложно. В связи с этим, целью научно-исследовательской работы стояло повысить эффективность модели классификации базовых воображаемых движений рук человека в трехмерном пространстве с использованием электроэнцефалограммы. Основными задачами ставились разработка процедуры сбора данных с акцентом на подготовку испытуемого и поддержку его фокуса на выполнении воображаемых движений и разработку модели для моделирования и классификации траекторий воображаемых движений рук человека по его электроэнцефалограмме, а также проведение экспериментов для оценки эффективности предлагаемых решений.

Необходимо было оценить, на сколько описанные проблемы при сборе данных действительно влияют на итоговую точность классификации воображаемых движений. Для этого был проведен ряд экспериментов на четырех испытуемых, запись с каждого из которых производилось в три различных дня для достоверности. Сбор данных осуществлялся с электродов C3, Cz, C4, CP5, CP1, CP2, CP6, P3, P4, FC5, FC1, FC2, FC5, F3, Fz, F4 и производился анализ в диапазонах мю, бета и низких гамма частот, так как исследования показали, что именно с данных электродов и в указанных частотах можно получить полезный для данной задачи сигнал [3, 4].

В первом эксперименте испытуемым предлагалось выполнять 15 реальных движений одного типа – тем самым подготовиться к выполнению воображаемых, после чего – 15 воображаемых такого же типа. Всего в процессе одного дня сбора данных испытуемым предлагалось осуществить описанную совокупность движений для пяти различных типов движений: подъем руки вбок до горизонтального положения, вбок до вертикального положения, вперед до горизонтального положения, по диагонали вверх, по диагонали вниз. На собранных данных была обучена FBCSP модель и оценена точность классификации воображаемых движений для каждого порядкового номера движения, т. е. точность первого, второго и т. д. движений в последовательности. По результатам был построен график зависимости усредненной ошибки классификации от порядкового номера движения, представленный на рис. 1 слева, по которому можно видеть, что процент ошибки начинает увеличиваться, начиная от 10-12-ого движений, что действительно может говорить о потере фокуса у испытуемых.

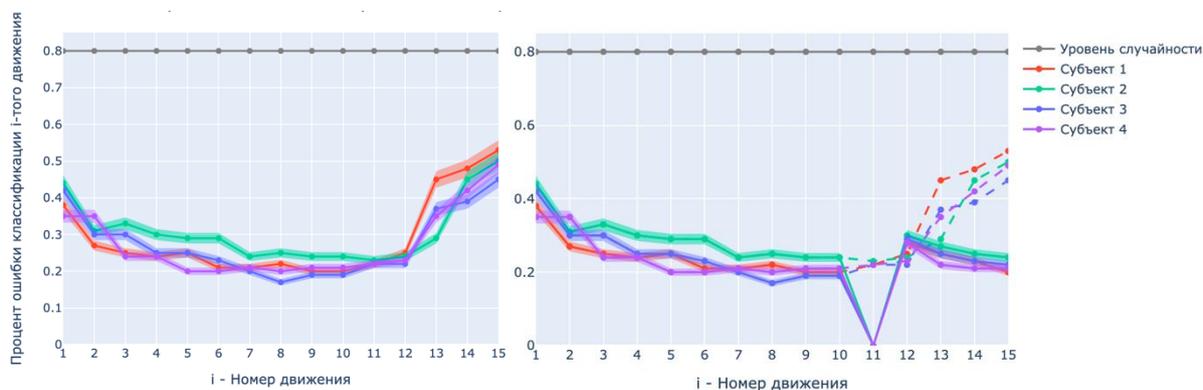


Рис. 1. Зависимость процента ошибки модели от порядкового номера движения

Для решения данной проблемы в работе предлагается внедрить совершение реальный движений в цепочку воображаемых. Для оценки эффективности данного подхода был проведен аналогичный эксперимент, за исключением того, что 11-тым движением в ряде воображаемых движений испытуемые совершали реальное движение такого же типа. Результаты эксперимента представлено на рис. 1 справа. По результатам можно видеть, что небольшие потери в точности все равно присутствуют, однако далее процент ошибки остается на том же уровне, а не продолжает увеличиваться.

Во многих исследованиях показывается эффективность сбора данных с обратной связью и осуществляется сбор данных только с ней, однако эксперимент показал, что такой подход делает модель не устойчивой к отсутствию обратной связи. Для проведения эксперимента было обучено три модели: на данных, собранных без обратной связи, со зрительной обратной связью и на комбинированном наборе данных, полученном как половина из каждого из предыдущих двух. Эксперимент показал, что обученная на комбинированном наборе данных модель сохраняет точность на обоих наборах данных, более того, такая модель имеет большую точность на данных без обратной связи, что может быть обусловлено тем, что модель начинает находить зависимости между обоими наборами данных и использовать зависимости, найденные в данных с обратной связью, для данных без нее. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

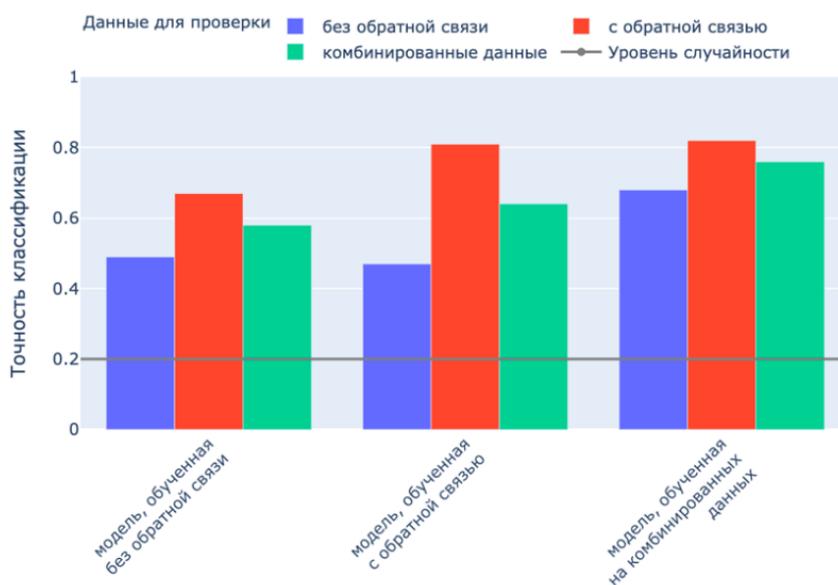


Рис. 2. Сравнение точности модели в зависимости от обучающего набора данных

Помимо внедрения реальных движений в цепочку воображаемых и комбинирования сбора данных с обратной связью и без нее, в данной работе предлагается группировать движения одного типа, а не выбирать каждое следующее движение случайным образом. Полная схема предлагаемого метода сбора данных показана на рис. 3.

Предлагается группировать движения одного типа и выполнять ряд реальных движений одного типа для подготовки испытуемого, после чего – совершать воображаемые движения этого же типа, при этом внедрять совершение реальных движений в цепочку воображаемых для поддержки фокуса испытуемого на выполнении воображаемых движений данного типа, а также комбинировать выполнение движений с обратной связью и без нее для повышения устойчивости модели к обоим типам данных.

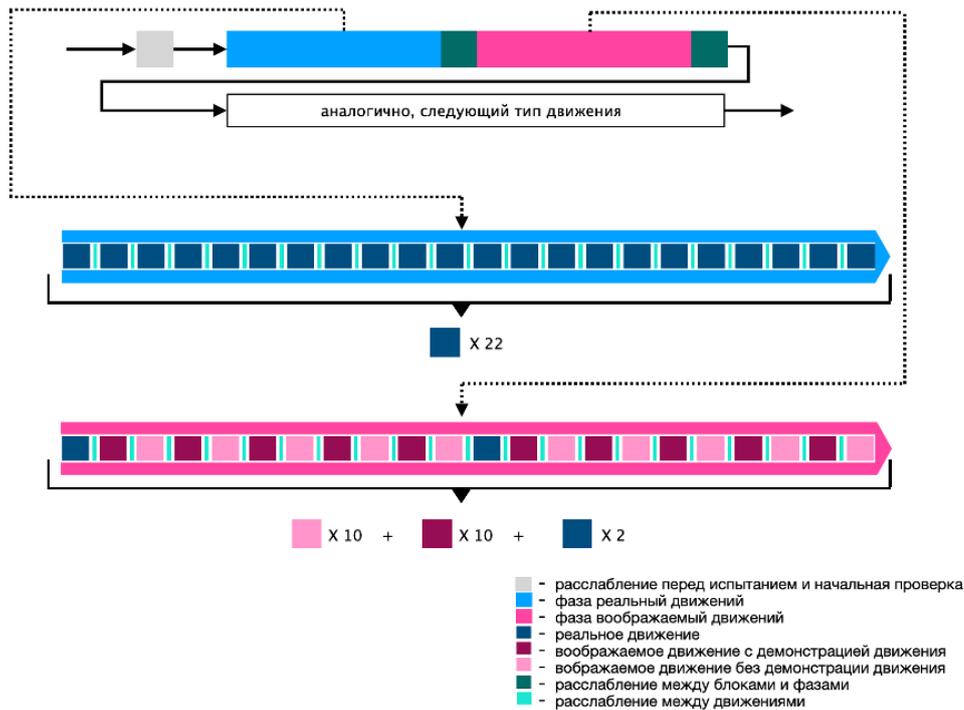


Рис. 3. Схема сбора данных

Одним из возможных способов улучшить точность классификации воображаемых движений, как было отмечено ранее, является анализ движений в пространстве и моделирование траекторий воображаемых движений с последующей классификацией данных траекторий. В данной работе предлагается использовать глубокую нейронную сеть, адаптированную под данную задачу. В качестве основы предлагается использовать архитектуру UNet, так как модели данной архитектуры зарекомендовали себя для решения различных задач, в том числе для анализа временных рядов электроэнцефалограммы, сегментации различных волн, связанных с определенными видами активности, и сегментации различных областей на изображениях, например, опухолей головного мозга [5]. Предлагается брать карты признаков, извлеченные с помощью FBCSP модели, до их непосредственной классификации и передавать в нейронную сеть на вход. По данным картам признаков модель строит траектории воображаемых движений и далее их классифицирует. Общий принцип моделирования и классификации траекторий движений представлен на рис. 4.

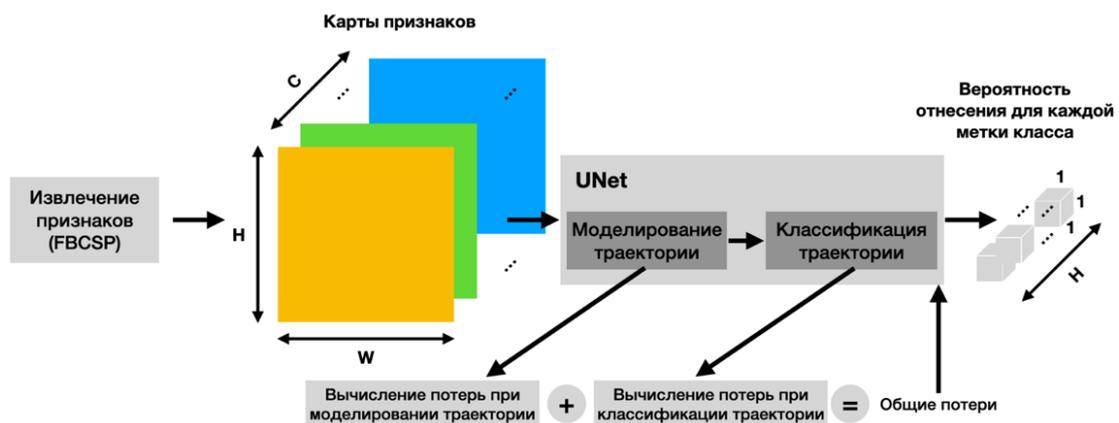


Рис. 4. Принцип моделирования и классификации траекторий воображаемых движений

Помимо описанного подхода, на рис. 5 показан предлагаемый принцип вычисления потерь при обучении. Предлагается отдельно вычислять потери моделировании траекторий воображаемых движений и отдельно – потери при классификации траекторий. В данной работе в качестве эталонных использовались траектории реальных движений, извлеченные из видео, записанных в процессе сбора данных, с камер, расположенных перед испытуемым и сбоку со стороны руки, которой выполнялись движения. Для вычисления потерь при моделировании траекторий использовалось суммарное значение Манхэттенского расстояния между координатами полученных траекторий и реальными координатами траекторий движений. Для вычисления потерь при классификации траекторий – кросс-энтропия.

Для оценки эффективности предлагаемого метода сбора данных и подхода к моделированию и классификации траекторий воображаемых движений был собран дополнительный набор данных с четырех испытуемых, чьи данные не участвовали в обучении модели. Сбор данных осуществлялся по описанному ранее методу и для аналогичных типов движений.

Одним из важных условий использования решений в данной области в реальной жизни, например, для управления роботизированной рукой с помощью мозговой активности, является возможность регистрации потенциала действия до непосредственного начала движения. Это важно в случаях, когда быстрота реакции критична и необходимо совершать движения без значительного временного лага. Для оценки соответствия полученной модели данному условию была вычислена и построена матрица путаницы определения наличия потенциала действия до начала его непосредственного выполнения, представленная на рис. 5. Рисунок показывает, что модель позволяет обнаружить потенциал действия с точностью 89% до начала выполнения движения и с точностью 94% – не выявляет потенциал действия при его отсутствии.



Рис. 5. Матрица путаницы наличия потенциала действия

Следующим важным фактором возможности использования такой модели в реальных условиях является точность классификации воображаемых движений. В полном тексте исследовательской работы представлены матрицы путаницы для правой и левой рук по отдельности, а также для каждого испытуемого по отдельности. Ниже на рис. 6 представлена усредненная матрица путаницы для каждого из типов движений. В скобках отмечен прирост, полученный в результате использования модели для моделирования и классификации траекторий воображаемых движений, используемой для улучшения точности классификации FBCSP модели. Рис. 6 показывает, что модель классифицирует движения со средней точностью 83,5%.

		Предсказанный тип воображаемого движения				
		Блок до горизонтального	Блок до вертикального	Вперед до горизонтального	По диагонали вниз	По диагонали вверх
Реальный тип воображаемого движения	Блок до горизонтального	0.85(+0.12)	0.07(-0.06)	0.0(-0.03)	0.0(-0.01)	0.08(-0.02)
	Блок до вертикального	0.04(-0.065)	0.86(+0.085)	0.0(-0.005)	0.0(-0.005)	0.1(-0.01)
	Вперед до горизонтального	0.0(+0.0)	0.0(+0.0)	0.87(+0.01)	0.07(-0.01)	0.06(+0.0)
	По диагонали вниз	0.07(+0.0)	0.04(+0.0)	0.02(-0.02)	0.81(+0.07)	0.06(-0.05)
	По диагонали вверх	0.09(-0.03)	0.075(-0.02)	0.05(+0.0)	0.0(-0.03)	0.785(+0.08)

Рис. 6. Матрица путаницы точности классификации

Необходимо было также оценить эффективность предложенного метода сбора данных, для чего был собран набор данных с четырех испытуемых, где для испытуемых не производилась подготовка к выполнению воображаемых движений и где тип каждого следующего воображаемого движения выбирался случайным образом. В результате модель, обученная на таких данных, имела среднюю точность – 72,1%, в то время как модель, обученная на данных, собранных с помощью предложенного метода, имела точность – 83,5%.

В результате, в работе удалось предложить улучшенный метода сбора данных, с помощью которого испытуемый подготавливается к выполнению воображаемых движений определенного типа с помощью выполнения ряда реальных движений такого же типа и в процессе которого фокус испытуемого на выполнении воображаемых движений поддерживается с помощью внедрения реальных движений в цепочку воображаемых. Данный метод сбора данных позволил увеличить итоговую точность модели классификации воображаемых движений на 11,4%. В работе также удалось представить новый подход для моделирования и классификации траекторий воображаемых движений по сигналам мозговой активности, которая может использоваться для улучшения точности классификации. Использование данного подхода и модифицированной UNet модели на собранном наборе данных показало увеличение точности классификации на 7,3% по сравнению с FBCSP моделью без моделирования и классификации траекторий.

В дальнейшем планируется оптимизировать модель для работы в реальном времени и провести онлайн эксперимент на большем количестве испытуемых для оценки эффективности предложенных подходов и возможности использования полученной модели в реальных условиях и реальных системах, например для управления роботизированной рукой или протезом руки.

Литература

1. Design and Optimization of an EEG-Based Brain Machine Interface (BMI) to an Upper-Limb Exoskeleton for Stroke Survivors // National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс]. 2016. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27065787> (дата обращения: 29.11.2019).
2. Decoding Imagined 3D Arm Movement Trajectories From EEG to Control Two Virtual Arms // National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс]. 2019.

- URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6868122/> (дата обращения: 28.11.2019).
3. Decoding Imagined 3D Hand Movement Trajectories From EEG: Evidence to Support the Use of Mu, Beta, and Low Gamma Oscillations // National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5869206/> (дата обращения: 19.11.2019).
 4. About the cortical origin of the low-delta and high-gamma rhythms observed in EEG signals during treadmill walking // National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс]. 2014. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24412128> (дата обращения: 29.11.2019).
 5. U-Time: A Fully Convolutional Network for Time Series Segmentation Applied to Sleep Staging // arXiv.org e-Print archive [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1910.11162> (дата обращения 18.10.2020).

Смирнова Алена Викторовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

институт «Высшая инженерная школа»,

студент группы №L42712

направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,

e-mail: 79213040490@ya.ru

Аксарин Станислав Михайлович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

институт «Высшая инженерная школа»,

к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: staksar@gmail.com

УДК 535.015

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ЭФФЕКТА НА ВОЛНОВОДНЫЕ СВОЙСТВА В $Ti:LiNbO_3$
ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРАХ**

А.В. Смирнова

Научный руководитель – к.ф.-м.н. С.М. Аксарин

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №12445 «Исследование физических механизмов и природы шумов в интегрально-оптических схемах и их влияния на прецизионные оптические измерения».

Аннотация

В работе исследован дрейф фазы, вызванный пироэлектрическим эффектом, в электрооптических модуляторах X-среза на основе $LiNbO_3$ в схеме волоконного интерферометра Маха-Цендера. Проанализирована величина пироэлектрического эффекта и показана временная характеристика релаксации заряда. Дана оценка эффективности способов подавления пироэлектрического эффекта путем экранирования полярных граней токопроводящим компаундом в сравнении с восстановительным отжигом. Представленные в работе экспериментальные результаты несут в себе полезную информацию для проектирования и разработки интегрально-оптических модуляторов на ниобате лития.

Ключевые слова

Ниобат лития, пироэлектрический эффект, температурные флуктуации, сдвиг фазы, интерферометр Маха-Цендера, регрессионный анализ.

Кристалл ниобата лития (НЛ) является сегнетоэлектриком и обладает рядом оптических и электрооптических свойств. Благодаря своей структуре данный материал получил как широкое применение в интегральной оптике, так и популярность среди научных исследований. Однако, не смотря на неоспоримые преимущества использования НЛ в качестве интегрально-оптических модуляторов, кристалл обладает рядом недостатков. Причем некоторые из них не имеют решения до настоящего времени. В частности, сегнетоэлектрические свойства кристалла приводят к проявлению спонтанной поляризации и пироэлектрическому эффекту (ПЭ), это в свою очередь, приводит к дрейфу фазы светового сигнала в электрооптических модуляторах на НЛ. Для высокоточных приборов и датчиков возникающие паразитные эффекты могут привести к сбоям и ошибкам в их работе. Такая проблема может оказаться весьма

серьезным препятствием для конструирования высокочувствительных интерферометрических схем, как например волоконно-оптический гироскоп, где требуется обеспечение стабильности фазы. Поэтому задача подавления или снижения вклада пироэлектрического эффекта становится весьма актуальной [1-4].

В исследовании проводилось измерение пироэлектрического сдвига фазы в образце интегрально-оптического фазового модулятора (рис. 1), у которого волновод изготовлен методом диффузии титана в кристалле НЛ X-среза и электродами для обеспечения фазовой модуляции. Для регистрации сдвига фазы был собран волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера (ИМЦ) (рис. 2). В одном плече устанавливался испытуемый образец, а во втором аналогичный фазовый модулятор для управления фазой сигнала. Оптическая схема была собрана с согласованием по «быстрой» поляризационной оси всех компонент интерферометра. В качестве источника излучения использовался высокостабильный одночастотный волоконный лазер на длине волны 1550 nm. Фотодетектор Thorlabs PDA10CS-EC подключался к системе DAQ на основе National Instruments cDAQ-9188, позволяющий одновременно считывать сигнал модуляции и фотодетектора, а модуль NI 9211 регистрировал сигнал температуры от термопары. Для регулирования процесса нагрева и охлаждения образец закреплялся на элементе Пельтье через термопрокладку. Рядом с образцом на термопрокладке размещался горячий спай термопары, обеспечивая точное измерение температуры прокладки. Для минимизации ошибок при регистрации фазы из-за температурных флуктуаций вся оптическая часть интерферометра помещалась в термобокс, который имеет два изолированных отдела. В первый помещались два разветвителя, разъемы и модулятор. А во второй отдел помещался образец на элементе Пельтье, имеющий термоинтерфейс с оптическим столом для обеспечения возможности стабилизации температуры.

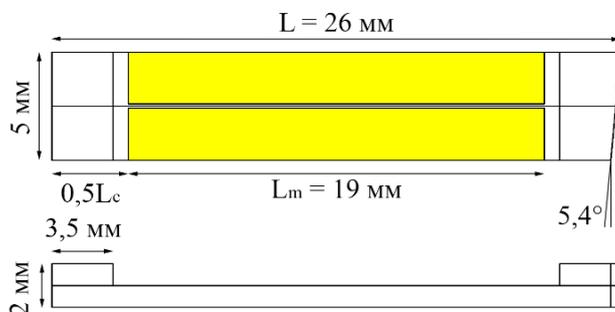


Рис. 1. Исследуемый фазовый модулятор на основе НЛ

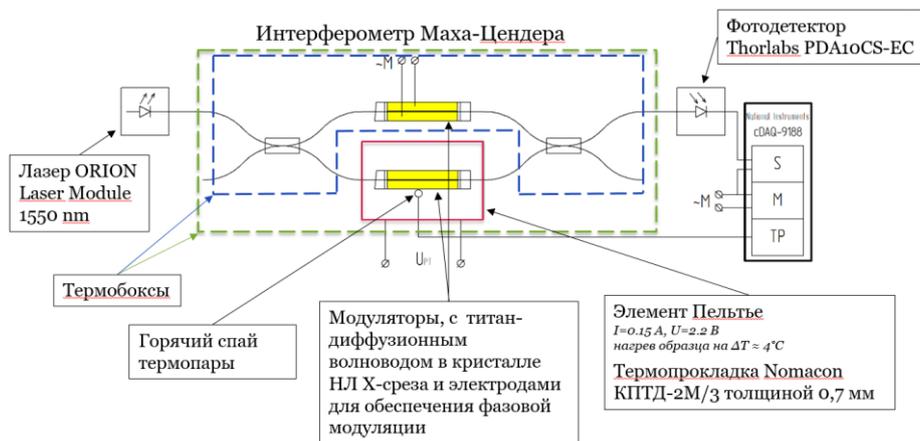


Рис. 2. Схема волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера

Эксперименты имели одинаковый характер нагрева образца, от комнатной температуры порядка 20°C, до температуры соответствующей напряжению, подаваемому на элемент Пельтье (не выше 40°C). Поскольку, кинематика нагрева образца становится неочевидной за счет отсутствия данных о параметрах каждого из элементов системы применен подход к разделению элементов системы на элементарные звенья. Каждое звено несет информацию о скорости нагрева. В данной системе управляемым объектом является элемент Пельтье, а прием сигнала производится по двум каналам – значения температуры на термопаре и сдвиг фазы. В рамках такого подхода процесс нагрева и реакции НЛ на нагрев можно разбить на блоки (рис. 3). Эти блоки представляют собой элементы динамических звеньев характеризующие физический процесс преобразования тепла в оптический сдвиг фазы с течением времени. Так, например, процесс нагрева твердого тела можно описать переходной функцией позиционного аperiodического звена 1-го порядка. К такому типу звена относится нагрев Пельтье, термопрокладки, образца НЛ и горячего спая термопары. А сдвиг фазы в образце под действием температурного изменения можно описать 4-мя звеньями. Первое представляет собой изменение фазы за счет температурного расширения и эласто-упругого эффекта и в точности повторяют характер нагрева кристалла. Остальные три члена (PY1, PY2, PY3) представляют собой дифференцирующие звенья с замедлением, поскольку описывают характер релаксации пирозарядов.

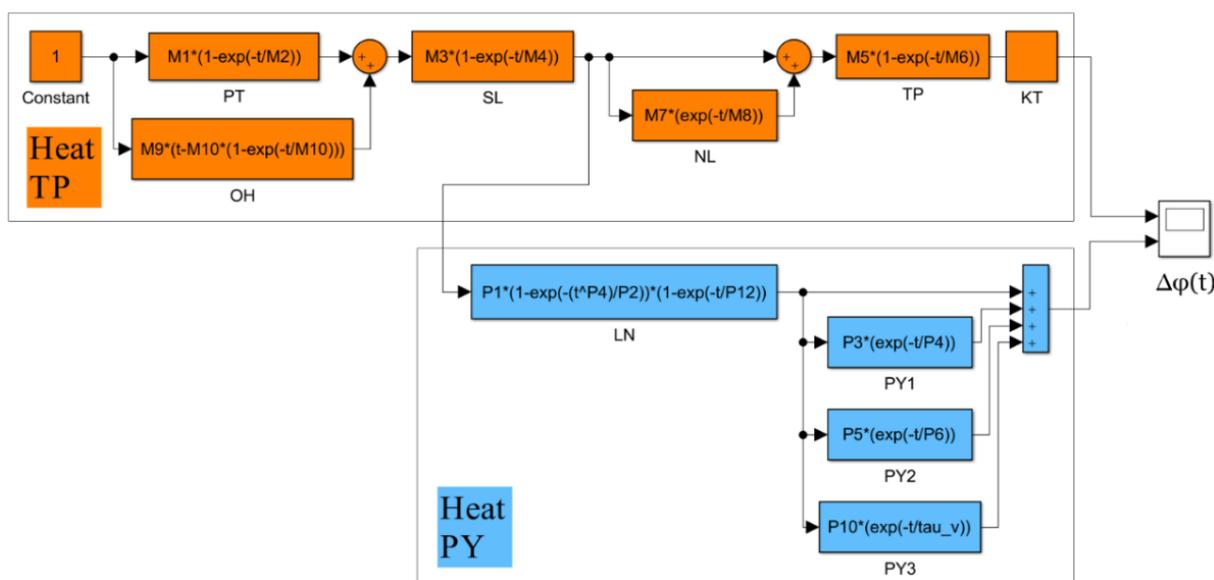


Рис. 3. Блок-схема переходной функции прогрева, измеряемая термопарой и переходной функции изменения фазы

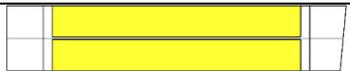
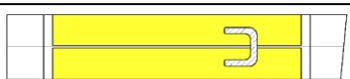
Подбор коэффициентов звеньев производился в программном пакете Matlab методом регрессного анализа по экспериментальным данным с различными комбинациями электрических связей, где были рассмотрены варианты закорачивания (КЗ) электродов модулятора, а также экранирования полярных граней кристалла токопроводящим компаундом (таблица).

В первой серии экспериментов исследовалась зависимость изменения фазы на нагрев или охлаждение образца ниобата лития. Для этого на элемент Пельтье с источника постоянного тока подается ток 0,15А и напряжение 2,2В. Время включения источника тока (начало нагрева) – 621 с, результате НЛ сразу нагревается в среднем на $\Delta T \sim 4,44$ °С, а затем еще происходит длительный самопроизвольный линейный прогрев на $\Delta T \sim 1,05$ °С. Время отключения источника тока (окончание нагрева, самопроизвольное охлаждение до комнатной температуры) – 11476 с. Общая

продолжительность эксперимента – 21600 с. Полученные в эксперименте данные обрабатывались в программной среде Matlab, где впоследствии были построены графики зависимостей изменения фазы от температуры и подобраны соответствующие коэффициенты для определения времен релаксации зарядов. На рис. 7 представлены временные профили изменения температуры кристалла (кр.) и сдвига фазы интерферометра (син.), где видно, что изменение температуры приводит к аномальному некоррелированному изменению фазы. Кривая сдвига фазы интерферометра не повторяет форму температурной кривой. Это определяется тем, что одновременно с термооптическим и эластоупругим эффектом существует третий эффект, который описывает функцию изменения пироэлектрического сдвига фазы (желт.). Таким образом, желтая кривая, являющаяся суммой сигналов температуры кристалла и сдвига фазы интерферометра, представляет собой пироэлектрический вклад в сдвиг фазы.

Таблица

Варианты закорачивания (КЗ) электродов модулятора, а также экранирования полярных граней кристалла токопроводящим компаундом

Конфигурация	Схема
Свободный образец	
Промазаны и закорочены боковины	
Закорочены электроды (КЗ)	
	

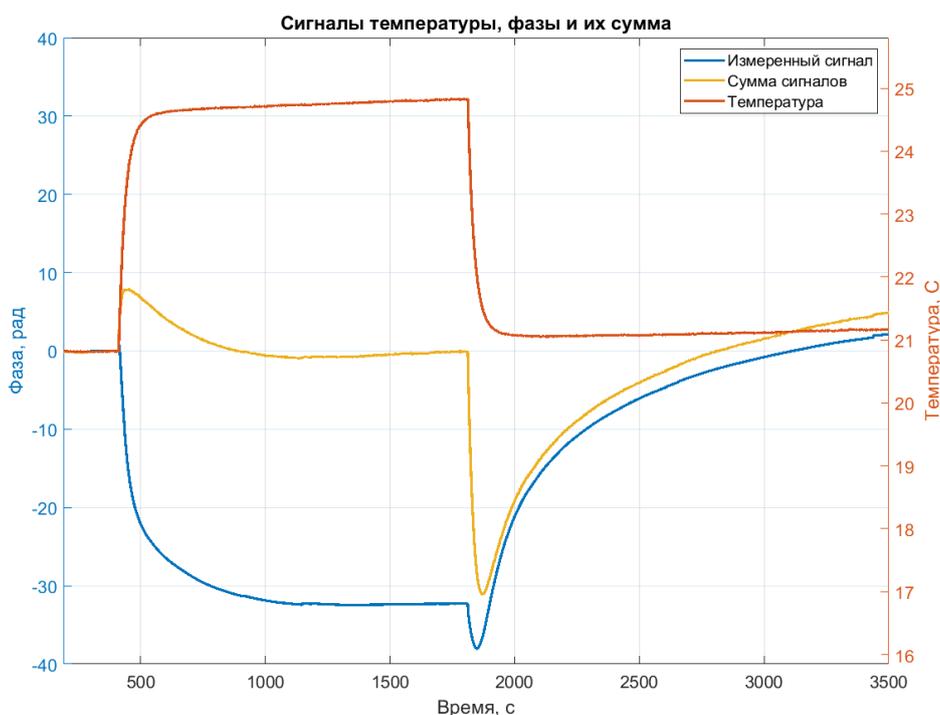


Рис. 3. Вычитание температурного вклада в сдвиг фазы при нагреве и отключении нагрева НЛ

Для определения постоянной времени релаксации и оценки вклада пироэлектрического эффекта осуществлялся подбор уравнений и расчет их коэффициентов при помощи систем автоматического регулирования в среде Matlab в приложении System Identification. В результате подбора кривой получена временная характеристика позиционного звена аperiodического типа 3-го порядка:

$$W(s) = \frac{33.3}{(1 + T_1s) \cdot (1 + T_2s) \cdot (1 + T_3s)}, \quad (1)$$

где T – постоянные времени ($T_1 = 206.39$ с, $T_2 = 26.006$ с, $T_3 = 3$ с), следовательно, время релаксации зарядов составляет порядка 200 с.

Измеренный оптический сдвиг фазы используется для определения изменения показателя преломления, что в дальнейшем помогает определить вклад и величину коэффициента ПЭ. Коэффициенты пироэлектрического эффекта такой конфигурации составляют -0,56 и -0,47.

В эксперименте, при нагреве или охлаждении наблюдается сдвиг фазы ИМЦ, для случая с КЗ электродов изменение фазы имеет температурную зависимость близкую к линейной. Последующая промазка боковых граней токопроводящим компаундом позволила снизить вклад ПЭ, но влияние этого эффекта осталось ощутимым. Однако, один из наиболее эффективных способов по подавлению ПЭ эффекта был достигнут путем повышения проводимости в процессе отжига образца.

Таким образом, были проведены эксперименты по:

- 1) исследованию образца НЛ без отжига конгруэнтного состава в состоянии разомкнутых электродов;
- 2) исследованию образца НЛ после отжига с повышенной проводимостью кислородных октаэдров также при разомкнутых электродах.

На рис. 4 представлены кривые пироэффекта, для образцов после отжига ($W_{PYOTЖИГ}$) и до него (W_{PY}). Видно в сравнении с остальными экспериментами, что наилучшим образом удалось подавить вклад ПЭ после отжига за счет повышения проводимости кристалла.

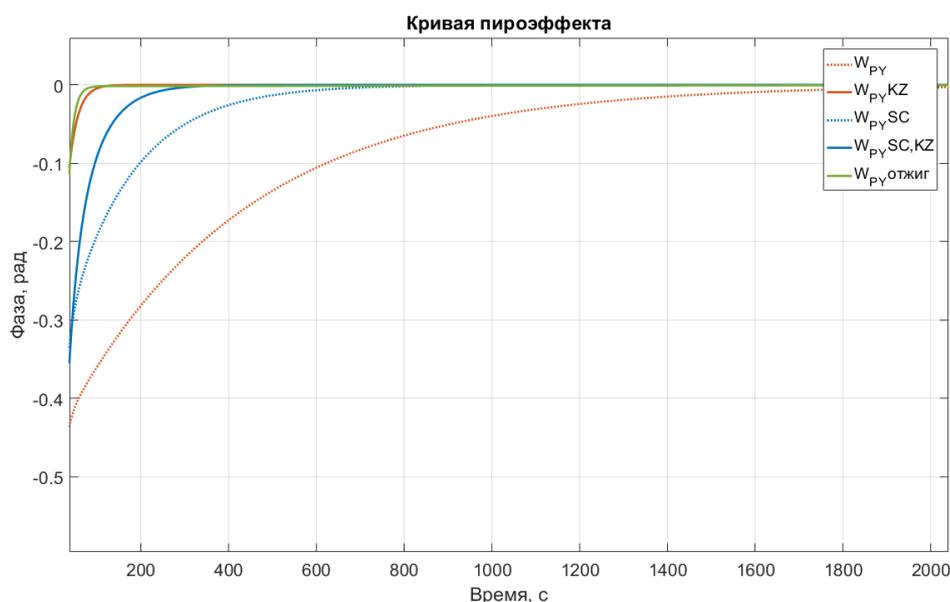


Рис. 4. Кривая пироэлектрического эффекта для образцов с различными модификациями по подавлению пироэлектрического эффекта

В ходе проведения исследования теоретически и экспериментально показано разделение вклада температурных эффектов, оказывающих воздействие на дрейф фазы световой волны в фазовом интегрально-оптическом модуляторе на НЛ. Теоретические расчеты на основе уравнения Сельмаера позволили дать оценку напряженности электрического поля, возникающего в исследуемом образце под действием пьезоэлектрического эффекта. Помимо этого, данный расчет имеет экспериментальное подтверждение, которое было получено путем теоретического и экспериментального определения коэффициента пересчета температуры в размерность фазы.

Методами систем автоматического регулирования удалось представить исследуемую схему в виде динамических звеньев. В среде Matlab был осуществлен расчет передаточных функций каждого звена, в следствии чего определены временные параметры каждого элемента: прогрев термопары – 20 с, прогрев Пельтье и термопрокладки – 3 с, релаксация пьезоэлектрических зарядов варьируется от 92 с до 343 с. А также исследованы различные комбинации электрических связей на исследуемом модуляторе. При нагреве образца для случая с разомкнутыми электродами наблюдается аномальное изменение сдвига фазы, характер которого описывается временной характеристикой релаксации зарядов, возникающих на полярных гранях кристалла НЛ. Сдвиг фазы интерферометра сначала растёт в противофазе, а затем разворачивается и начинает стремиться к равновесному положению. Однако, для модификации с короткозамкнутыми электродами образца с увеличением температуры линейно пропорционально этому изменяется фаза, а при возвращении температуры в исходное значение набег фазы пропадает. Таким образом, изменение фазы имеет температурную зависимость близкую к линейной и позволяет снизить вклад пьезоэлектрического эффекта, возникающего в НЛ. Для релаксации, восстановления свойств образца, требуется длительный промежуток времени. Кроме того, для свободного образца и для образца с КЗ электродов обнаружено наличие мгновенных скачков фазы, которые вызваны локальной миграцией зарядов.

Выяснено, что различные способы промазки токопроводящим компаундом позволяют изменить время релаксации зарядов, а наилучшим способом является промазка боковых граней токопроводящим компаундом по всей длине кристалла.

Повышение проводимости, достигнутое путем восстановительного отжига, позволило эффективно подавить ПЭ эффект наряду с экранированием полярных граней токопроводящим компаундом.

Литература

1. Кузьминов Ю.С. Электро-оптический и нелинейно-оптический кристалл ниобата лития. М. «Наука». Гл. ред. лиз.-мат. лит. 1987. 264 с.
2. Буш А.А. Пьезоэлектрический эффект и его применения. Учебное пособие / Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)». М. 2005. 212 с.
3. Hervé C. Lefèvre, The Fiber-optic Gyroscope //Artech House. 2014. 391.
4. Ponomarev R.S., Shevtsov D.I., Karnaushkin P.V. «Shutdown» of the Proton Exchange Channel Waveguide in the Phase Modulator under the Influence of the Pyroelectric Effect. // Appl. Sci. 2019. № 9. P. 4585.

Соколова Елена Вячеславовна

Год рождения: 1998 г.

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R42332с,

направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: emailname@email.ru

Махныткина Олеся Владимировна

Год рождения: 1982 г

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

к.т.н., доцент (квалификационная категория «ординарный доцент»),

e-mail: makhnytkina@itmo.ru

УДК 004.81

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ
ТЕКСТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ КАК ЧАСТИ
ГОЛОСОВОГО ИНТЕРФЕЙСА СОЦИАЛЬНЫХ РОБОТОВ**

Е.В. Соколова

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.В. Махныткина

Работа выполнена в рамках темы НИР №52152 «Разработка алгоритмического и программного обеспечения для адаптивных антропоморфных и автономных мобильных роботов».

Аннотация

В работе описан процесс разработки модуля автоматической генерации текста на естественном языке, предназначенного для генерации стилизованных под сказки историй, некоторыми действующими персонажами которых являются объекты, с которыми робот взаимодействует. Для голосовой реализации описанной системы также разработан голосовой интерфейс, задачей которого является голосовой обмен между человеком и роботом. Оба модуля реализованы для гуманоидного робота iCub с учётом его особенностей.

Ключевые слова

Автоматическая генерация текста, GPT-2, GPT-3, NLP, робототехника, iCub, голосовой интерфейс.

Изначально робототехника развивалась скорее, как область промышленная, призванная ассистировать человеку при выполнении физически трудоёмких задач. Но с появлением технологий искусственного интеллекта, смены интересов и запросов социума данная область за последние десятилетия стала активно развиваться и в несколько другом направлении тоже – направлении внедрения роботизированных систем в общество. Роботы, призванные сосуществовать в нём вместе с человеком, называются социальными [1].

Очевидно, социальный робот должен уметь общаться с людьми привычным и понятным для них образом. В человеческом обществе эту функцию выполняет речь, в роботизированной же системе с поставленной задачей может справляться голосовой интерфейс, то есть некоторая программа для обмена репликами между человеком и машиной. Основным же модулем интерфейса в случае моделирования процесса общения может являться система автоматической генерации текста на естественном языке. Как

известно, человеческая речь и мышление тесно взаимосвязаны. Данная аналогия даёт возможность сделать предположение о том, что системы автоматической генерации текста на естественном языке можно рассматривать в качестве способа моделирования когнитивных способностей человека.

У систем автоматической генерации текстов на естественном языке богатая история. Первые попытки автоматизации процесса сочинения, по большей части, носили логико-лингвистический характер. Это, в первую очередь, системы на правилах [2]. Однако их реализация – весьма трудоёмкая задача, а генерируемые истории однотипны в силу отсутствия возможности отойти от заданного сценария. Следующим этапом в развитии систем генерации текстов на естественном языке стали статистические методы. Наиболее распространённый из них – модели на основе марковских цепей [3]. Лингвистическая составляющая в методе отсутствует, что не может не иметь своих последствий в виде отсутствия грамматической корректности и смысловых связей в тексте: результат оказывается непредсказуемым и требует ручного постредактирования. С момента появления нейронных сетей область их применения только растёт, что не обошло стороной и автоматическую генерацию текстов на естественном языке. Наибольшую популярность в этой области завоевали рекуррентные нейронные сети (RNN). На основе обучающих данных и заданного начала истории текст генерируется посредством предсказания каждого последующего символа (или слова) до тех пор, пока процесс не будет остановлен. Метод снова не несёт в себе какой-либо лингвистической составляющей, что, на наш взгляд, при построении текста, так или иначе, должно учитываться; результат оказывается непредсказуемым, зачастую несвязанным и совершенно бессмысленным. Основная проблема RNN заключается в том, что при увеличении размера обрабатываемой последовательности, а соответственно и контекста, неизбежно наступает момент, когда расстояние между необходимой для предсказания информацией и генерируемым словом становится непреодолимым: информация теряется, а предсказанное слово оказывается нерелевантным по контексту. Несмотря на попытки решить данные проблемы с помощью других архитектур, вскоре после появления трансформеров, все они как самостоятельные единицы утратили популярность в силу собственных ограничений и превосходящих возможностей конкурентов. Впервые архитектура «трансформер» была представлена группой исследователей из Google Brain и Google Research в 2017 в знаменитой работе [4]. Ключевой особенностью данной архитектуры является механизм внутреннего внимания, за счёт которого как раз и разрешается проблема забывчивости, присущая её предшественникам. Поэтому в качестве основы для системы автоматической генерации текста на естественном языке будем использовать именно её.

Таким образом, разрабатывается голосовой интерфейс на основе модуля автоматической генерации текста, задачей которого является генерация стилизованных под сказки историй на русском языке с использованием объектов, с которыми робот взаимодействует или просто видит. То есть, осуществляется попытка автоматической генерации художественных текстов, обучающим материалом для которых служит чуть более структурированный их жанр – сказка. Данный выбор обусловлен необходимостью сузить область исследования до более конкретной задачи, а именно – генерация художественного текста. Выбор же жанра сказки обусловлен компромиссом между решением сложной задачи в области автоматической генерации текста и необходимостью задать более структурированный формат с целью обеспечения текстов более высокого качества на выходе. Разрабатываемый в рамках данной работы голосовой интерфейс, в первую очередь, ориентирован на робота iSub, представляющего собой гуманоидный социальный робот в виде пятилетнего ребёнка, и предназначенного для исследований в области когнитивных способностей человека и искусственного интеллекта. Для решения поставленной задачи был предложен следующий алгоритм:

- необходимо собрать и обработать обучающие данные;
- обучить на них «трансформер»;
- оценить полученную модель по показателям перплексии и потери;
- задать начало для генерации;
- привести сгенерированный текст в читаемый вид;
- подставить распознанные объекты в качестве персонажей.

С целью повышения качества генерируемых текстов было проведено 18 экспериментов с различными моделями и параметрами обучения. В основе финальной системы находится русскоязычная модель ruGPT-2 Large от Сбера [5], обученная в течение 3 эпох с размером контекстного окна равным 256 на корпусе из 1095 сказок, собранных из различных сборников и интернет-источников (выбор модели сделан в связи с тем, что она получила самую высокую пользовательскую оценку, о которой позже). Разметка обучающих данных была выполнена автоматически и включает в себя обозначение начала и конца сказки, а также условные зачин и развязку, определяемые в процентном соотношении от всего объёма сказки. Осуществляемая подстановка распознанных объектов в качестве действующих персонажей истории предполагает использование морфологического анализа для корректного встраивания в грамматический контекст.

Разработанный модуль автоматической генерации стилизованных под сказки историй является частью голосового интерфейса, выполняющего, в первую очередь, интерактивную функцию для голосового взаимодействия между человеком и роботом. На данный момент интерфейс имеет довольно ограниченный функционал. Для того, чтобы робот верно распознал пользовательский запрос, необходимо вслух упомянуть слово «сказка» (например, сказать: «Расскажи сказку»), в ответ он перечислит список распознанных объектов и попросит задать начало для генерации. Далее робот сообщает об этапах генерации (например, «Сказка генерируется», «Генерация завершена» и т.д.) и после её завершения зачитывает получившуюся сказку вслух. Большая часть команд и сам текст сказки также дублируется в текстовом виде. По окончании повествования можно попросить робота рассказать ещё одну или несколько сказок или остановить его посредством команды «Стоп», после чего микрофон будет отключён и робот прекратит прослушивание в фоновом режиме.

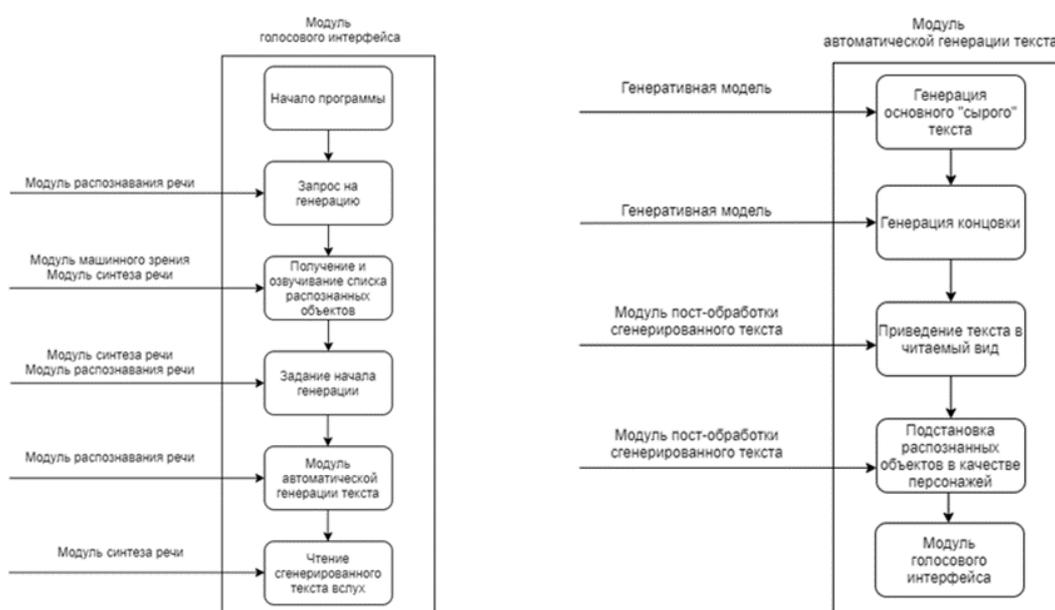


Рисунок. Блок-схемы голосового интерфейса и модуля автоматической генерации текста

Архитектура итоговой разработанной системы представлена на рисунке В результате взаимодействия человека с голосовым интерфейсом активируется модуль автоматической генерации текста, после чего сгенерированная история зачитывается вслух. Данная схема основана на варианте генерации по частям, однако, как отмечалось выше, этот параметр изменчив, поскольку текст также может быть сгенерирован сразу целиком.

Так как существующие количественные показатели (перплексия, потеря) качества генерируемых моделью текстов не являются в достаточной мере информативными для решаемой задачи автоматической генерации, а альтернативы отсутствуют, была проведена пользовательская оценка полученных результатов. Вторичной целью оценки также являлось определение модели, которая лучше всего справляется с задачей и может быть использована в основном модуле генерации. Для этого были отобраны четыре, на наш взгляд, наиболее удачные из них: две ruGPT-2 Large и две ruGPT-3 Large, отличающиеся между собой параметрами обучения. Участникам и участницам предлагалось оценить сгенерированные тексты по следующим критериям по шкале от 1 до 5:

- грамматическая связность: текст синтаксически корректен, предложения в нём грамматически связаны;
- осмысленность: в тексте присутствуют смысловые связи, и он кажется Вам осмысленным;
- логичность повествования: в тексте присутствует логика и последовательность описываемых событий;
- завершённость: повествование завершено, это законченный текст;
- сказочность: текст является сказкой.

Всего в оценке поучаствовало 10 человек; о том, что тексты сгенерированы автоматически, им не было известно. В таблице видно, что каждый критерий получил оценку выше среднего, что соответствует изначально поставленной нами цели.

Таблица 1

Результаты пользовательской оценки

Текст	Грамматическая связность	Осмысленность	Логичность повествования	Завершённость	Сказочность
Текст №1	3,0	2,1	2,4	3,4	4,5
Текст №2	3,85	2,15	2,95	2,5	4,8
Текст №3	4	3,6	3,1	3,3	5
Текст №4	3,4	2,9	3,1	2,5	4,4
Средняя оценка	3,6	2,7	2,9	2,9	4,7

Также рассмотрим пример текста (заданное начало генерации выделено жирным шрифтом, орфография и пунктуация сохранены), сгенерированного разработанной системой с участием следующих объектов: *кукла*, *мячик*, *кот*, *собака*. На данном этапе распознанные объекты предоставляются системы в виде прописанного в коде программы списка, в дальнейшем данная задача будет решаться посредством модуля машинного зрения.

В тридевятом царстве в тридесятом государстве жила-была царевна несмеяна и никто не мог её рассмешить. Никто, абсолютно! Ни муж, ни братья, ни любимые шуты кота и царевны. Ни один человек на свете! Только старый китаец-лекарь мог её рассмешить. И вот некогда кот позвал его, чтобы он своим искусством рассмешил его дочь. – О, – сказал китаец, – я не знаю никакого секрета. Но я буду лечить царевну, и если я помогу ей сегодня, то завтра смогу вылечить и всех остальных. кот согласился. И вот китаец-лекарь начал лечить царевну. Сначала он велел ей съесть цветочный лепесток, потом – лепесток померанца, потом – ломтик банана. После этого он велел ей выпить горького вина, а затем велел ей умыться слезами. И что же? Нынче утром у царевны была прекрасная осанка, а волосы стали блестящими, как золото. Весь народ был поражён. И решил, что в этом деле помог чудодейственному китаец кому лекарю. кот сделал своей дочери подарок и послал её с ним в соседнее государство, что она передала этот подарок мячику Послом к мячику он назначил храброго и красивого юношу. А сам пошел отдохнуть.

Таким образом, был разработан голосовой интерфейс на основе модуля автоматической генерации текста на русском языке, который может быть использован для социальных роботов, а также невоплощённых голосовых ассистентов. В основе разработанного модуля находится предложенный алгоритм генерации стилизованных под сказки историй, включающий в себя сбор и предобработку обучающих данных, обучение нейросетевых моделей, придание тексту читабельного вида, а также подстановку окружающих робота объектов в качестве некоторых персонажей. В результате разработки модуля генерации был обучен ряд моделей с использованием различных параметров обучения. Целью поставленных экспериментов являлся анализ влияния тех или иных параметров обучения на качество генерируемых текстов, а также непосредственная необходимость обеспечить автоматическую генерацию грамматически и семантически связанных текстов, что, на наш взгляд, является попыткой моделирования и последующего внедрения отдельных когнитивных способностей человека в автоматизированные и робототехнические системы. С целью определения модели, которая лучше прочих справилась с поставленной задачей, была проведена экспертная оценка полученных результатов.

В дальнейшей работе планируется расширение функционала интерфейса дополнительными функциями.

Литература

1. Dautenhahn K., Billard A. Bringing up robots or-the psychology of socially intelligent robots: From theory to implementation //International Conference on Autonomous Agents: Proceedings of the third annual conference on Autonomous Agents. 1999. Т. 1999. С. 366-367.
2. Reiter E., Dale R. Building applied natural language generation systems //Natural Language Engineering. 1997. Т. 3. №. 1. С. 57-87.
3. Szymanski G., Ciota Z. Hidden Markov models suitable for text generation // WSEAS International Conference on Signal, Speech and Image Processing (WSEAS ICOSSIP 2002). С. 3081-3084.
4. Vaswani A., Shazeer N.M., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A.N., Kaiser L., Polosukhin I. Attention is All you Need//Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. С. 5999-6009.
5. GitHub. ruGPTs. [Электронный ресурс: <https://github.com/sberbank-ai/ru-gpts>]. Дата обращения: 30.03.2021.

Timralieva Aleksandra Akbulatovna

Birth year: 1997

ITMO University,

chembio cluster

group A41401,

specialization: 18.04.02 – Energy and resource saving processes

in chemical technology,

petroleum chemistry and biotechnology,

e-mail: aleksandra.timralieva@mail.ru

Skorb Ekaterina Vladimirovna

Birth year: 1983

ITMO University,

infochemistry scientific center,

candidate of chemical sciences, professor, director of infochemistry scientific center,

e-mail: skorb@itmo.ru

UDK 547.024

SUPRAMOLECULAR ASSEMBLIES AS RADICAL TRAP MATERIAL

A.A. Timralieva

Scientific supervisor – candidate of chemical sciences, professor E.V. Skorb

Annotation

Now, organic complexes containing stabilized radicals can be used in various fields, including for the activation of energetically unfavorable reactions. The choice of supramolecular assemblies for the generation, capture and storage of active radicals is due to their high sensitivity to changes in the external environment. It was shown that the content of radicals in the structure of melamine barbiturate varies from 3×10^{16} to 1×10^{16} spin/g. A scheme for the generation of a superoxide radical in the structure under study is proposed, and the stability of the radical signal of the samples is explained.

Keywords

Supramolecular assemblies, reactive oxygen species, active radicals, electron paramagnetic resonance, radical trap.

Nowadays organic complexes that contain stabilized radicals can be used in biomimetic materials and materials with high flexibility. Systems that can generate active radicals are applicable in the aim of dye activation and radical scavenging [1]. Also, radicals are involved in the living cell reaction cycle and protection system [2]. The negative effect of active radicals can be mentioned in brain neural networks destruction. Therefore, active radical trap is under great interest of biologists.

As it was mentioned, active radicals can be applied as reaction activators due to its extremely high reactivity that is mostly pronounced in case of superoxide $O^{\bullet-2}$. To indicate superoxide one uses spin trap or luminescence generation that is activated by radicals [3]. These methods also enable to define the quantity of radicals which is a critical value for antioxidation materials. This method also is not enough accurate due to signal transformation. One explains it by a bonding between spin label and superoxide.

In case of supramolecular assemblies study as extremely specific functional materials one of the main use reasons is a reversibility of the bonding which provides a high materials' sensitivity to any media changes.

The chosen system for supramolecular assemblies' investigation as radical trap material is melamine barbiturate (M-BA). It is very similar to melamine cyanurate in its structure [4]. The pronounced difference is less symmetry of the structure due to the less symmetry of barbituric acid [5]. Barbituric acid has an active center in C5 position in contrast to cyanuric acid, and higher pKa value. The less symmetry of barbituric acid provides non-equal directions for hydrogen bonding formation, and a bond between carbon-based hydrogen of barbituric acid with melamine is much weaker than that of nitrogen-based hydrogen (fig. 1).

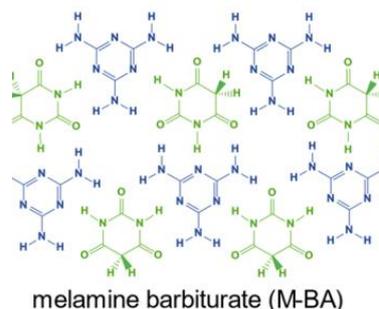


Fig. 1. Schematic representation of melamine barbiturate

To determine the exact precipitate composition, potentiometric titrations of M by BA and vice versa were performed. Both curves show a single drop at nearly equimolar ratios, the deviation from the exact 1:1 ratio in the direction of excess M can be attributed to surface colloid effects. There are also two drastic drops in the beginning of the curves at the ratios 7:1 and 1:8 (BA to M respectively) which can be stated as a range of guaranteed existence of melamine barbiturate (fig. 2).

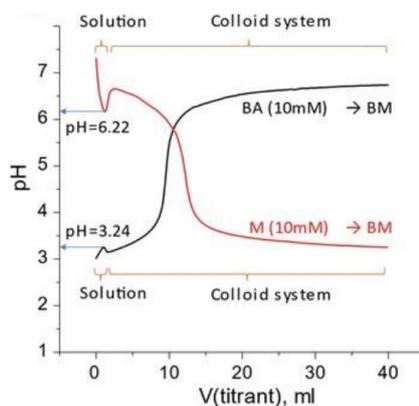


Fig. 2. M to BA and visa versa potentiometric titration

The data on potentiometric titration curves had allowed determining pKa values and to estimate specific content of active acidic sites in M-BA self-assembly 2.30 ± 0.15 (2.90 ± 0.10 mmol/g); 4.25 ± 0.10 (0.47 ± 0.03 mmol/g); 8.75 ± 0.10 (3.38 ± 0.10 mmol/g).

Constants and the number of adsorption sites comparison gives one more evidence that M and BA are forming a single stoichiometric adduct with the ratio 1:1. However, the existing inflection points at the adsorption curve and the existence of an equilibrium with pKa = 4.25 shows that a portion of nearly 14% bonds is electrostatic. The remaining 86% are strong hydrogen bonds forming a structure of M-BA (pKa=2.3 and 8.75).

Two sets of powders were prepared in aqueous solutions and dried. All the samples were studied using optical and electron microscopy. M-BA forms highly twinned star-shaped

polycrystalline aggregates with smooth edges with a size of 20–100 μm and no expressed cleavage (fig. 3). The particles possess similar shapes which indicates the existence of a single structural type and, accordingly, the formation in a single ratio of components.

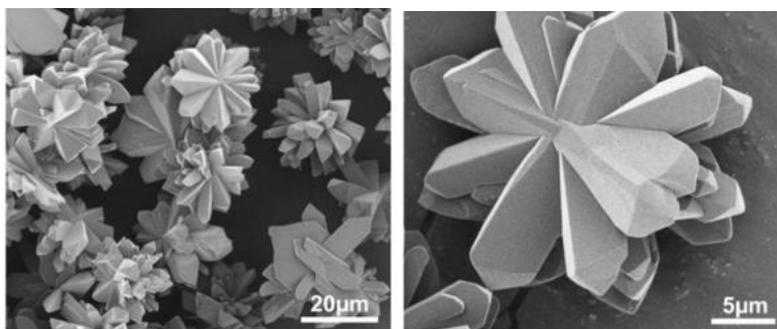


Fig. 3. Scanning electron microscopy images of M-BA

Crystal twinning and crystal defect are very pronounced. The twinning effect increases in case of temperature growth. It can be explained with the increased diffusion flux.

To obtain monocrystal of melamine barbiturate the slow evaporation with nickel salts was used to obtain short-lasting BA- Ni^{2+} complex and corresponding slow release of barbituric acid (fig. 4).

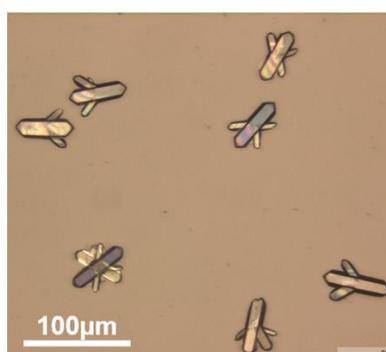


Fig. 4. Optical image of M-BA monocrystals

XRD results for melamine barbiturate allowed to determine the type of crystal system, which is orthorhombic (fig. 5).

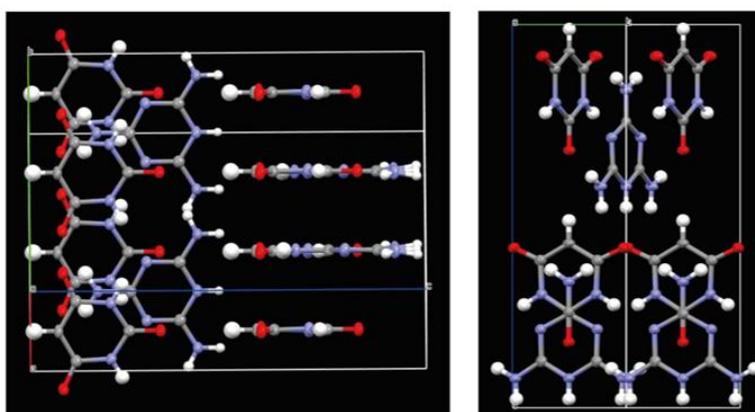


Fig. 5. Orthorhombic crystal structure of M-BA

Imaging in a polarized light shows lingering crystalline orientation within a single grain, distinct anisotropy, and high birefringence. Luminescent microscopy shows strong luminescence in a blue region. The particles demonstrate an increase in luminescence towards the ends of the crystals (fig. 6).

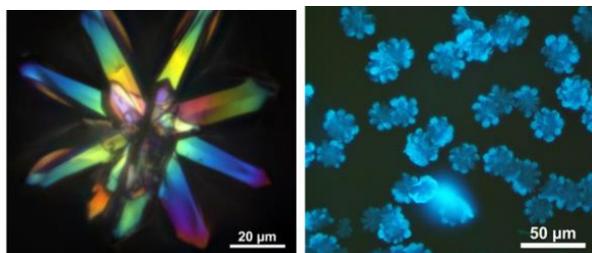


Fig. 6. M-BA crystals in polarized light (left), crystals luminescence (right)

X-ray powder diffraction patterns were collected from the M-BA powders and have shown a high degree of crystallinity of synthetic M-BA adduct (86-89%). A narrow basal reflection was identified corresponding to the direction normal to the plane of two-dimensional self-assembly sheets of M-BA (7.93Å). Reflections that are multiples of the basal are traced by 4 orders, which indicates a repeating layered structure (fig. 7).

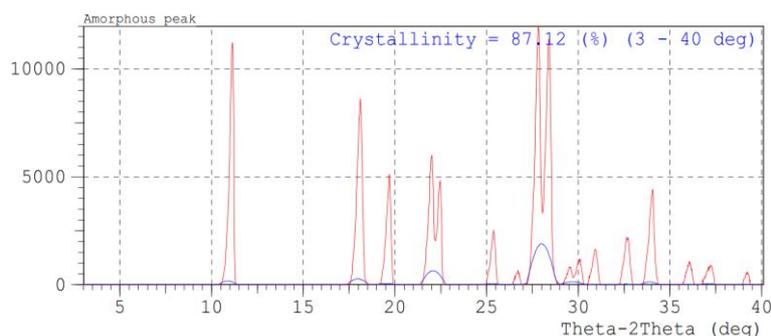


Fig. 7. X-Ray powder diffraction pattern of M-BA

To determine radical generation and storage activity electron paramagnetic resonance spectroscopy was used. Fig. 8 represents typical EPR spectra of M-BA radicals at different pH values (3.9 red, 6.2 – black, 7.1 – blue) recorded at constant parameters of the spectrometer. One can see that the signal intensity increases from acidic pH 3.9 to pH 6.2 and then sufficiently decreases to neutral pH 7.1.

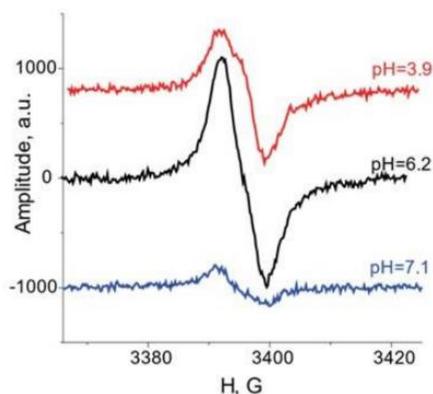


Fig. 8. EPR spectra of M-BA at different pH

Radical concentrations are equal approximately to 3×10^{16} , 5×10^{16} , and 1×10^{16} spin/g correspondingly.

The experimental kinetic radical accumulation study showed that the process of the radical photogeneration is rather fast and completes in 20 min for all the studied samples (fig. 9).

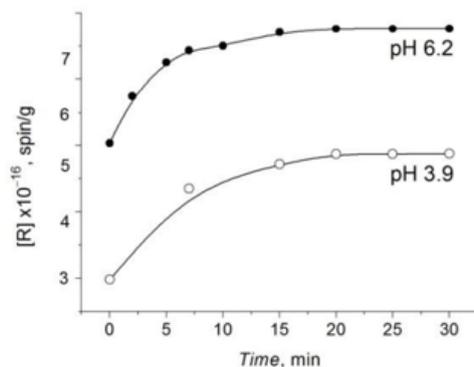


Fig. 9. Radical accumulation under light irradiation

After ca. 20 min, further light irradiation does not produce new radicals. Probably, the dynamic equilibrium between the processes of generation and quenching of radicals is achieved. After switching off the light, restoration of the initial radical concentration in darkness is much slower: we observed a decrease for ~24% for M-BA extracted at pH 3.9 and ~14% for that at pH 6.2 in a period of 7 days.

M-BA contains a part remote from 1H or 14N that they can host the radical generating singlet signal. This is a clear evidence of external source of radical species. Since no other reagent except melamine, cyanuric acid, barbituric acid, water and dissolved oxygen are present in reaction media, we believe that superoxide radical or related oxygen-centered species stabilized in self-assembly structure is responsible for the EPR signal.

Signal strength of M-BA is in good accordance with mean particle's size and are opposite to specific surface area value of substances which may be considered as evidence that the EPR signal is generated by a specie that is in the bulk matrix, and not on the surface of the particle.

Considering the layered nature of the composite, we suggest the intercalation mechanism of the incorporation of oxygen molecules into the interlayer space of the M-BA composite (fig. 10).

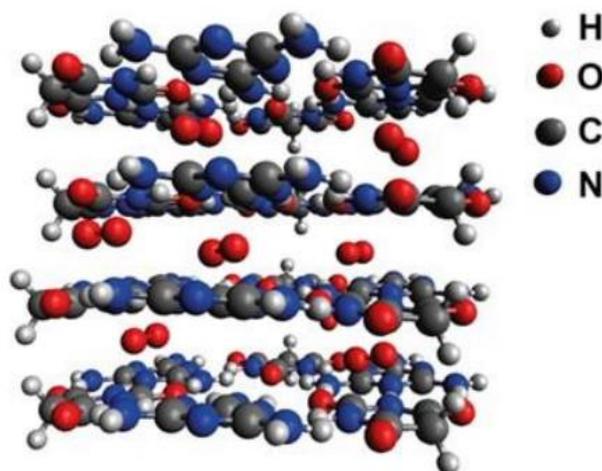


Fig. 10. Oxygen molecules into the interlayer space of M-BA

When a radical occurs in the material being exposed to light, the electron passes to the trapped oxygen molecule O_2 . It produces a structure stabilized peroxide radical $O_2^{\bullet-}$ (fig. 11).

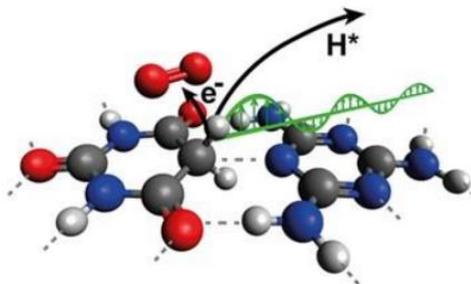


Fig. 11. Radical generation scheme

It was also mentioned that even after year of preparation the samples show the same EPR spectra with the no less intensity that in case confirms oxygen radical storage process in the interlayer space of melamine barbiturate.

References

1. Fattibene P., Callens F. EPR dosimetry with tooth enamel: A review // *Appl. Radiat. Isot.* Elsevier. 2010. Vol. 68. № 11. P. 2033–2116.
2. Yang C.T. et al. Gadolinium-based bimodal probes to enhance T1-Weighted magnetic resonance/optical imaging // *Acta Biomater.* Elsevier Ltd. 2020. Vol. 110. P. 15–36.
3. Hou J.T. et al. Fluorescent detectors for hydroxyl radical and their applications in bioimaging: A review // *Coord. Chem. Rev.* Elsevier B.V. 2020. Vol. 421. P. 213457.
4. Shilovskikh V.V. et al. Melamine–Barbiturate Supramolecular Assembly as a pH-Dependent Organic Radical Trap Material // *Chem. - A Eur. J.* 2020. Vol. 26. № 70. P. 16603–16610.
5. Shilovskikh V.V. et al. Radical Activity of Binary Melamine-Based Hydrogen-Bonded Self-Assemblies // *Appl. Magn. Reson.* Springer Vienna. 2020. Vol. 51. 9–10. P. 939–949.

Тиходеева Екатерина Олеговна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V42372с,

направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: tikhodeyeva.katya@yandex.ru

Орлова Анна Олеговна

Год рождения: 1973

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., профессор, доцент, г.н.с. центра «Информационные оптические технологии»,

e-mail: a.o.orlova@gmail.com

УДК 538.958

**СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСОВ МОЛЕКУЛ
AL-СУЛЬФОФТАЛОЦИАНИНА С НАНОЧАСТИЦАМИ
ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ**

Е.О. Тиходеева

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент А.О. Орлова

Работа выполнена в рамках темы НИР №286270 «Выявление закономерностей фотофизических свойств композитов на основе наночастиц пористого диоксида кремния и молекул AlOH-сульфофталоцианина».

Аннотация

В работе сформированы комплексы молекул Al-сульфофталоцианина (Al-ФЦ) с наночастицами диоксида кремния (Si-НЧ) и наночастицами диоксида кремния, допированного квантовыми точками AgInS₂ (AIS-Si-НЧ). Проведено исследование фотофизических свойств комплексов в воде и питательной среде. Представлены данные, свидетельствующие об агрегации Al-ФЦ при взаимодействии с НЧ и зависимости степени агрегации молекул от относительной концентрации компонент в растворе. Показано, что перевод комплексов из водной в питательную среду приводит к постепенной мономеризации молекул Al-ФЦ и разложению комплексов.

Ключевые слова

Al-сульфофталоцианин, наночастицы диоксида кремния, комплексы, электростатическое взаимодействие, агрегация, питательная среда.

Фотодинамическая терапия является крайне привлекательным методом лечения приповерхностных опухолей, поскольку предполагает совместное использование двух по-отдельности не активных компонента; специального вещества (фотосенсибилизатора) и внешнего источника света. Лишь их комплексное применение, т.е. локальное возбуждение препарата светом, инициирует ряд химических реакций, вызывающих гибель клеток. В настоящее время в клинической практике успешно используется разработанный в России препарат для фотодинамической терапии – Фотосенс® [1], представляющий собой смесь молекул Al-сульфофталоцианина (Al-ФЦ) с разной степенью сульфирования. Несмотря на то, что активация данного вещества производится контролируемо и локально (лазером в дефектной зоне) есть риск, что фотосенсибилизатор будет возбужден солнечным или комнатным светом и вызовет повреждение здоровых тканей. Этот побочный эффект можно сократить за счет

повышения селективности накопления фотосенсибилизатора в раковых областях. Существует много тактик позволяющих добиться прицельной доставки препарата, например присоединение антител или производных сахаров [2], однако прямое прикрепление таких векторных молекул к фотосенсибилизатору не всегда эффективно [3]. Все больше работ сообщают о привлекательности использования третьего компонента – носителя, наиболее популярными из которых являются наночастицы (НЧ) [4]. Создание комплексов фотосенсибилизатора с НЧ дает возможность сконцентрировать молекулы препарата на поверхности носителя и присоединить к нему векторные молекулы, тем самым повышая эффективность доставки активного вещества к дефектным клеткам. Самым простым методом комплексообразования является электростатическое связывание. Основываясь на данных представлениях, была предложена идея создания композитов молекул Al-сульфофталоцианина с наночастицами за счет электростатического притяжения между противоположно заряженными функциональными группами в их структуре (рис. 1).

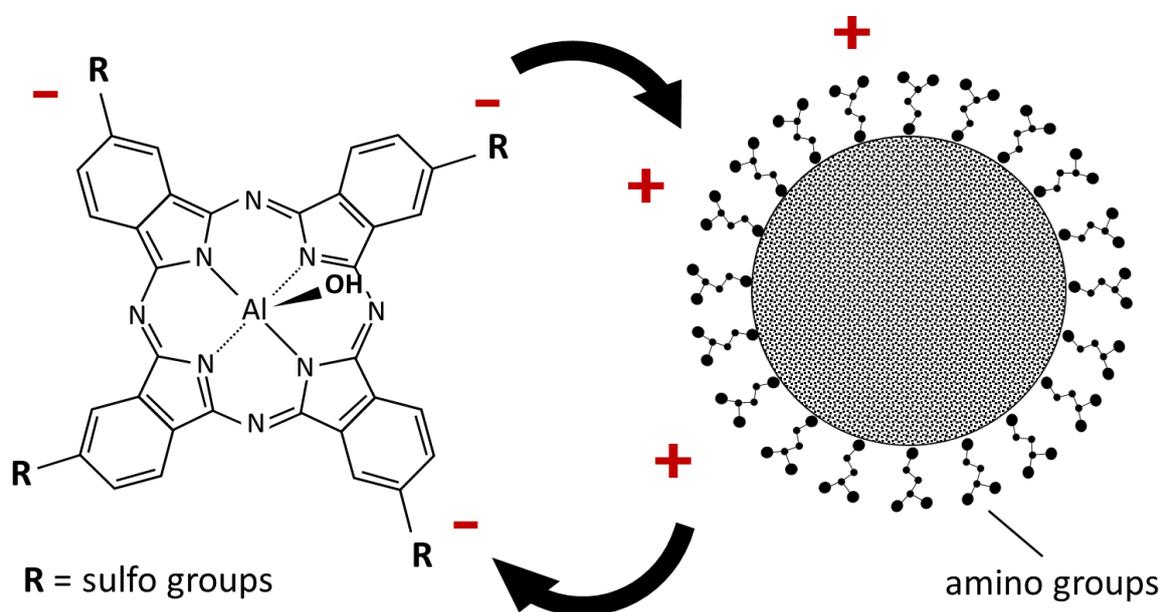


Рис. 1. Схематическая иллюстрация образования комплекса между Al-ФЦ, содержащим 4 сульфогруппы (sulfo groups), и НЧ с положительно заряженными аминогруппами на поверхности (amino groups)

В ходе работы за счет электростатического взаимодействия были созданы комплексы молекул Al-ФЦ с двумя типами наночастиц: наночастицами пористого диоксида кремния (Si-НЧ) и наночастицами диоксида кремния, допированными квантовыми точками AgInS_2 (AIS) с оболочкой ZnS (AIS-Si-НЧ). Использование НЧ, допированных AIS-КТ, позволяло подробнее изучить свойства комплексов за счет анализа резонансного переноса энергии (FRET) от НЧ к молекулам. Образование комплексов осуществлялось за счет электростатического взаимодействия отрицательно заряженных сульфогрупп Al-ФЦ и положительно заряженных аминогрупп на поверхности НЧ.

На первом этапе были исследованы комплексы молекул с Si-НЧ. Как видно из спектров поглощения и люминесценции, представленных на рис. 2, добавление НЧ в раствор Al-ФЦ приводит к уширению полос поглощения и снижению их оптической плотности (рис. 2а). Также наблюдается заметное снижение интенсивности люминесценции молекул (рис. 2б).

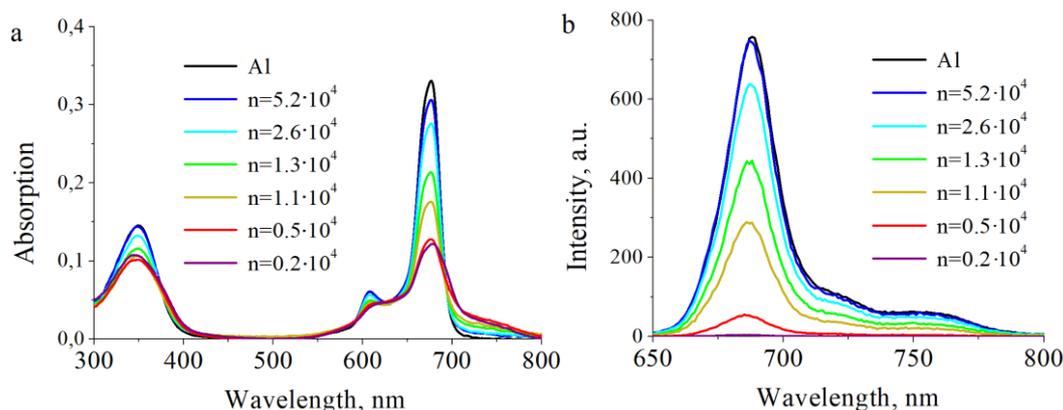


Рис. 2. а) Спектры поглощения и б) спектры флуоресценции водных растворов Al-ФЦ и Al-ФЦ/Si-НЧ с различными молярными соотношениями (n), длина волны возбуждения люминесценции равна 360 нм.

Данные изменения в спектрах были атрибутированы к агрегации молекул в присутствии НЧ. Снижение интенсивности люминесценции Al-ФЦ, вызванное их агрегацией, указывает на то, что соответствующие агрегаты являются нелюминесцентными, а, следовательно, нефотоактивными. При этом ожидается, что активность фотосенсибилизатора внутри клеток подавлена не будет, так как в ряде работ было показано, что внутри клеток происходит распад агрегатов Al-ФЦ. Полученные молекулярные структуры были охарактеризованы как H-агрегаты [5].

Изменения в спектрах магнитного кругового дихроизма (МКД) молекул, вызванные добавлением НЧ, в частности появление пика вблизи 703 нм и широкой полосы в области 621 нм, были также отнесены к проявлению агрегации Al-ФЦ (рис. 3).

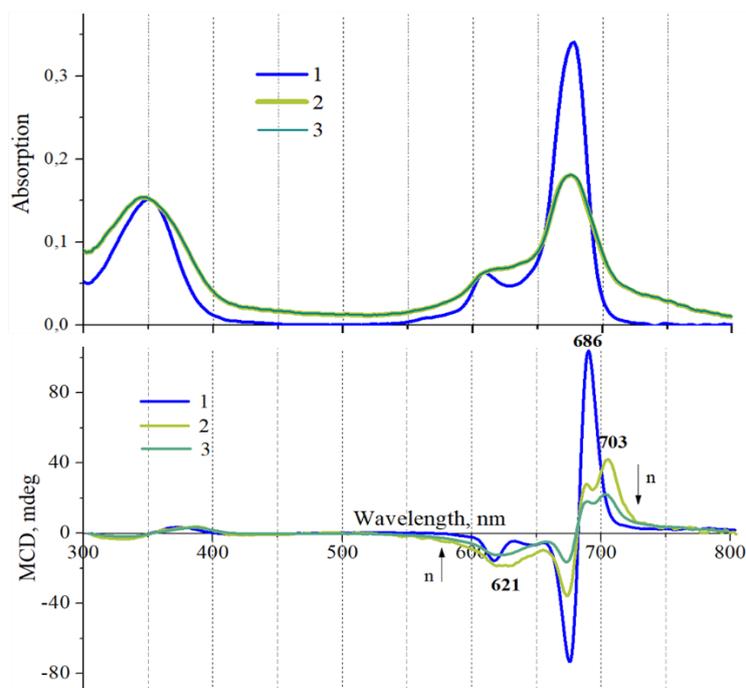


Рис. 3. Нормированные по В-полосе спектры поглощения и МКД водных растворов:
 1) Al-ФЦ; Al-ФЦ/Si-НЧ с различными молярными соотношениями:
 2) $n = 1.8 \cdot 10^3$ и 3) $n = 7.0 \cdot 10^3$ (получены при магнитном поле в -1.5 Тл).
 Спектры, полученные при +1.5 Тл, являются зеркальным отражением относительно 0

Сравнивая спектры поглощения и МКД, становится очевидным преимущество привлечения МКД анализа. Кривые поглощения растворов с высокой степенью агрегации не отличаются друг от друга, в то время как на спектре МКД наблюдаются очевидные различия. Таким образом, при исследовании спектров МКД, были выявлены закономерности влияния относительной концентрации компонентов на свойства комплексов.

Для оценки количества молекул, связанных в комплексы, раствор Al-ФЦ/Si-НЧ с максимальной степенью агрегации центрифугировали. В процессе центрифугирования большая часть комплексов оседала на дно пробирки, а молекулы, которые не были связаны с НЧ, оставались в надосадочной жидкости. Оптические характеристики надосадочной жидкости и осадка, разбавленного до исходного объема, сравнивали с исходным раствором (рис. 4).

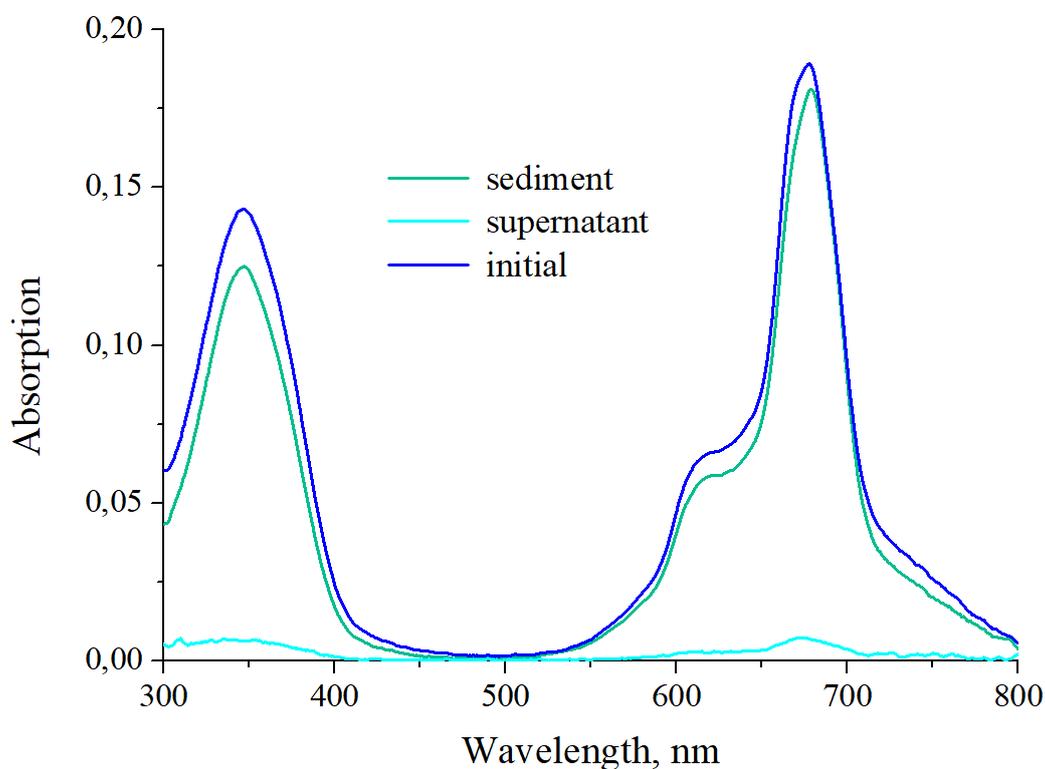


Рис. 4. Спектры поглощения Al-ФЦ/Si-НЧ ($n = 2.0 \cdot 10^3$): исходный водный раствор (initial), осадочная жидкость (sediment), и надосадочная жидкость (supernatant)

Как видно из рис. 4, оптическая плотность исходного и осадочного раствора отличается незначительно, что указывает на то, что большая часть Al-ФЦ была связана с поверхностью НЧ. Количество молекул, оставшихся в надосадочной жидкости, очень мало. Профили спектра поглощения всех трех растворов одинаковы и соответствуют агрегатам. Таким образом, можно предположить, что молекулы, оставшиеся в надосадочной жидкости, также связаны в комплексы с Al-ФЦ и не были осаждены из-за несовершенства процесса центрифугирования. Согласно анализу спектров, по меньшей мере 95% молекул Al-ФЦ образуют комплексы с НЧ (даже для комплексов с большим $n > 2000$).

Важным этапом в проверке эффективности фотосенсибилизаторов является изучение его воздействия на клеточные линии. Поэтому было решено рассмотреть свойства комплексов в питательной среде. Для изучения стабильности и оптических свойств комплексов в питательной среде были взяты образцы с максимальной степенью

агрегации (люминесценция которых почти полностью погашена). Осадок комплексов переносили в питательную среду (общий объем раствора довели до исходного). Оптические свойства комплексов в питательной среде сравнивали с соответствующими свойствами надосадочной жидкости и исходного раствора (рис. 5).

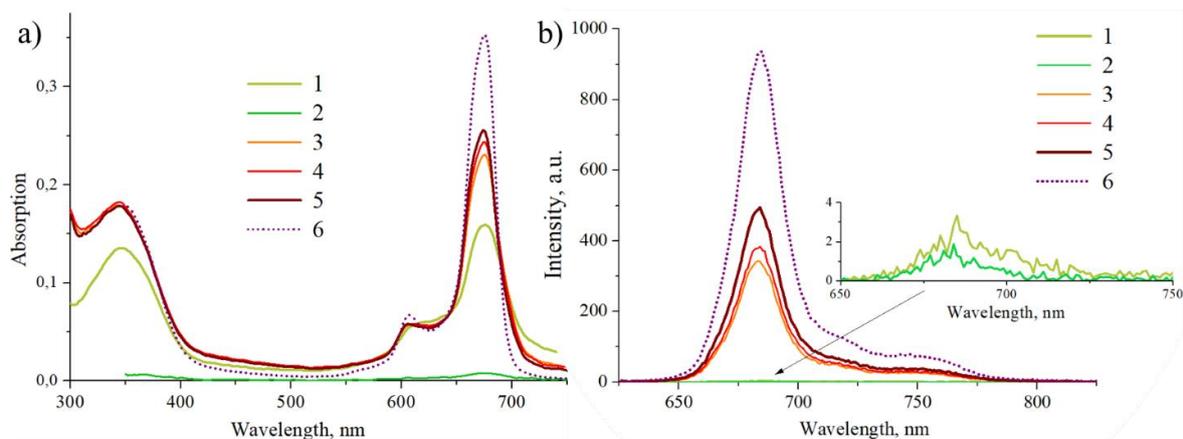


Рис. 5. Спектры а) поглощения и б) флуоресценции: 1) водного раствора Al-ФЦ/Si-НЧ ($n=1.8 \cdot 10^3$); 2) надосадочной жидкости; осадочной жидкости Al-ФЦ/Si-НЧ; 3) сразу после, 4) через 5 минут и 5) через 30 минут после перевода комплексов в питательную среду; б) водный раствор Al-ФЦ (концентрация соответствует концентрации молекул в растворе комплексов). Длина волны возбуждения 360 нм

Как видно из рис. 5, перенос комплексов в питательную среду приводит к сужению и увеличению оптической плотности полос поглощения, а также многократному увеличению интенсивности люминесценции раствора. Данные изменения оптических свойств растворов комплексов свидетельствуют о постепенной мономеризации Al-ФЦ (с течением времени спектры все больше напоминают спектры мономеров). Изменение МКД спектров также говорят в пользу постепенной мономеризации молекул в питательной среде. Однако полученной информации было недостаточно для того, чтобы определить, дезагрегируют ли молекулы на поверхности НЧ или они отделяются от поверхности НЧ и мономеризуются в растворителе. Для того чтобы ответить на этот вопрос, был исследован FRET от НЧ допированных AIS КТ к молекулам Al-ФЦ.

Анализ изменения интенсивностей сенсibilизированной флуоресценции акцептора и собственной флуоресценции донора, позволяет понять, какие процессы происходят с комплексами в питательной среде. Если молекулы покидают поверхность наночастиц (т.е. комплекс разлагается), ожидается увеличение интенсивности флуоресценции AIS-Si-НЧ и исчезновение сенсibilизированной флуоресценции Al-ФЦ. Если молекулы мономеризуются на поверхности AIS-Si-НЧ и распада комплексов не происходит, следует ожидать усиление сенсibilизированной флуоресценции Al-ФЦ. В ходе эксперимента комплексы ($n = 7.7$) были перенесены в питательную среду. На рис. 6 представлены спектры флуоресценции, полученные при анализе осадочной, надосадочной жидкости и исходного раствора комплексов.

Из рис. 6а видно, что перенос комплексов Al-ФЦ/AIS-Si-НЧ в питательную среду приводит к увеличению флуоресценции НЧ и снижению сенсibilизированной флуоресценции Al-ФЦ. Поскольку FRET возможен только в том случае, если молекулы находятся в непосредственной близости от НЧ, этот результат указывает на распад комплексов. Однако наличие слабой сенсibilизированной флуоресценции Al-ФЦ свидетельствует о том, что некоторые комплексы к моменту измерения все еще не распались в питательной среде. Вероятно, отделение молекул от поверхности наночастиц является длительным процессом аналогичным мономеризации Al-ФЦ.

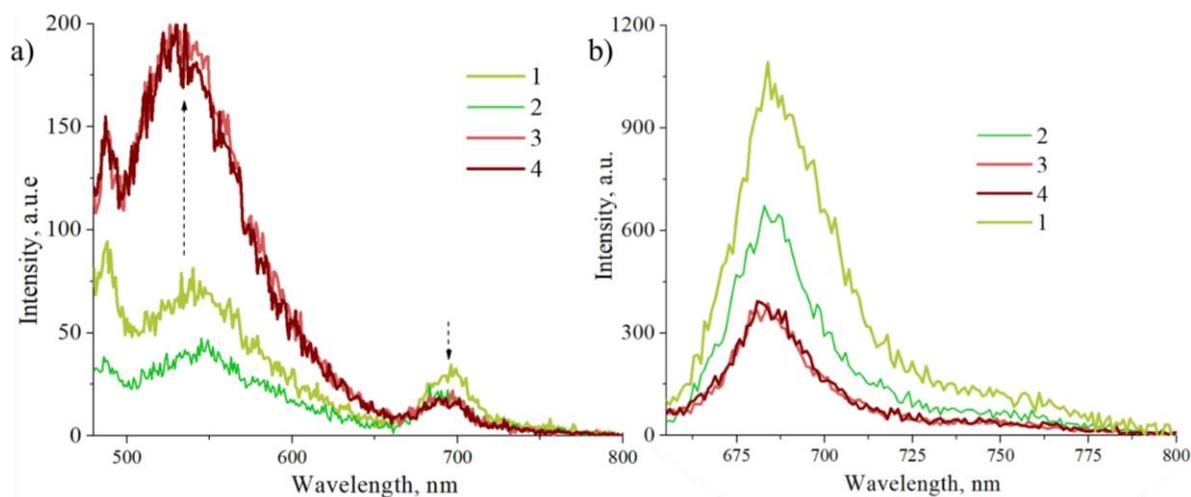


Рис. 6. Спектры флуоресценции: а) длина волны возбуждения 460 нм (Al-ФЦ не поглощает свет в этой области), пик в области 480 нм вызван aberrациями устройства; б) длина волны возбуждения 640 нм (область слабого поглощения AIS-Si-НЧ). 1) Водный раствор Al-ФЦ/AIS-Si-НЧ ($n=7.7$); 2) надосадочная жидкость Al-ФЦ/Si-НЧ; осадок Al-ФЦ/AIS-Si-НЧ 3) сразу после и 4) через 10 минут после перевода в питательную среду

Данная работа была посвящена выявлению закономерностей фотофизических свойств композитов на основе наночастиц пористого диоксида кремния и молекул Al-сульфофталоцианина. Согласно результатам исследования:

- в водном растворе были сформированы стабильные комплексы за счет электростатического взаимодействия между Al-ФЦ и НЧ;
- эффективность комплексообразования Al-ФЦ с НЧ в воде достигает 95% (даже для композитов с большим молярным отношением $n > 2000$);
- взаимодействие молекул Al-ФЦ с положительно заряженными НЧ приводит к образованию нелюминесцентных агрегатов Al-ФЦ на поверхности НЧ;
- степень агрегации Al-ФЦ зависит от относительной концентрации компонентов в растворе и способа создания раствора комплексов;
- перенос комплексов в питательную среду приводит к постепенной мономеризации молекул Al-ФЦ и разложению комплексов Al-ФЦ/НЧ.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что формирование комплекса за счет электростатического взаимодействия между его компонентами является спорным выбором, поскольку оно не обеспечивает требуемой стабильности создаваемых композитов.

В качестве завершения стоит отметить, что комплексы являются достаточно сложными объектами исследования, и при работе с ними необходимо учитывать множество параметров и неочевидных факторов влияния. Анализ их свойств в питательной среде является особенно важной задачей, поскольку он не только «дает ключи» для создания более эффективных агентов для фотодинамической терапии, но и позволяет корректно интерпретировать механизмы проникновения и накопления комплексов в клетках.

Литература

1. Trushina O.I., Novikova E.G., Sokolov V.V., et al. Photodynamic therapy of virus-associated precancer and early stages cancer of cervix uteri // Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. 2008. V. 5(4). P. 256–259.

2. Sibani S.A., McCarron P.A., Woolfson A.D., Donnelly R.F. Photosensitiser delivery for photodynamic therapy. Part 2: systemic carrier platforms // *Expert Opinion on Drug Delivery*. 2008. V. 5(11). P. 1241–1254.
3. Kruger C., Abrahamse H. Utilisation of Targeted Nanoparticle Photosensitiser Drug Delivery Systems for the Enhancement of Photodynamic Therapy // *Molecules*. 2018. V. 23(10). P. 2628–2649.
4. Chilakamarthi U., Giribabu L. Photodynamic Therapy: Past, Present and Future. *The Chemical Record*. 2017. V. 17. P. 1–29.
5. Gentile M.J., Horsley S.A.R., Barnes W.L. Localized exciton-polariton modes in dye-doped nanospheres: a quantum approach // *Journal of Optics*. 2015. P. 1–16.

Томилов Никита Андреевич

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42142,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: programmer174@icloud.com

Королёва Юлия Александровна

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н., преподаватель (квалификационная категория "преподаватель"),

e-mail: jakoroleva@itmo.ru

УДК 004.65

**РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

Н.А. Томилов

Научный руководитель – к.т.н., преподаватель Ю.А. Королёва

Аннотация

В работе описывается разработка системы хранения временных рядов под названием GoTSDB, предлагаемой к использованию в составе систем мониторинга состояния как на облачных серверах, так и на граничных устройствах. В рамках работы был проведен сравнительный анализ разработанного решения с аналогами, из которого следует, что исходя из баланса «потребление ресурсов – скорость работы системы» разработанная система хранения временных рядов является достойной альтернативой среди протестированных аналогов.

Ключевые слова

Временные ряды, хранение временных рядов, хранение данных, интернет вещей, мониторинг состояния.

Благодаря недавнему росту популярности Интернета Вещей, количество данных, которые собираются, хранятся и передаются, также существенно возросло. Количество предприятий, имеющих системы промышленного Интернета Вещей, растёт с каждым годом, и все больше предприятий подключаются к Интернету для целей облачного мониторинга и аналитики. Примером таких систем облачного мониторинга являются системы так называемого conditional monitoring, или мониторинга состояния. Это могут быть как устанавливаемые на предприятии (on-premise), так и облачные решения, цель которых – помощь в анализе возможных будущих неполадок на оборудовании - станке или турбине.

В связи с имеющейся тенденцией на внедрение облачных технологий, многие системы мониторинга состояния создаются с использованием облачных сервисов, и зачастую такие системы строятся по принципу, представленному на рис. 1, когда есть облако, в котором выполняются аналитические вычисления, есть граничные устройства, выполняющие роль «шлюза» для данных, и есть конечные устройства - датчики, передающие данные в облако через граничные устройства.

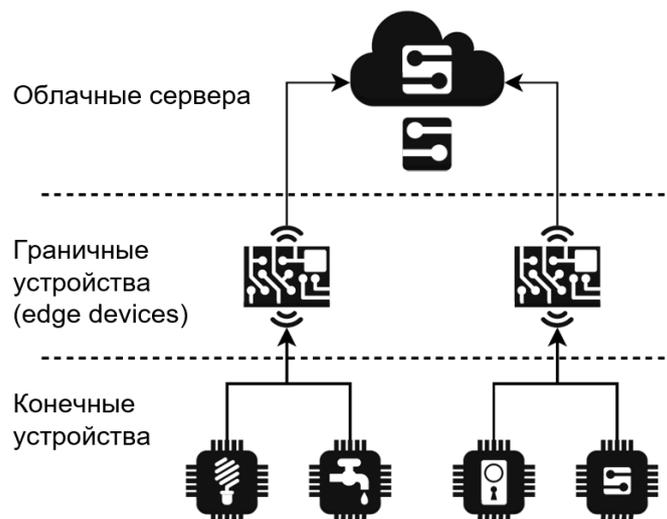


Рис. 1. Архитектура систем мониторинга

Первая проблема такого подхода заключается в том, что на граничных устройствах необходимо буферизовать данные на случай проблем со связью, однако устройства зачастую являются встраиваемыми компьютерами с не очень высокой производительностью, на которых уже запущено много другого ПО, и эксплуатация СУБД для хранения показаний датчиков параллельно с уже запущенным ПО либо невозможна, либо используемая СУБД будет очень медленно работать. Вторая проблема заключается в том, что зачастую роль такого облака играет один или несколько серверов, которые тоже не обладают большой производительностью, и традиционные средства хранения данных, то есть показаний датчиков, могут работать медленно, ухудшая пользовательский опыт работы с системой мониторинга.

Исходя из озвученных проблем, целью работы является увеличение скорости работы с данными путем разработки специализированной системы хранения временных рядов. Актуальность работы заключается в том, что разработанная система может быть использована в системах мониторинга, которые в настоящее время получают широкое распространение как часть рынка индустриального интернета вещей. При этом, разработанная система обладает некоторыми ограничениями – отсутствие гарантий режима реального времени и фиксированный API работы с системой, без применения языка запросов и других присущих традиционным СУБД функций.

В связи с особенностями предметной области, в которой разработанная система будет применяться, одним из требований является возможность использования системы как для долговременного хранения временных рядов, так и для кратковременной буферизации данных на граничных устройствах. В связи с ограниченными ресурсами таких устройств возникает требование использовать не интерпретируемый язык программирования (не Java и не Python), поэтому было принято решение вести разработку на языке Go. Еще одним требованием является возможность работы с системой из другого ПО, разрабатываемого на разных языках программирования, поэтому для взаимодействия с системой был выбран протокол gRPC. Он кроссплатформенный и поддерживается во многих языках программирования, при этом его преимущество перед REST API заключается в том, что на транспортном уровне используется протокол protobuf, который компактно упаковывает передаваемые данные и не требует преобразования в текстовые форматы типа JSON или XML.

Для того, чтобы разработать систему хранения временных рядов, необходимо понимать, как именно их можно хранить. Было выбрано 5 способов хранения, основанных на текстовых CSV-файлах, встраиваемых СУБД SQL-подобных (SQLite и

qL) и «ключ-значение» (bbolt [1]), а также на структуре данных LSM [2]. На языке Go были написаны 5 реализаций интерфейса, представленного на рис. 2, после чего были написаны бенчмарки, позволяющие выявить, какие из выбранных реализаций являются достаточно быстрыми для применения при реальной эксплуатации системы.

```
7 type TimeSeriesStorage interface {  
8     InitStorage()  
9     CloseStorage()  
10    Save(dataSource string, data map[string]*pb.TSPoints, expirationMillis uint64)  
11    Retrieve(dataSource string, tags []string, fromTimestamp uint64, toTimestamp uint64) map[string]*pb.TSPoints  
12    Availability(dataSource string, fromTimestamp uint64, toTimestamp uint64) []*pb.TSAvailabilityChunk  
13    String() string  
14 }
```

Рис. 2. Интерфейс TimeSeriesStorage

Было написано четыре бенчмарка, измеряющих время выполнения операций записи упорядоченных и неупорядоченных данных, а также время выполнения операций чтения на всем временном интервале доступных данных и на последних нескольких минут данных. По итогам бенчмарков был сделан вывод о том, что для эксплуатации системы лучше всего использовать методы хранения на основе bbolt и LSM, так как эти методы позволяли наиболее быстро работать с тестовыми данными.

После выбора способов хранения была разработана система хранения временных рядов под названием GoTSDB. Архитектура разработанной системы представлена на рис. 3.

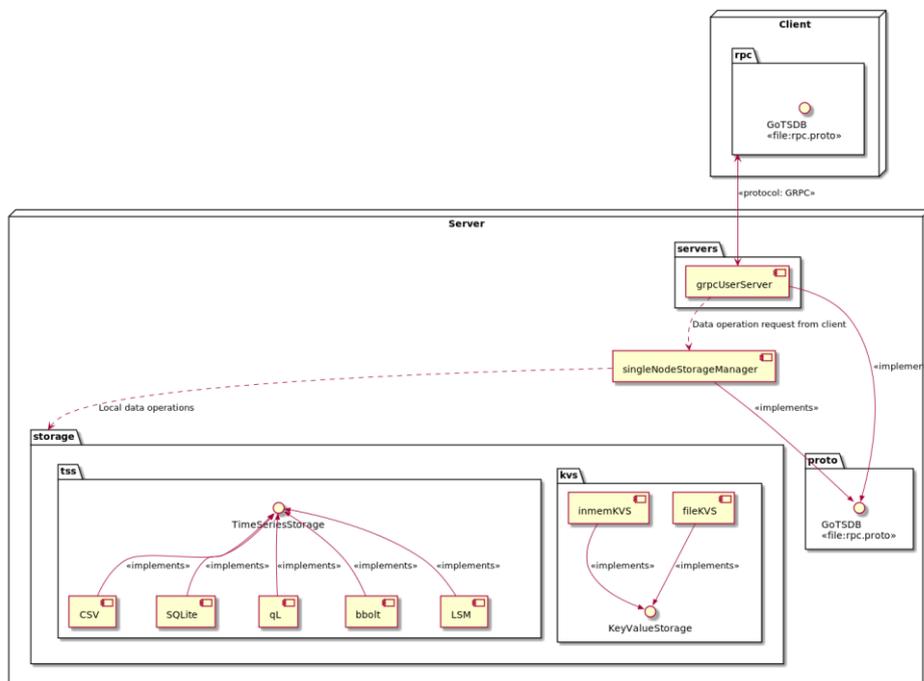


Рис. 3. Архитектура разработанной системы

Так, gRPC-клиент подключается к gRPC-серверу, который передаёт запросы в одну из реализаций интерфейса TimeSeriesStorage (для временных рядов) или KeyValueStorage (хранилище ключ-значение для метаинформации о временных рядах, например, частоты дискретизации датчиков). API системы предоставляет возможность записать необходимые временные ряды, прочитать необходимые временные ряды

(паттерн запросов – «для указанного источника данных и для указанных тэгов (сенсоров) извлечь все данные для указанного временного интервала) и запросить «доступность» данных. При этом API не предполагает удаления для временных рядов; предлагается записывать данные с указанным периодом времени, после которого данные будут считаться устаревшими, и система их удалит автоматически.

Для сравнения разработанного решения с аналогами на языке Kotlin были разработаны бенчмарки, проверяющие одну из реализаций интерфейса, показанного на рис. 4; с использованием gRPC API были сделаны реализации этого интерфейса на основе GoTSDb с двумя разными хранилищами на основе bbolt и LSM, а также на основе других решений, пригодных для хранения и буферизации временных рядов – NoSQL СУБД Cassandra, СУБД для хранения временных рядов InfluxDB, СУБД для хранения временных рядов на основе PostgreSQL под названием TimescaleDB, а также хранилища ключ-значения под названием Redis и вычислительной платформы Hazelcast, используемой как хранилище ключ-значение.

```
1 package com.nikitatomilov.api
2
3 import ...
4
5
6 typealias RawHistoricalData<T> = Map<String, Map<Long, T>>
7
8 data class DataRecord<T> {
9     val tag: String,
10    val origin: Long,
11    val value: T
12 }
13
14 @Suppress( ...names: "UnstableApiUsage")
15 interface TimeSeriesStorage {
16
17     fun connect()
18
19     fun disconnect()
20
21     fun saveData(data: List<DataRecord<Double>>, dataSource: String)
22
23     fun retrieveAvailability(dataSource: String, domain: Range<Long>): RangeSet<Long>
24
25     fun retrieveRawData(
26         dataSource: String,
27         tags: Set<String>,
28         domain: Range<Long>
29     ): RawHistoricalData<Double>
30
31     fun lastPoint(dataSource: String, tags: Set<String>, origin: Long): Map<String, Double?>
```

Рис. 4. Интерфейс для сравнения разработанной системы

С использованием набора библиотек JMH [3] были разработаны бенчмарки, измеряющие время, необходимое для выполнения операций чтения и записи для одной из реализаций вышеуказанного интерфейса. Первый бенчмарк проверяет скорость чтения данных трех сенсоров для указанной длины временного интервала. Сенсоры имеют частоту дискретизации 1Гц, было предварительно записано три часа данных. Стоит отметить, что для тестирования все системы запускались в Docker и проводился мониторинг потребляемых контейнером ресурсов – ЦПУ и ОЗУ. Результаты первого бенчмарка представлены на рис. 5 и рис. 6. Отмечено, что Cassandra на всём интервале измерений потребляла более 8,5 гигабайт ОЗУ, поэтому на графике потребления ОЗУ она не отображена.

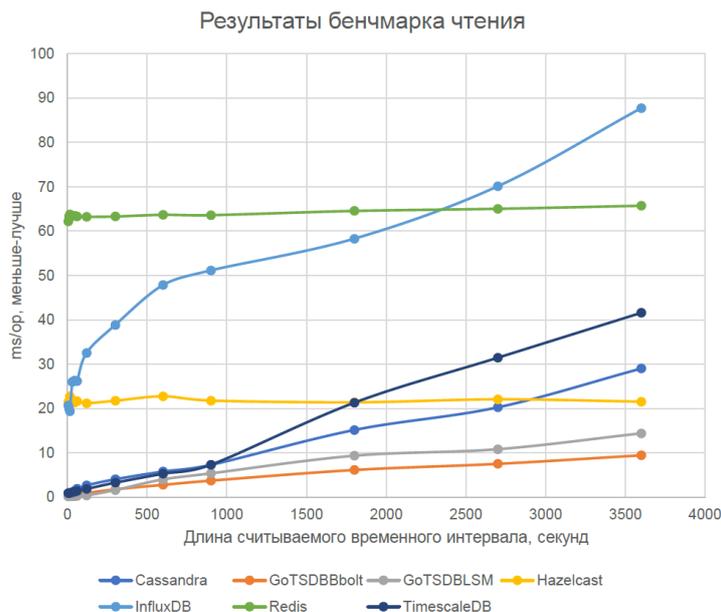


Рис. 5. Результаты бенчмарка чтения

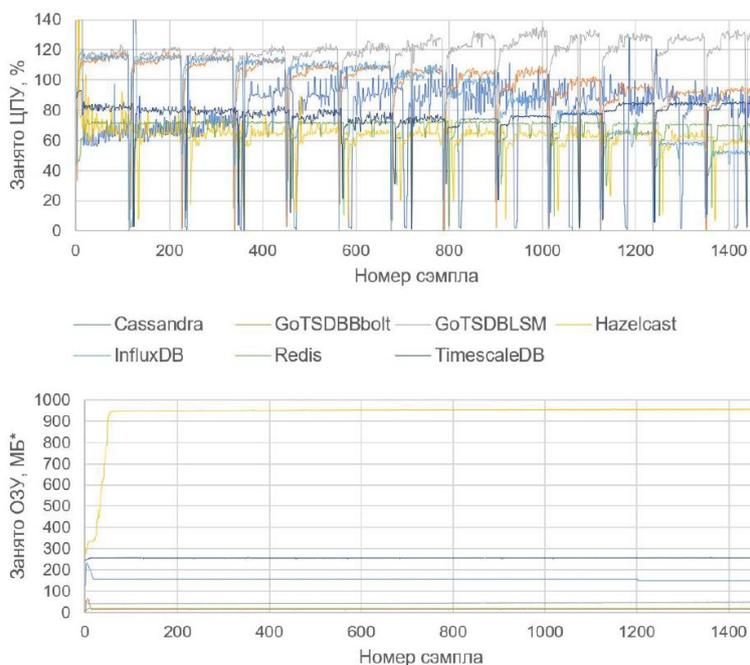


Рис. 6. Потребление ресурсов для бенчмарка чтения

На представленных графиках видно, что GoTSDB требует меньше всего времени для чтения данных. Разработанная система при использовании обоих механизмов хранения довольно сильно нагружает процессор, но при этом потребление памяти контейнером не превышает 50 мегабайт, что заметно меньше остальных СУБД и на два порядка меньше Cassandra, занимающей больше 8 гигабайт.

Второй бенчмарк проверяет скорость записи данных трех сенсоров для указанной длины временного интервала. Сенсоры имеют частоту дискретизации 1Гц. Результаты второго бенчмарка представлены на рис. 7 и рис. 8. Отмечено, что Cassandra на всём интервале измерений потребляла более 8,5 гигабайт ОЗУ, поэтому на графике потребления ОЗУ она не отображена.

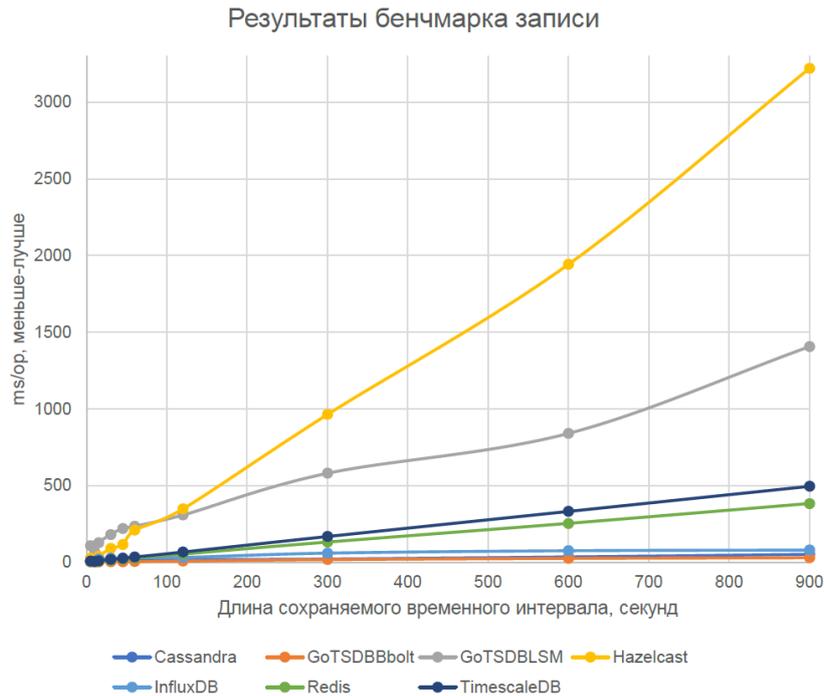


Рис. 7. Результаты бенчмарка записи

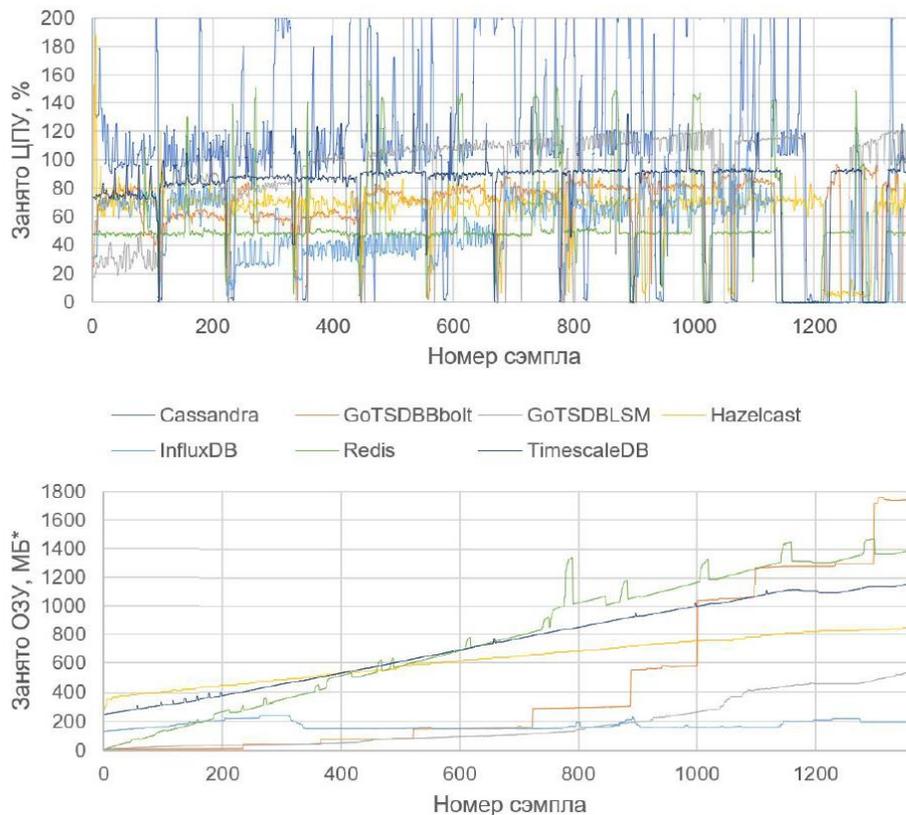


Рис. 8. Потребление ресурсов для бенчмарка записи

На представленных графиках видно, что GoTSDB на основе bolt требует меньше всего времени для записи данных. GoTSDB на основе LSM является одной из самых медленных; это связано с механизмом работы самой LSM, а точнее, SST-файлов, на

основе которых она была создана. Разработанная система при использовании обоих механизмов хранения довольно сильно нагружает процессор, но потребление оперативной памяти остается умеренным и не превышает 500 мегабайт, если происходит запись менее 10 минут данных одновременно.

По итогам проведенного тестирования можно сказать, что разработанная в система хранения временных рядов GoTSDB на основе bbolt превосходит имеющиеся альтернативы с точки зрения времени выполнения операций скорости чтения и записи данных, а также по используемому Docker-контейнером объёму оперативной памяти для всех протестированных сценариев использования, в которых не требуется одновременная запись очень большого объёма данных. С точки зрения загруженности ЦПУ разработанная система хранения временных рядов не является самой легковесной, в связи с чем для применения разработанной системы в условиях жёстких аппаратных ограничений могут понадобиться дополнительные модификации программного кода. Тем не менее, исходя из баланса «потребление ресурсов – скорость работы системы», разработанная система хранения временных рядов при использовании механизма хранения bbolt является достойной альтернативой среди протестированных аналогов.

В дальнейшей работе планируется добавление в разработанную систему механизмов прореживания данных для того, чтобы можно было запрашивать фиксированное число точек для временного интервала произвольной длины, что является полезным для применения разработанной решения в системах мониторинга и визуализации данных.

Литература

1. GitHub - etcd-io/bbolt: An embedded key/value database for Go. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/etcd-io/bbolt> (дата обращения: 22.06.2021).
2. O’Neil, P., Cheng, E., Gawlick, D. «The log-structured merge-tree (LSMtree)» // Acta Informatica 33. 351–385 (1996). doi 10.1007/s002360050048.
3. GitHub - openjdk/jmh [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/openjdk/jmh> (дата обращения: 22.06.2021).

Устинов Константин Эдуардович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы № W42511,

направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность,

e-mail: kasta.ustinov.97@mail.ru

Чубченко Ян Константинович

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: chubchenko.yan@gmail.com

УДК 621.311.24:553.982.2

**АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
МОРСКИХ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ**

К.Э. Устинов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Я.К. Чубченко

Аннотация

В работе рассмотрена конструкция ветрогенераторов. Дано описание процесса монтажа ветряной электростанции, основные этапы. Изучены проблемы, возникающие при эксплуатации ветрогенераторов в условиях пониженных температур. Выполнено эколого-экономическое обоснование внедрения ветроэнергетических установок. Представлена климатическая характеристика исследуемого региона и проанализирована повторяемость метеорологических условий, при которых вероятно обледенение ветрогенератора.

Ключевые слова

Ветрогенератор, условия обледенения, морская нефтедобывающая платформа, выработка энергии, ветропотенциал.

В настоящее время к районам крайнего севера и приравненным к ним местностям отнесены районы с площадью более 11 млн. кв. км, что составляет более 60% территории России. В Арктической зоне добывается 95% газа, 75% нефти. Предприятия по добыче нефти для своего функционирования используют углеводородное топливо, что в свою очередь оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Помимо предприятий есть отдаленные друг от друга маленькие населенные пункты, включать которые в единую энергосеть нерентабельно. Одним из решений данной проблемы является использование альтернативных источников энергии, которые в суровых климатических условиях могли бы сократить потребление углеводородного топлива.

Поскольку Россия северная страна, даже в средних широтах общий уровень инсоляции довольно низкий [1].

Поэтому наиболее эффективным способом экономии топливно – энергетических ресурсов, а также снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух является использование ветряных энергоустановок.

Цель работы: Оценка возможности использования альтернативных источников энергии при эксплуатации морских нефтедобывающих платформ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить конструкцию ветрогенератора;
- 2) рассмотреть процесс установки ветряных систем;
- 3) изучить проблемы, возникающие при эксплуатации ветрогенераторов в регионах с суровыми климатическими условиями;
- 4) сделать эколого-экономическое обоснование внедрения ветроэнергетических установок;
- 5) составить климатическую характеристику местности для оценки возможных трудностей в процессе эксплуатации системы.

Ветряная турбина преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую энергию трехфазного переменного тока.

Составные части: гондола, ротор, башня, лопасти, фундамент.

Гондола – элемент конструкции ветрогенератора, имеющий обтекаемую форму и предназначенный для размещения генератора и других устройств.

Ротор извлекает кинетическую энергию из ветра и преобразует ее в энергию вращения в трансмиссии. Текущее поколение турбин с горизонтальной осью в большинстве случаев имеет три лопасти.

Башня обычно представляет собой трубчатую стальную конструкцию, которая поддерживает гондолу. Она также обеспечивает доступ к гондоле и вмещает электрическое и управляющее оборудование.

В ходе эксплуатации промышленных ВЭУ в регионах с пониженной температурой возникают различные проблемы:

- обледенение лопастей и других частей генератора. Обледенение способно увеличить массу лопастей и снизить эффективность работы ветрогенератора. Для эксплуатации в арктических областях части ветрогенератора должны быть изготовлены из специальных морозостойких материалов, а также производить обработку специальными противообледенительными жидкостями.

- отключение тормозной системы, при этом лопасть может набрать слишком большую скорость и, как следствие, ломается, нужно использовать электромеханическую систему торможения, она более устойчива к низким температурам

- из-за большого количества осадков велика вероятность образования коррозии на рабочих частях генератора, поэтому нужно делать антикоррозионное покрытие статора и ротора генератора.

- многие приборы не приспособлены к работе при низких температурах, например датчики скорости и направления ветра. Для корректной работы приборов предусмотрена установка системы обогрева гондолы и датчиков скорости и направления ветра;

- при необходимости использования накопителей энергии обычные аккумуляторы плохо работают при низких температурах. В таком случае лучше использовать суперконденсаторы, они более устойчивы к низким температурам.

Был произведен расчет Ветряной ЭУ для нефтедобывающей платформы Пильтун-Астохская Б.

Платформа «Пильтун-Астохская-Б» ПА-Б – самая крупная платформа гравитационного типа, установленная на проекте «Сахалин-2». С конца 2008 года на платформе ведется добыча нефти и попутного газа на площади Пильтун-Астохского нефтяного месторождения.

На платформе ведется добыча с 21 скважины. Есть перечень оборудования, для обслуживания 1 скважины [2].

Из нормативной документации известны номинальная мощность и режим работы каждого из энергопотребителей. Это позволяет определить электропотребление платформ.

Исходя из потребляемой мощности можно предложить соответствующие ветрогенераторы. Рассмотрим установки с номинальной мощностью 50 кВт.

Для определения количества ветрогенераторов необходимо потребляемую мощность объекта разделить на вырабатываемую мощность ветроустановки:

При среднегодовой скорости ветра в 6 м/с ветрогенератор сможет вырабатывать порядка 30% от номинальной мощности, т.е. 15 кВт.

Срок окупаемости составляет 6 лет. Гарантийный срок службы ВЭУ 20 лет

Климат севера Сахалина характеризуется:

1) продолжительной и чрезвычайно холодной зимой (5–7 месяцев);

Среднее количество дней со средней температурой воздуха ниже 0°C составляет 192,3 для Пильтун-Астохского месторождения;

2) затяжной, холодной весной с поздними снегопадами и туманами; температура воздуха подымается выше нуля ближе к концу апреля–началу мая;

3) сравнительно коротким летом (2–3 месяца), дождливым и прохладным; сказывается влияние льдов, которые в этот период уносятся течением из Охотского моря на юг вдоль восточного побережья остров;

4) солнечной и преимущественно теплой осенью;

5) сменой направлений воздушных потоков 2 раза в год вместе со сменой центров атмосферного давления;

6) среднегодовой температурой и количеством осадков -1°C и 600 мм соответственно [3].

Годовые показатели уровня осадков максимальны в период с августа по октябрь и минимальны с января по февраль; сентябрь и октябрь являются самыми влажными месяцами со средним уровнем осадков в октябре 81 мм.

Осадки в период с ноября по февраль выпадают в основном в виде снега.

Из климатических таблиц основных характеристик погоды: температуры воздуха (минимальной, максимальной, средней) и количества осадков за каждые сутки по месяцам за период с 1981 по 2021 год сделана выборка метеорологических условий и составлены таблицы количества дней сочетания температуры воздуха (в интервале от 0 до минус 5°C) и наличия осадков по месяцам за период 1981-2021 г.

На основании этих данных рассчитана повторяемость погодных условий для вероятного обледенения ветрогенератора за период 1981-2021г.

Исходя из климатических данных, условия обледенения лопастей ветрогенераторов (гололедно-изморозевые явления и налипание мокрого снега) наиболее вероятны в переходные периоды: весной (конец марта, апрель, май) и осенью (конец октября, ноябрь), с максимумом в апреле и ноябре [4].

Исходя из синоптических условий: наиболее благоприятные условия создаются при прохождении атмосферных фронтов при замерзании переохлажденного дождя, мороси или капель тумана и налипании мокрого снега при отрицательной температуре в приземном слое воздуха.

Таким образом, максимум погодных условий для обледенения ветрогенератора приходится на апрель (повторяемость 21 % за месяц) и ноябрь (повторяемость 13 % за месяц). Обработка лопастей ветрогенераторов противообледенительной жидкостью будет требоваться в среднем 23 дня (повторяемость 6 % за год), фактически от 12 до 45 дней в году. Опасное обледенение ветрогенератора (при умеренных или сильных осадках) будет наблюдаться еще реже (в среднем 20 дней в году).

В результате проделанной работы были изучены:

1) конструкция ветрогенератора;

- 2) процесс установки ветряных систем;
- 3) проблемы, возникающие при эксплуатации ветрогенераторов в регионах с суровыми климатическими условиями;
- 4) выполнено эколого-экономическое обоснование внедрения ветроэнергетических установок;
- 5) составлена климатическая характеристика местности для оценки возможных трудностей в процессе эксплуатации системы.

В результате проведенных расчетов определены потребности в электроэнергии.

На основе полученных данных для обеспечения альтернативного электроснабжения были предложены ветрогенераторы необходимой мощности.

Выполнен экономический расчет внедрения системы и определен срок окупаемости проекта – 6 лет.

На основе климатических данных метеорологических станций севера Сахалина за период с 1981 по 2021 год сделана выборка метеорологических условий для оценки вероятного обледенения ветрогенератора, рассчитана повторяемость этих условий по месяцам и за год. Выявлено, что обледенение ветрогенератора на севере Сахалина наиболее вероятно в апреле и ноябре. За год повторяемость дней с отложением льда и налипанием мокрого снега в рассматриваемом районе составляет порядка 6 %.

Внедрение альтернативных источников может стать дополнительным, а в будущем и приоритетным источником энергии для территорий, отдаленных от общей энергетической системы.

Учитывая ветроэнергетический потенциал России, особенно в прибрежных морских районах и районах Крайнего Севера, замена традиционных источников позволит сэкономить десятки млрд рублей в год за счет экономии углеводородного топлива, а также снизит антропогенную нагрузку на окружающую среду [5].

Данная работа показывает, что даже в местах шельфовой добычи углеводородного топлива есть возможность внедрять альтернативные источники для получения энергии. В мире сокращается запас природных ископаемых для производства электричества. Поэтому так важно развивать альтернативные источники энергии.

Альтернативные источники энергии – это будущее энергетической промышленности и развивать их нужно уже сейчас.

Литература

1. Богдаев В. И., Перспективы и проблемы освоения месторождений нефти и газа шельфа Арктики // Бурение и Нефть. 2012. № 11. С. 3 – 8.
2. Лукутин Б.В. Нетрадиционные способы производства электроэнергии: учеб. пособие / Лукутин Б.В., Сурков М.А. Томск: Томский политехнический университет. 2018. 193 с.
3. Дуничкин И.В., Поддаева О.И., Суверина Е.А. Перспективные проекты размещения энергетических установок ВИЭ у морских платформ и на них // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2018. №1. С. 35 – 45.
4. Подробности климата Сахалинской области. URL: <http://sknc.narod.ru> (дата обращения 10.05.2021).
5. Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/32053.htm> (дата обращения 10.05.2021).

Фирсова Алина Константиновна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р42072,

направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,

e-mail: alinafirsova178@gmail.com

Государев Илья Борисович

Год рождения: 1979

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.пед.н., доцент,

e-mail: goss@itmo.ru

УДК 004.04

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ СТАТИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ В JAVASCRIPT

А.К. Фирсова

Научный руководитель – к.п.н., доцент И.Б. Государев

Работа выполнена в рамках темы НИР «Сравнительный анализ реализаций статической типизации в JavaScript».

Аннотация

В работе рассмотрены средства обеспечения статической типизации для языка JavaScript, их влияние на процесс разработки и производительность кода. Было проведено тестирование рассмотренных средств и сравнение полученных результатов с JavaScript с целью получения наглядных данных. На основе проведенного анализа полученных данных могут быть сделаны выводы относительно целесообразности использования в проекте некоторых из рассмотренных средств с учетом сложности их внедрения и роста производительности.

Ключевые слова

Производительность, WebAssembly, JavaScript, typed arrays, TypeScript, Flow, DOM.

В течение нескольких последних лет набирает популярность идея использования в гибких языках, обладающих слабой динамической типизацией, статической и/или строгой типизации. У этого решения есть как сторонники, считающие слабую динамическую типизацию источником ошибок, причиной значительного снижения производительности и качества кода при использовании таких языков, так и противники, говорящие о том, что гибкость – основное преимущество языков со слабой динамической типизацией, увеличивающее скорость разработки и предоставляющее разработчику большой выбор решений и подходов.

Однако, в настоящее время в открытых источниках можно найти достаточно небольшое количество информации, раскрывающей тему использования статической типизации в языке JavaScript, несмотря на рост популярности данной идеи. Также опубликовано недостаточно результатов тестирования различных подходов к типизации для этого языка.

У JavaScript достаточно низкий порог вхождения, часто именно этот язык выбирают для себя люди, совершающие свои первые шаги в веб-разработке. При

отсутствии контроля со стороны более опытного разработчика качество кода может значительно упасть, а количество ошибок возрасти. Код низкого качества может привести к высоким материальным издержкам для заказчика. Частично факт большого количества ошибок может объясняться слабой динамической типизацией. Добавление в проект некоторых средств контроля, таких как средства обеспечения статической типизации, могут решить эту проблему.

Обозреваемые средства могут быть разделены на две группы. В первую входят те, что влияют только на процесс разработки, не затрагивая производительность. Такие средства – Flow и TypeScript. Это «языки» поверх JavaScript, добавляющие строгую статическую типизацию. Между Flow и TypeScript есть некоторые различия, самое основное – архитектуры, лежащие в основе их компиляторов. Компилятор Flow использует графовую архитектуру, таким образом он может выводить неуказанные пользователем типы. Компилятор TypeScript использует AST архитектуру, что означает, что как только он доходит до сущности, для которой необходимо обозначить тип, он использует либо явно указанный пользователем вариант, либо использует тип any. Такие средства могут снизить количество ошибок в коде на 15% [1].

Средства, относящиеся ко второй группе, напротив, направлены на увеличение производительности кода. Эти средства – TypedArrays, WebAssembly, NaCl и asm.js.

Вопреки распространенному мнению о наличии в JavaScript только динамической типизации, в этом языке существует объект, обладающий статической типизацией – TypedArray или типизированный массив. Следует отметить, что TypedArray не является массивом – это массивоподобное представление буфера с бинарными данными. TypedArrays обеспечивают доступ к сырой памяти. В теории могут значительно повысить скорость работы с числовыми массивами, а также сократить потребление памяти при использовании вместо JSON при работе с WebSocket'ами, по некоторым данным, в 6 раз.

WebAssembly, NaCl и asm.js – технологии, обеспечивающие возможность использования скомпилированных фрагментов кода на высокопроизводительных языках (таких как C и C++) в коде на JavaScript. Таким образом, фаза интерпретации пропускается. Однако, на данный момент из перечисленных средств поддерживается только WebAssembly.

Было проведено тестирование перечисленных средств.

Для Flow и TypeScript сравнение с JavaScript было бы бессмысленным, так как кроме явного эффекта в виде добавления статической типизации, ни на производительность, ни на количество потребляемой памяти влияние не оказывается.

При выборе инструмента, фреймворка или библиотеки, важным пунктом является размер сообщества, так как даже у опытных разработчиков могут возникать вопросы и проблемы, решение которых требует помощи.

Существует несколько вариантов оценить популярность того или иного инструмента среди разработчиков. Первый – количество звезд на GitHub.

На конец апреля 2021 года количество звезд для Flow – 21,3 тысячи (рис. 1), а для TypeScript – 70,9 тысяч (рис. 2). Таким образом, основываясь на этом показателе, TypeScript обходит Flow более чем в 3 раза.

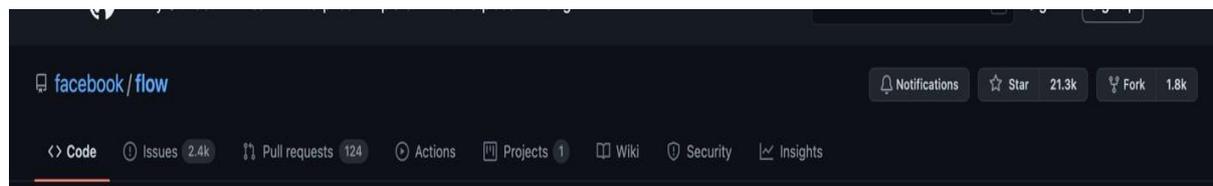


Рис. 1. Количество звезд на GitHub для Flow

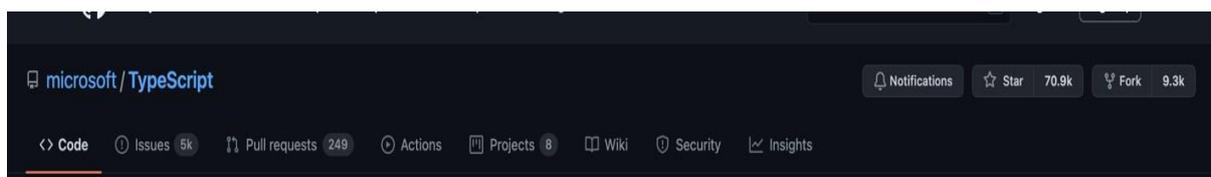


Рис. 2. Количество звезд на GitHub для TypeScript

Также можно использовать такие сайты для сравнения количества скачиваний npm пакетов, как npm-stat, npm-trends. Для npm-stat был выставлен интервал с января 2019 года по 14 мая 2021 года (рис. 3).

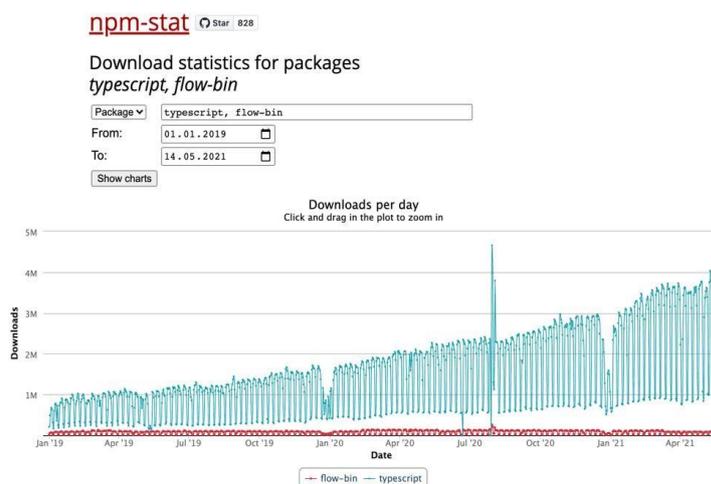


Рис. 3. Сравнение количества скачиваний Flow и TypeScript с использованием npm-stat

Количество скачиваний TypeScript значительно превосходит количество скачиваний для Flow – примерно в 40 раз к концу периода сравнения. Также можно заметить, что популярность TypeScript растет (примерно в 7 раз), в то время как показатели для Flow остались на том же уровне.

Также было проведено сравнение с использованием npm-trends за 2 года. Результат представлен на рис. 4. При сравнении рис. 3 и 4 видно, что инструменты npm-stat и npm-trends показали схожие результаты.

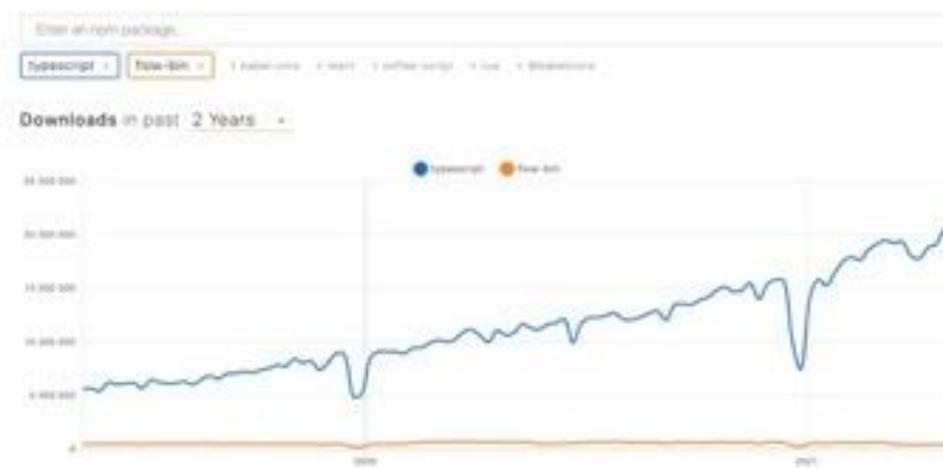


Рис. 4. Сравнение количества скачиваний Flow и TypeScript с использованием npm-trends

Также было принято решение проанализировать количество запросов в поисковой системе Google для каждого из сравниваемых средств. Для этого был использован инструмент Google Trends.

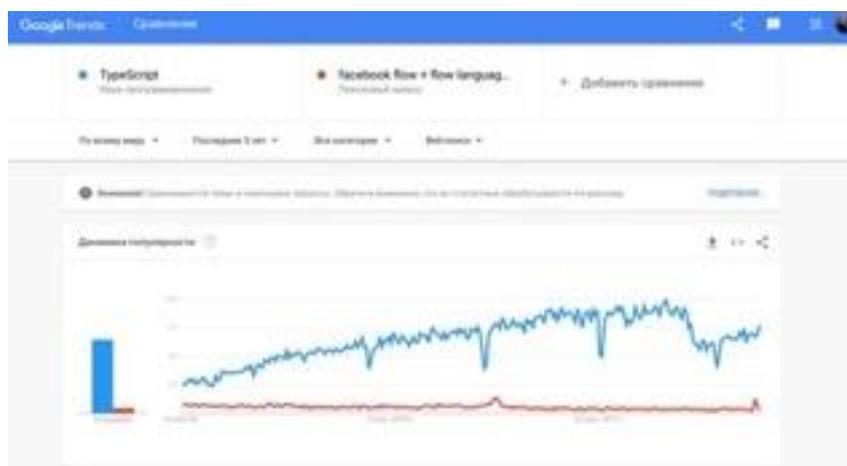


Рис. 5. Сравнение количества поисковых запросов для Flow и TypeScript с помощью Google Trends

Как видно из рис. 5, по количеству запросов в поисковой системе Google TypeScript также обходит Flow.

Следует отметить, что на GitHub также были созданы репозитории, хранящие определения типов для различных библиотек и пакетов – DefinitelyTyped для TypeScript и flow-typed для Flow. Если также сравнить количество звезд, поставленных пользователями этим репозиториям, то TypeScript обойдет Flow в 5,6 раз при значениях 21,3 тысяч для TypeScript и 3,8 тысяч для Flow.

Еще один вариант сравнения Flow и TypeScript – анализ количества необходимых для использования каждого из инструментов установок. В проекте использовались Node.js версии 14.16.0, npm версии 7.13.0 а также VS Code в качестве IDE.

Для Flow доступны два варианта компиляции – с использованием либо Babel, либо flow-remove-types. Все шаги выполнялись в соответствии с инструкцией на официальном сайте Flow.

При выборе варианта компиляции с использованием Babel необходимо добавить в проект три зависимости: @babel/core @babel/cli @babel/preset-flow и создать .babelrc файл для указания @babel/preset-flow в качестве пресета. Для компиляции используется команда вида babel [путь к исходным файлам] -d [путь для размещения итоговых файлов]. Далее был установлен сам Flow (npm install --save-dev flow-bin).

Также был создан второй проект для тестирования второго способа компиляции с использованием flow-remove-types. Необходимо установить одноименный npm-пакет и добавить соответствующую команду в файл package.json, а также указать в зависимостях сам flow.

Для добавления в проект TypeScript следует использовать только команду npm install typescript. Запуск компилятора осуществляется с помощью команды tsc [имя файла].

При использовании в VS Code поддержка статического анализа кода для TypeScript возможна из коробки. Для Flow требуется дополнительно установить расширение “Flow Language Support” и добавить строку “// @flow” в начало файла.

При использовании TypeScript расширение файла должно быть либо ts, либо tsx (если используется jsx). При использовании Flow расширение файлов остается стандартным.

Для сравнения производительности JavaScript с использованием типизированных массивов и без них был написан код для заполнения массива псевдослучайными числами [2]. Код был запущен 5 раз. Результат запуска представлен на рис. 6. В каждом запуске теста код с использованием типизированных массивов был выполнен быстрее идентичного кода с использованием обычных JavaScript массивов.

```
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node test.js
array x 171 ops/sec ±0.55% (86 runs sampled)
typed-array x 890 ops/sec ±1.00% (90 runs sampled)
Fastest is typed-array
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node test.js
array x 166 ops/sec ±0.88% (84 runs sampled)
typed-array x 855 ops/sec ±0.35% (92 runs sampled)
Fastest is typed-array
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node test.js
array x 164 ops/sec ±0.95% (83 runs sampled)
typed-array x 854 ops/sec ±0.41% (93 runs sampled)
Fastest is typed-array
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node test.js
array x 162 ops/sec ±1.61% (82 runs sampled)
typed-array x 866 ops/sec ±0.36% (94 runs sampled)
Fastest is typed-array
```

Рис. 6. Результат сравнения обычных и типизированных JavaScript массивов

При анализе результатов проведенного тестирования был сделан вывод, что для описанной задачи типизированные массивы продемонстрировали скорость в 5 раз превосходящую скорость обычных массивов.

На основе вышеприведенного кода был создан еще один тест для оценки изменения показателей производительности кода при манипуляциях с DOM [3]. Код был запущен в браузере. Для сравнения влияния замены обычных массивов на типизированные на взаимодействие с DOM, было принято решение сравнить показатели FPS. Результаты измерений для типизированных массивов представлены на рис. 7, а для обычных массивов на рис. 8.

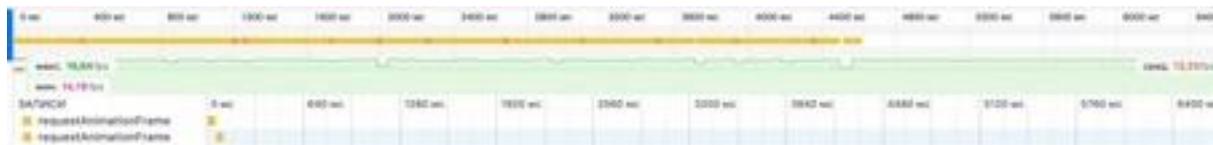


Рис. 7. Показатели FPS для анимации с использованием типизированных JavaScript массивов

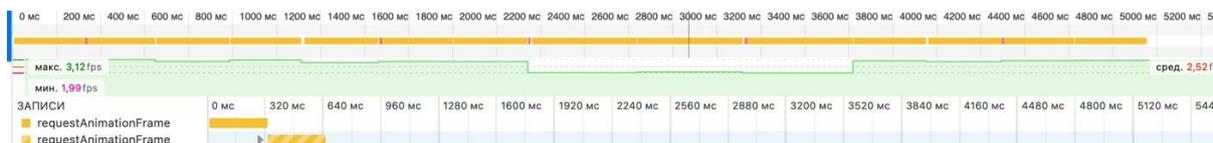


Рис. 8. Показатели FPS для анимации с использованием обычных JavaScript массивов

При сравнении полученных результатов видно, что типизированные массивы превосходят обычные примерно в 4,5 раза по среднему показателю. По объему потребляемой памяти ощутимой разницы между типами массивов нет. Показатели потребления памяти представлены на рис. 9 для типизированных массивов, и на рис. 10 для обычных массивов.



Рис. 9. Количество потребляемой памяти кодом с использованием типизированных массивов



Рис. 10. Количество потребляемой памяти кодом с использованием обычных массивов

Таким образом, можно сделать вывод, что типизированные массивы могут значительно увеличить показатели, связанные с производительностью кода.

Код для тестирования производительности WebAssembly модулей был получен с помощью Emscripten из программ на языке C [4]. В результате работы компилятора были получены сущности, содержащие в себе экспортируемые функции (имена экспортируемых функций следует явно указать при компиляции). Для каждого WebAssembly модуля тест был запущен несколько раз.

Первый этап тестирования был основан на вычислении числа Фибоначчи. Первые три цикла были запущены с передачей в качестве аргумента функциям числа 10. Результат представлен на рис. 11.

```
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 6,103,349 ops/sec ±0.70% (93 runs sampled)
JavaScript x 2,428,890 ops/sec ±0.47% (94 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 6,128,441 ops/sec ±0.51% (90 runs sampled)
JavaScript x 2,425,100 ops/sec ±0.52% (92 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 6,055,707 ops/sec ±1.04% (90 runs sampled)
JavaScript x 2,289,411 ops/sec ±0.55% (92 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
```

Рис. 11. Тестирование кода для вычисления числа Фибоначчи с аргументом 10

Таким образом, WebAssembly обошел JavaScript примерно в 2,5 раза.

Следующие три цикла тестирования были запущены с аргументом, равным 20. Результат представлен на рис. 12.

```
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 50,763 ops/sec ±0.41% (95 runs sampled)
JavaScript x 20,292 ops/sec ±0.37% (94 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 50,717 ops/sec ±0.46% (89 runs sampled)
JavaScript x 20,308 ops/sec ±0.50% (94 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 50,433 ops/sec ±0.52% (94 runs sampled)
JavaScript x 18,341 ops/sec ±0.55% (91 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
```

Рис. 12. Тестирование кода для вычисления числа Фибоначчи с аргументом 20

WebAssembly также обошел JavaScript примерно в 2,5 раза. Заключительный цикл тестирования для вычисления числа Фибоначчи был запущен для аргумента, равного 30. Результат представлен на рис. 13.

```
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 425 ops/sec ±0.50% (92 runs sampled)
JavaScript x 158 ops/sec ±0.45% (81 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 426 ops/sec ±0.45% (93 runs sampled)
JavaScript x 166 ops/sec ±0.70% (84 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 426 ops/sec ±0.43% (93 runs sampled)
JavaScript x 160 ops/sec ±0.45% (80 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
```

Рис. 13. Тестирование кода для вычисления числа Фибоначчи для аргумента 30

Для данного цикла WebAssembly обошел JavaScript примерно в 2,6 раз.

Можно сделать вывод, что разница в скорости выполнения программы на WebAssembly и на JavaScript увеличивается с ростом сложности вычислений.

На втором этапе тестирования был использован код для умножения целых чисел.

Результаты запуска теста представлены на рис. 14. Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод, что при проведении данного теста WebAssembly обходит JavaScript чуть менее, чем в 2 раза.

```
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 58,797,111 ops/sec ±0.48% (91 runs sampled)
JavaScript x 33,265,443 ops/sec ±0.45% (93 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 54,241,599 ops/sec ±0.60% (87 runs sampled)
JavaScript x 30,738,816 ops/sec ±0.53% (94 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 62,326,970 ops/sec ±0.77% (89 runs sampled)
JavaScript x 32,971,497 ops/sec ±0.46% (95 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays %
```

Рис. 14. Тестирование кода для вычисления произведения целых чисел

Заключительный этап тестирования предполагает сложение целых чисел с помощью WebAssembly и JavaScript.

Как и на предыдущих этапах, тест был запущен несколько раз. Результат представлен на рис. 15.

```
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 91,376,982 ops/sec ±0.39% (96 runs sampled)
JavaScript x 9,513,458 ops/sec ±0.35% (97 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 93,760,549 ops/sec ±0.36% (93 runs sampled)
JavaScript x 9,510,836 ops/sec ±0.27% (96 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
alina@MacBook-Pro-Alina typed arrays % node web-assembly.js
WebAssembly x 93,989,540 ops/sec ±0.32% (94 runs sampled)
JavaScript x 9,513,345 ops/sec ±0.31% (95 runs sampled)
Fastest is WebAssembly
```

Рис. 15. Тестирование кода для вычисления суммы целых чисел

На последнем этапе тестирования WebAssembly обошел JavaScript в 10 раз. Таким образом, можно сделать вывод, что использование WebAssembly модулей может

значительно повысить скорость выполнения кода. Однако требуется замечание, при работе с массивами следует использовать Typed Arrays, так как передача не типизированного массива в качестве аргумента функции wasm-модуля может значительно уменьшить или полностью убрать полученное преимущество в скорости. Тестирование asm.js и NaCl не проводилось, так как эти средства больше не поддерживаются.

При анализе результатов сравнения Flow и TypeScript можно сделать вывод, что TypeScript обходит Flow по всем показателям. Также следует отметить, что Facebook объявил о переносе некоторых своих крупных решений, таких как Jest [5] с Flow на TypeScript. Так как Facebook является создателем Flow, отказ в крупных проектах от собственного решения для статической типизации – важный факт.

Следует упомянуть, что Flow обладает возможностью выведения типов, которая отсутствует в TypeScript, обеспечивая быстрый перенос существующей кодовой базы с чистого JavaScript на статическую типизацию. Таким образом, для некоторых проектов использование Flow будет более рациональным.

Типизированные массивы TypedArrays обошли обычные JavaScript массивы по таким показателям, как скорость выполнения кода (в 5 раз), а также FPS (в 4,5 раз для анимации, построенной на значениях суммы элементов массивов). Количество потребляемой памяти не изменилось.

WebAssembly также показал высокие результаты. Код для получения числа Фибоначчи на языке C, из которого был получен WebAssembly модуль, выполнялся быстрее аналогичного кода на JavaScript в 2,5 раза. WebAssembly значительно превзошел JavaScript в скорости также при умножении целых чисел (почти в 2 раза) и при сложении целых чисел (в 10 раз).

Дальнейшее направление работы – исследование способов облегчения внедрения описанных средств, проведение тестирования средств в разных браузерах а также опрос целевой аудитории о средствах обеспечения статической типизации для JavaScript и анализ результатов.

Литература

1. Gao Z. To Type or Not to Type: Quantifying Detectable Bugs in JavaScript / Gao Z., Bird C., Barr E.T. // 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering (ICSE). P. 6.
2. Vozisov N.S., Firsova A.K., Gosudarev I.B., Gotskaia I.B. Web Languages Typing and Optimization of the Web Application Development Process // Proceedings of the XII Majorov International Conference on Software Engineering and Computer Systems - 2021, pp. 14-21.
3. Vozisov N.S., Firsova A.K., Gosudarev I.B., Gotskaia I.B. Web Languages Typing and Optimization of the Web Application Development Process // Proceedings of the XII Majorov International Conference on Software Engineering and Computer Systems. 2021. pp. 14-21.
4. Emscripten Tutorial [Электронный ресурс]. URL: https://emscripten.org/docs/getting_started/Tutorial.html (дата обращения: 08.05.2020).
5. Migrate Jest to TypeScript [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/facebook/jest/pull/7554> (дата обращения: 14.05.2021).

Фомичева Дарья Андреевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т42282,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,

e-mail: dashafom19@mail.ru

Сучкова Елена Павловна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: silena07@bk.ru

УДК 664.8.038

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЪЕДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СЫРОВ

Д.А. Фомичева

Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.П. Сучкова

Аннотация

В работе представлены результаты исследования съедобных пищевых покрытий для сыров. Определены прочность на разрыв, относительное удлинение при разрыве, проницаемость водяного пара и кислорода, антимикробная активность против плесеней, золотистого стафилококка и кишечной палочки. Выбран образец покрытия, который отвечает заданным требованиям, подходит для использования в качестве покрытия в производстве сыров и может послужить экологической альтернативой синтетическим полимерам.

Ключевые слова

Хитозан, производное хитозана, съедобное пищевое покрытие, биоразлагаемая упаковка, исследование свойств, антимикробные свойства, сыроделие.

Самым распространенным упаковочным материалом для пищевой промышленности являются синтетические полимеры, пластмассы, которые несмотря на все преимущества их использования, не являются безопасными для окружающей среды и человека. Осознание данной экологической проблемы ведет к увеличению потребности в биоразлагаемых материалах, обеспечивающих антимикробную защиту пищевой продукции.

Порча продуктов питания – это естественный процесс, наносящий большой экономический вред, как производителям, так и потребителям. Поэтому для предотвращения преждевременной порчи продукта и пролонгирования сроков хранения необходимо создать биоразлагаемые покрытия, которые должны обладать избирательной пропускной способностью, антибактериальными свойствами и хорошо прилипать к поверхности продукта.

В качестве компонентов состава пищевой съедобной пленки для сыра использовались: желатин, крахмалы модифицированные кукурузные заварной и холодного набухания, производные хитозана со степенью деацетилирования до 35 % (образец (1) – с меньшей, образец (2) – с большей) и глицерин. Желатин и крахмал обладают избирательной газонепроницаемостью. Хитозан обладает широким

разнообразием свойств и является антимикробным агентом. Глицерин выполняет роль пластификатора, так как белки обладают низкими барьерными свойствами по отношению к влаге [1, 2]. В табл. 1 представлены составы покрытий, используемые в исследовании [3]. Уксусная кислота использовалась в качестве растворителя для производного хитозана.

Таблица 1

Компонентный состав образцов покрытий с хитозаном и без него

Компонент	Номер образца, количество компонента, г							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Крахмал заварной	0,25	0,25	-	-	0,25	0,25	-	-
Крахмал холодного набухания	-	-	0,25	0,25	-	-	0,25	0,25
Желатин пищевой	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Глицерин	-	0,75	0	0,75	0,825	0,825	0,825	0,825
Производное хитозана (1)	-	-	-	-	2,25	-	2,25	-
Производное хитозана (2)	-	-	-	-	-	2,25	-	2,25
Вода	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Уксусная кислота 3%	-	-	-	-	15,00	15,00	15,00	15,00

Для увеличения адгезии пленки к сыру и повышения вязкости раствора было предложено использовать каррагинан, рекомендуемая доза внесения которого составляет 0,1-1,0% от всей массы раствора. Каррагинан добавлялся к образцу 2 на этапе заваривания крахмала в концентрации от 0,2% до 1,0% с шагом 0,2%. В табл. 2 представлен компонентный состав покрытий с каррагинаном

Таблица 2

Компонентный состав образцов покрытий с каррагинаном

Компонент	Номер образца, количество компонента, г				
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Крахмал заварной	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Желатин пищевой	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Глицерин	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Каррагинан	0,11	0,21	0,32	0,42	0,53
Вода	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00

Полученные пленки были мутными, имели матовую поверхность, на ощупь казались толще и плотнее пленок без каррагинана. На поверхности образцов 2.4 и 2.5 с концентрацией каррагинана 0,8% и 1,0% соответственно имелись крупные нерастворенные частички вещества. Образец 2.1 на ощупь не отличался от образца 2, поэтому было решено, что концентрации 0,2% недостаточно для получения нужных

характеристик пленки. Поэтому производное хитозана планировалось внести в образцы 2.2 и 2.3, с концентрацией каррагинана 0,4% и 0,6%.

Однако при добавлении производного, растворенного в уксусной кислоте мгновенно образовывался гелеобразный плотный сгусток молочно-белого цвета. При изучении реакции было обнаружено, что каппа-каррагинан формирует межмолекулярные контакты с макромолекулами желатина, изменяя их конформационное состояние [4]. Образующийся каррагинано-желатиновый комплекс по всей видимости чувствителен к кислой среде. А так как производное хитозана растворяется в уксусной кислоте, то добавление каррагинана в состав пленки невозможно.

В пленках определялись прочность на разрыв (σ_b , МПа), относительное удлинение при разрыве (ϵ_b , %), показатель эластичности; проницаемость водяного пара и кислорода; антимикробная активность против плесеней, штаммов *Staphylococcus aureus* (RCMB 010027), *Escherichia coli* (RCMB 010051). Данные об исследованиях представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследований свойств пищевых съедобных пленок

Компонент	Номер образца, количество компонента, г							
	1	2	3	4	5	6	7	8
σ_b , МПа	43,31 ± 1,18	25,49 ± 1,86	40,27 ± 1,10	23,31 ± 1,19	40,87 ± 1,04	34,87 ± 1,04	43,15 ± 1,51	37,87 ± 1,77
ϵ_b , %	13,24 ± 1,11	25,15 ± 1,23	14,90 ± 1,03	26,32 ± 1,14	36,29 ± 1,25	31,29 ± 1,25	39,56 ± 1,19	33,29 ± 1,43
Проницаемость кислорода, (см ³ ·мм·м ⁻² ·атм ⁻¹ ·сут ⁻¹)	0,92 ± 0,17	0,82 ± 0,10	0,90 ± 0,09	0,77 ± 0,13	0,73 ± 0,11	0,71 ± 0,09	0,62 ± 0,12	0,68 ± 0,17
Проницаемость водяного пара, (×10 ⁻⁶ ·г·см ⁻¹ ·с ⁻¹ ·Па ⁻¹)	1,53 ± 0,11	1,40 ± 0,08	1,49 ± 0,14	1,34 ± 0,15	1,26 ± 0,18	1,23 ± 1,10	1,13 ± 0,21	1,21 ± 0,14
Зона ингибирования <i>S. aureus</i> , мм	8,4	8,1	8,7	8,2	14,5	12,3	14,6	12,5
Зона ингибирования <i>E. coli</i> , мм	5,1	5,3	5,1	5,4	10,2	9,8	10,2	9,6

Механические свойства пленок определялись на разрывной машине. Образцы 1 и 2, состоящие только из крахмала и желатина, обладают довольно высокой для пленок прочностью, но низкой эластичностью. При добавлении в состав покрытия глицерина у образцов 2 и 4 ожидаемо улучшилась эластичность, достигнув хороших значений, однако прочность пленок уменьшилась приблизительно на 40%, и в обоих образцах одинаково.

В образцы 5, 6, 7 и 8 был добавлен хитозан, что очень сильно увеличило прочность пленок, так как хитозан имеет кристаллическую структуру и образует сетку водородных связей. Эластичность пленок при добавлении хитозана также сильно увеличилась, так как использовался не чистый хитозан, а его производное, которое содержит привитые заместители. Существующие исследования показывают, что привитые заместители сами по себе могут оказывать эффект внутримолекулярного пластификатора. То есть они с одной стороны сохраняют каркасную цепь и водородные связи, а с другой частично разрушают систему водородных связей, делая некоторые цепи подвижными друг относительно друга. При этом возникает состояние баланса, в котором

прочность и эластичность достигают своих практически максимально возможных значений для данной системы.

Если в образцах 1, 2, 3 и 4 вид крахмала не оказывал влияния на прочностные характеристики, то в образцах 5, 6, 7 и 8 добавление производного оказало на системы дифференцирующее действие и установило различие между крахмалами, выявив преимущества крахмала холодного набухания. Выше всего показатели прочности и эластичности возросли в образцах 5 и 7, в состав которых входит производное хитозана (1), при этом самый высокий показатель наблюдается в образце 7, содержащем крахмал холодного набухания.

Проницаемость водяного пара и кислорода пленкой являются очень важными показателями, влияющими на качество сыра. При анализировании показателей проницаемости была выявлена та же закономерность, что и при исследовании показателей прочности. Максимальные значения наблюдаются у образцов 1 и 3. У образцов 2 и 4 с глицерином, показатели уменьшаются, а у образцов, содержащих производные хитозана они уменьшаются еще больше. Лучшие значения имеют пленки, в состав которых входит крахмал холодного набухания, то есть образцы 7 и 8. Минимальные значения у образца 7.

Проницаемость также зависит от системы водородных связей: чем она сильнее, тем выше кристалличность и ниже аморфность, а за пропускание водяного пара, кислорода, углекислого газа и других малых молекул ответственна аморфная фаза. Следовательно, можно сделать вывод, что структура пленки не является полностью кристаллической, так как присутствует пропускная способность, хоть и низкая.

Наличие аморфности также подтверждает рентгеноструктурный анализ образца пленки 7 с наилучшими свойствами, представленный на рис. 1. Узкие кристаллические пики говорят об образовании системы водородных связей, вносящих свой вклад в кристаллическую структуру. А сам изгиб дифракционной линии говорит об аморфном характере пленки.

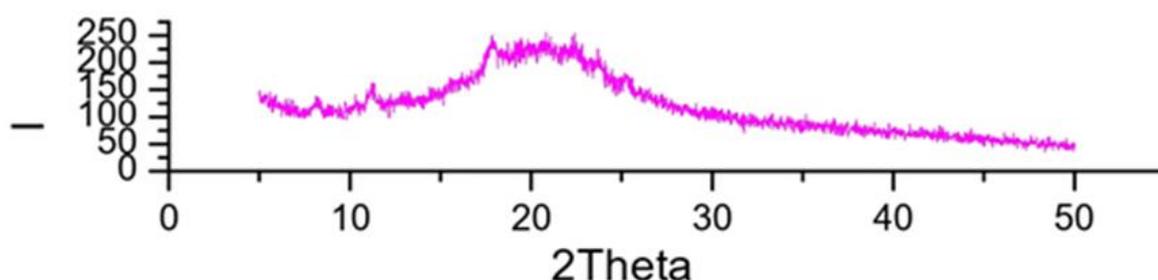


Рис. 1. Рентгенограмма образца пленки №7

Антимикробная активность пленок также была изучена против золотистого стафилококка и кишечной палочки по зоне ингибирования диска.

Образцы 1, 2, 3, 4, которые не содержат производное хитозана, практически не обладают антимикробной активностью: зоны ингибирования очень маленькие. Образцы 5, 6, 7 и 8 оказывают значительное влияние на штаммы кишечной палочки и золотистого стафилококка, однако образцы 5 и 7, содержащие производное (1), оказывают большее влияние, чем образцы 6 и 8, содержащие производное (2). При этом вид крахмала никак не влияет на зону ингибирования, так как не обладает антибактериальным эффектом. Возможность влияния на зону ингибирования только уксусной кислоты, растворителя для производного хитозана, была исключена, так как в таком случае результаты для всех видов пленок были бы одинаковыми.

Для исследования антимикробной активности использовались образцы плесени с сыра «Качотта», созревшего в самопроизвольно зараженной плесенью камере, и образцы покрытий 2, 5 и 6. На засеянную штриховым методом чашку Петри с агаром Сабуро укладывался отрезанный кусочек пленки, которая вырабатывалась в нестерильных условиях. Культивирование проводили при температуре $(27\pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 48 часов. На рис. 2 представлены чашки с образцами после культивирования.

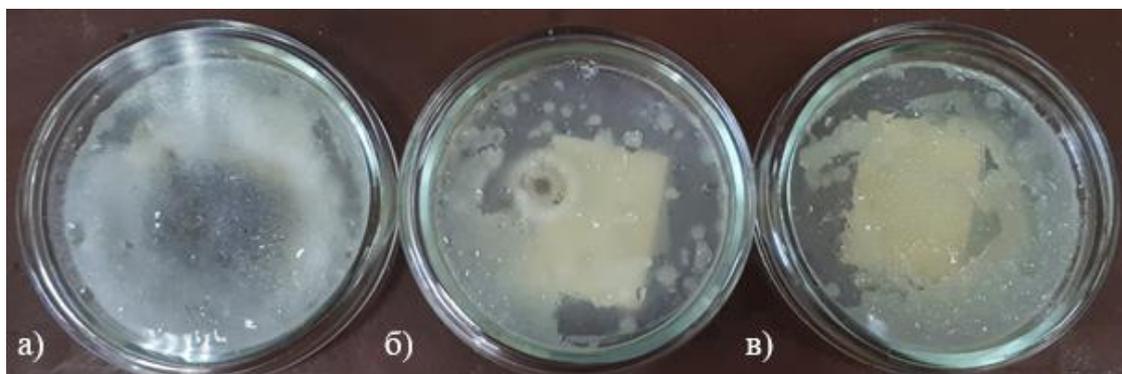


Рис. 2. Чашки Петри, засеянные плесенью с сыра, с кусочками образцов пленки: а) образец 2; б) образец 5; в) образец 6.

В первой чашке находился образец пленки 2, который не обладает микробной активностью против плесеней, так как по всему объему чашки выросла большая пушистая колония, которая по микроскопической картинке и внешнему виду была похожа на род *Rhizopus*.

На средней чашке Петри с образцом пленки 5 выросла одна единственная колония, которая находилась центром на стыке пленки и среды. По микробиологической картинке и внешнему виду колонии похожи на род *Aspergillus*. Образец 5, содержащий производное хитозана (1), видимо не обладает антимикробными свойствами по отношению к роду *Aspergillus*, но скорее всего обладает ими по отношению к другим видам плесени, наблюдавшимся на сыре.

На третьей чашке Петри в непосредственной близости с образцом пленки 6 не наблюдалось колоний плесневых грибов, однако 2 мелкие колонии белого цвета и диаметром примерно 2-3мм были обнаружены на самом краю чашки. Образец пленки 6, содержащий производное хитозана (2), проявил себя лучше всего, ни один вид плесени, не вырос на пленке и на достаточном расстоянии вокруг нее.

В ходе работы были исследованы свойства пищевых покрытий для сыров. Из результатов исследования видно, что образец пленки, в состав которой входит крахмал холодного набухания, желатин пищевой, глицерин и производное хитозана (1) в наибольшей степени отвечает заданным требованиям и подходит для использования в качестве покрытия в производстве сыров.

Разработанное покрытие, содержащее производные хитозана, может послужить экологической альтернативой синтетическим полимерам. Оно обладает высокими прочностными и эластичными характеристиками, высокими барьерными свойствами по отношению к кислороду и парам воды, антимикробными свойствами против золотистого стафилококка, кишечной палочки и плесеней. Следовательно, можно будет избежать процесса окисления жиров в сыре, чрезмерную усушку сыра при созревании и хранении, рост плесени и патогенной микрофлоры на поверхности, что улучшит качество и увеличит срок годности продукта.

В дальнейшей работе планируется изучение свойств сыра с нанесенным пищевым съедобным покрытием.

Литература

1. Кудрякова Г.Х. Съедобная упаковка: состояние и перспективы / Кудрякова Г.Х., Кузнецова Л.С., Нагула М.Н., Михеева Н.В., Казакова Е.В. // Пищевая промышленность. 2007. №6. С. 24–25.
2. Савицкая Т.А. Съедобные полимерные пленки и покрытия: история вопроса и современное состояние (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т.2. № 2. С. 6–36.
3. Нифонтова С.В. Перспективные направления исследований в области разработки съедобных пищевых пленок и покрытий для сыров / Нифонтова С.В., Сучкова Е.П., Критченков А.С., Фомина А.В. // IX Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 13-15ноября 2019г.): материалы конференции. 2019. Т. II. С. 156-161.
4. Маклакова А.А., Взаимодействие желатины с к-каррагинаном по данным ик-спектроскопии / Маклакова А.А., Воронько Н.Г., Деркач С.Р., Кадырова Г.И., Зотова К.В. // Вестник МГТУ. 2014. №1. С. 53–60.

Халиманчик Александр Олегович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W42053,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная

техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: apfelbaum1111@mail.ru

Зайцев Андрей Викторович

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: zai_@inbox.ru

УДК 621.59

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

А.О. Халиманчик

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Зайцев

Работа выполнена в рамках НИР Университета ИТМО №620149.

Аннотация

В работе произведен поиск и анализ информации по существующим технологиям производства сжиженного природного газа. Также рассмотрены перспективы данной отрасли в Российской Федерации. Особое внимание уделено малотоннажному производству СПГ. Представлено сравнение существующих технологий, а также рассчитан цикл сжижения с помощью программного комплекса Aspen HYSYS.

Ключевые слова

СПГ, малотоннажное производство, Aspen HYSYS, дроссельно-детандерный цикл, зеленая энергетика.

Природный газ является отличной альтернативой углю и нефтепродуктам в качестве источника энергии. Он более экологичен и его запасы велики. В России крупнейшие месторождения природного газа расположены на крайнем севере и в Сибири, откуда его становится все более экономически выгодно доставлять в сжиженном состоянии. У Российского правительства уже есть планы по увеличению мощности производства СПГ с 29,8 млн. т/год до 125,4 млн. т/год [1].

Помимо экспорта сжиженного природного газа, в России существуют планы по автономной газификации труднодоступных населенных пунктов за счет СПГ. Для решения этой задачи планируется строительство малотоннажных заводов по производству СПГ, которые и будут удовлетворять нужды потребителя в природном газе.

В российском правовом поле к малотоннажному производству по ГОСТ [2] относят установки с производительностью менее 10 т/ч. Для средне- и крупнотоннажного производства такого разделения нет, поэтому принято установки с производительностью более 2 млн. т/год относить к крупнотоннажным, меньше – среднетоннажным.

При средне- и крупнотоннажном производстве природный газ практически всегда охлаждается в серии теплообменных аппаратов различными хладагентами, в результате чего газ сжижается в полном объеме. Самой распространенной в мире крупнотоннажной технологией является цикл СЗ-MR, разработанный компанией Air Products and Chemicals Inc., который, в частности, используется на трех линиях российского завода «Ямал СПГ» [3]. На первом российском крупнотоннажном производстве СПГ, заводе «Сахалин 2», используется цикл DMR, разработанный компанией Royal Dutch Shell специально для этого проекта.

При среднетоннажном производстве СПГ самой используемой технологией является PRICO, от компании The Pritchard Corporation, однако на российском среднетоннажном заводе «Высоцк СПГ» используется технология Smartfin, разработанная компанией Air Liquide.

Говоря о малотоннажном производстве, нужно сказать, что технология производства СПГ в этом случае отличается. Для охлаждения производственного потока природного газа используются не только внешние источники холода, но и несконденсировавшиеся пары природного газа. Поэтому, чаще всего, используется дроссельная ступень [4]; схема такой установки изображена на рис. 1.

Коэффициент ожижения при применении данной методики низкий, но и удельные энергозатраты при производстве СПГ отсутствуют.

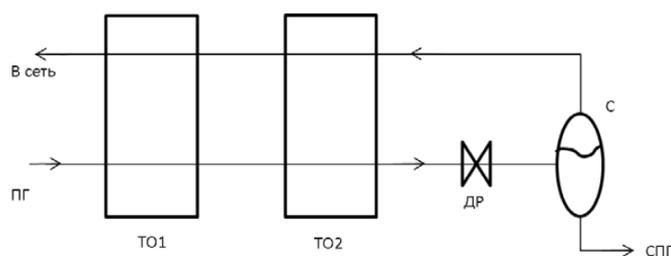


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема дроссельного цикла:
ТО1, ТО2 – теплообменные аппараты; ДР – дроссельное устройство; С – сепаратор

Из-за низкого коэффициента ожижения у дроссельного цикла, его модернизируют различными ступенями охлаждения. Например, осуществляют предварительное охлаждение природного газа в фреоновой холодильной машине; на рис. 2 изображена схема подобной установки. В установке увеличивается коэффициент ожижения, но при этом также и возникают энергозатраты на производство.

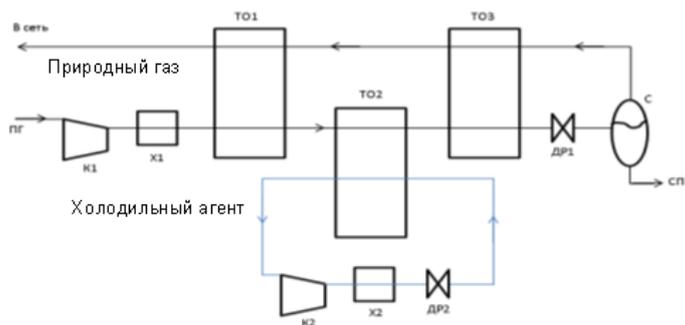


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема дроссельного цикла с предварительным фреоновым охлаждением: ТО1, ТО2, ТО3 – теплообменные аппараты; ДР1, ДР2 – дроссельные устройства; Х1, Х2 – водяной/воздушный холодильные аппараты; С – сепаратор; К1, К2 – компрессоры

Если же необходимо сжигать весь газ, приходящий на установку сжижения природного газа, то применяют охлаждение природного газа азотной холодильной машиной. Схема такой установки представлена на рис. 3.

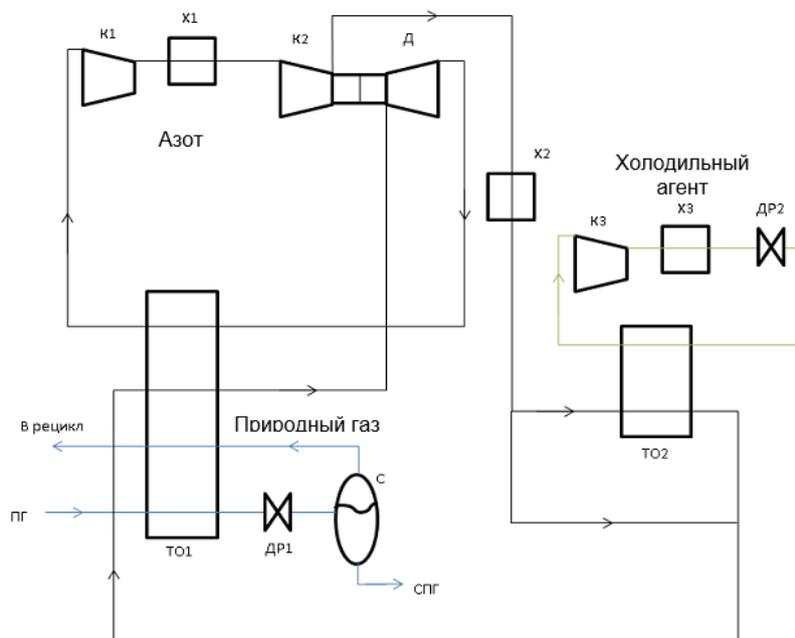


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема дроссельного цикла с использованием азотной холодильной машины: ТО1, ТО2 – теплообменные аппараты; ДР1, ДР2 – дроссельные устройства; X1, X2, X3 – водяной/воздушный холодильные аппараты; С – сепаратор; К1, К2, К3 – компрессоры, Д – детандер

Иногда при модификации дроссельного цикла используют детандерно-компрессорный агрегат. Для дальнейшего расчета за основу была взята схема, изображенная на рис. 4. На входе происходит разделение природного газа на два потока, большая часть направляется на сжатие в компрессор детандерно-компрессорного агрегата, меньшая – используется для охлаждения первого потока после сжатия в компрессоре, после чего соединяется с остальными выходящими потоками и направляется в сеть потребителю. Далее поток газа разделяют на две части. Большая часть потока природного газа, после охлаждения в ТО2 направляется в турбодетандер, где происходит практически изэнтропное расширение природного газа, после чего он выступает в качестве хладагента в ТО3, ТО2. Продукционный поток последовательно охлаждается в ТО2, ТО3, дросселируется, в результате чего происходит фазовый переход в жидкое состояние части потока, которая отделяется в сепараторе и направляется на хранение в криогенные резервуары. Несконденсировавшиеся пары соединяются с потоком газа из турбодетандера.

В табл. 1 представлена информация о существующих малотоннажных производствах СПГ, реализованных на территории России. Стоит обратить внимание, если технологии свойственны низкие удельные энергозатраты (простой дроссельный цикл и дроссельный цикл с использованием детандерно-компрессорного агрегата), то и коэффициент ожижения будет гораздо ниже, чем у технологий с высокими удельными энергозатратами.

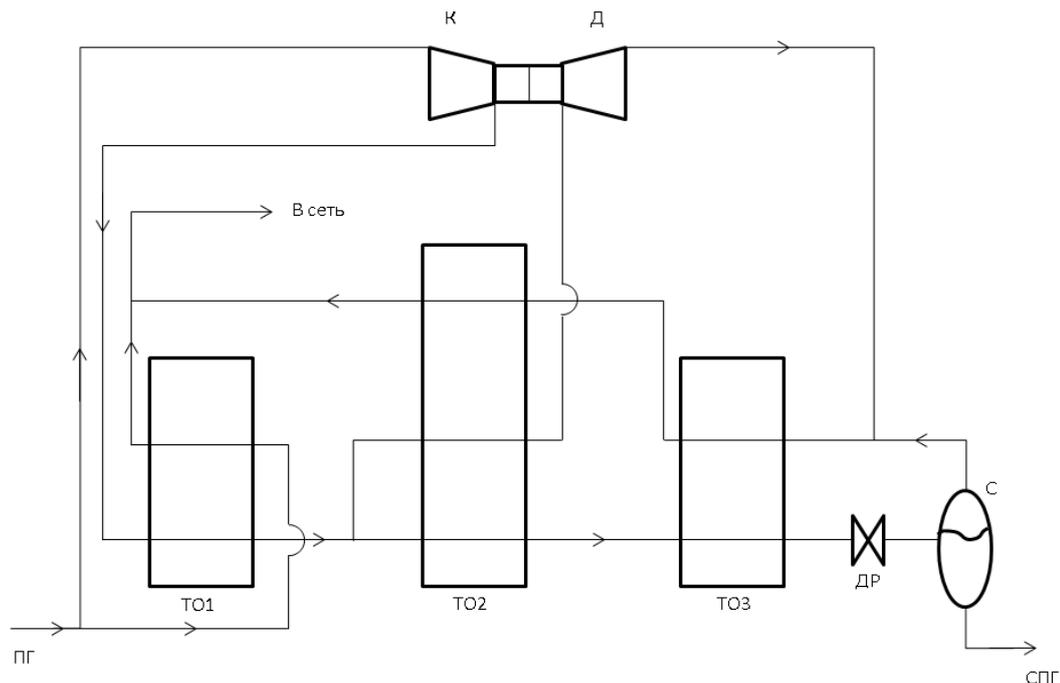


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема дроссельного цикла с использованием детандерно-компрессорного агрегата: ТО1, ТО2, ТО3 – теплообменные аппараты; ДР – дроссельное устройство; С – сепаратор; К – компрессор, Д – детандер

Таблица 1

Сравнение технологических схем производства СПГ

Тип схемы	Объект реализации	Мощность, т/ч	Коэффициент ожижения, %	Удельные энергозатраты, кВт·ч/т СПГ
Дроссельный цикл	ГРС «Никольская»	0,1	2	10
Дроссельный цикл с предварительным фреоновым охлаждением	ГРС-1, Калининград	2х1,5	40	870
Дроссельный цикл с использованием азотной холодильной машины	УСПГ Пермский край	1,5	99	840
Дроссельный цикл с использованием детандерно-компрессорного агрегата	ГРС-4, Екатеринбург	3,0	11	10

В работе была произведена модернизация газораспределительной станции, исходные данные которой представлены в табл. 2. Цикл ожижения был разработан на основе рис. 4 в программном комплексе Aspen HYSYS. После чего была произведена оптимизация работы установки путем изменения доли потока газа, подаваемого на расширение в турбодетандер, и минимизации разницы температур между прямым и обратным потоками на холодном конце третьего теплообменного аппарата.

Исходные данные

Состав газа:	Мольное содержание компонента	Параметры газа	Значение
Метан	97,5 %	Давление газа в магистралах, МПа	2,8
Этан	0,85%		
Пропан	0,45%	Температура окружающей среды, К	293
н-Бутан	0,05%		
и-Бутан	0,05%	Расход газа, м ³ /ч	5000
Азот	1,1%		

В результате удалось добиться коэффициента ожижения, равного 10,3%, в абсолютных цифрах производительность составляет 360,5 кг/ч. При этом на расширение в турбодетандер подается поток 3000 кг/ч, или 86,71% от всего потока природного газа. Удельные затраты энергии на производство СПГ отсутствуют из-за наличия детандерно-компрессорного агрегата в установке.

В работе не рассматривался вопрос предварительной осушки и очистки природного газа от углекислого газа, сероводорода, влаги и других элементов. На производстве этому уделяется большое внимание, так как это оборудование является необходимо частью завода, но при небольших мощностях с очисткой могут возникать проблемы.

Литература

1. Информационное агентство. [Электронный ресурс]// rns.online: Минэнерго назвало потенциальную мощность российских СПГ-проектов. URL: https://rns.online/energy/Minenergo-nazvalo-potentsialnuyu-moschnost-rossiiskih-SPG-proektov-2020-09-30/?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop дата обращения (25.10.2020).
2. ГОСТ Р 55892-2013: Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования:
3. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2011. 159 с. ил.
4. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов по специальностям «Техника и физика низких температур» и «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование»: В 2т. Т.1. Основы теории и расчета. / Архаров А.М., Архаров И.А., Беляков В.П. и др. М.: Машиностроение. 1996. 576с., ил.

Хахилев Никита Игоревич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W42302,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника

и системы жизнеобеспечения,

e-mail: khakhilevnikita7@gmail.com

Новотельнова Анна Владимировна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: novotelnova@itmo.ru

УДК 539.374

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАКТИРОВАНИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПОРОШКОВ СПЛАВОВ
ГЕЙСЛЕРА НА ОСНОВЕ $FeVAl_xGa_{1-x}$**

Н.И. Хахилев

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Новотельнова

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №620153 «Снижение теплопроводности в экологически безопасных термоэлектриках за счет низкоразмерных эффектов и наноструктурирования».

Аннотация

В работе произведен анализ процесса искрового плазменного спекания для термоэлектрических нанопорошков сплавов Гейслера на основе $FeVAl_xGa_{1-x}$. Представлен расчет и оценка параметров спекания для нескольких образцов сплавов Гейслера. Рассмотрено применение метода обобщенного понижающего градиента (ОПГ) для обработки экспериментальных данных и получения значений параметров спекания m , A_m и Q .

Ключевые слова

Сплавы Гейслера, метод ОПГ, обработка данных, параметры спекания, искровое плазменное спекание.

Термоэлектричество – перспективный метод производства электроэнергии и управления тепловым режимом. Этот метод преобразования энергии более надежен и безопасен по сравнению с традиционными методами. Обычно термоэлектричество используется там, где традиционные динамические технологии не подходят для преобразования тепловой энергии в полезную электроэнергию или охлаждение помещения. На данный момент практическое применение термоэлектрических устройств было представлено в некоторых нишевых сферах, таких как космос и оборона, где надежность и отсутствие необходимости в обслуживании предпочтительнее выигрыша в стоимости и эффективности. Проблема термоэлектрических преобразователей заключается в их низком КПД из-за отсутствия высокоэффективных материалов.

У термоэлектрических материалов маленькие значения термоэлектрической добротности ZT , которая зависит от электропроводности σ , абсолютной температуры T , решеточной $\lambda_{\text{реш}}$ и электрической теплопроводности $\lambda_{\text{эл}}$, как видно из формулы (1):

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{(\lambda_{\text{реш}} + \lambda_{\text{эл}})}. \quad (1)$$

Если удастся увеличить параметр ZT , сможем получить высокоэффективный термоэлектрический материал, следовательно повысим КПД термоэлектрического генератора, зависимость которого отражена в формуле (2):

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \times \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_C}{T_H}}. \quad (2)$$

Для того чтобы повысить значение термоэлектрической добротности материала ZT необходимо перемолоть в шаровых мельницах материал до состояния нанопорошка и спечь его. В нанопорошке размер порошинки соизмерим с размером длины свободного пробега фононов. Следовательно, после спекания получаем дефектную структуру нанопорошка, в котором происходит рассеивание фононов на границе зерен. Исходя из этого, в нанопорошковом материале уменьшается решеточная теплопроводность и повышается значение параметра ZT [1].

Чтобы исследовать параметры термоэлектрических нанопорошков в данной работе применяется метод искрового плазменного спекания (ИПС). ИПС использует действие импульсного постоянного тока и давления. Применяется для сохранения мелкозернистой структуры спеченного материала при устранении пористости и достижения высокой относительной плотности [2]. Процесс компактирования термоэлектрического нанопорошка осуществлялся на установке ИПС Labox 650, изображенная на рис. 1.



Рис. 1. Установка ИПС Labox 650

Обрабатываемый материал помещается в пространство, ограниченное двумя пуансонами, через которое передается приложенное давление и проходит электрический ток, и графитовой матрицей, которая служит ограничителем обрабатываемого материала на протяжении всего эксперимента, как показано на рис. 2.

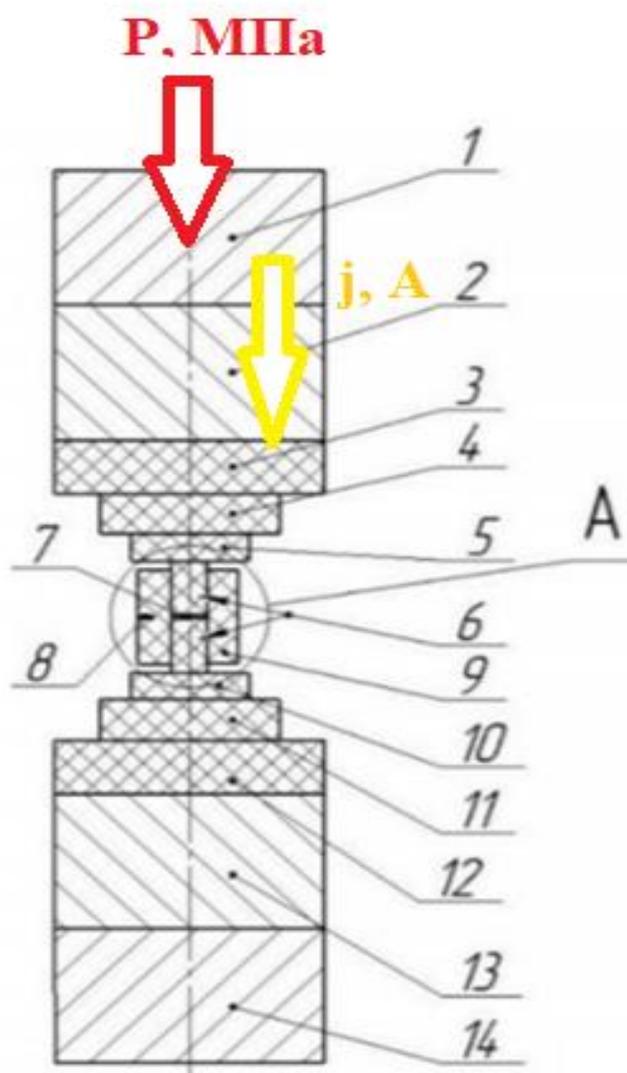


Рис. 2. Установка искрового плазменного спекания Labox 650. 1 и 14 – стальные электроды, 2 и 13 – медные вставки; 3–5 и 10–12 – графитовые вставки; 6 – пуансоны; 7 – обрабатываемый материал; 8 – отверстие для термопары; 9 – графитовая матрица

Во время процесса спекания отслеживается смещение пуансона и температура, которую снимают термопары, размещенные в графитовой матрице. При прохождении эксперимента не известно, что происходит внутри материала, известно только начальное и конечное состояние нанопорошков.

В данной работе исследуются сплавы Гейслера на основе $\text{FeVAl}_x\text{Ga}_{1-x}$. Сплав Гейслера — тройное интерметаллическое соединение с химической формулой ABX , где A и B - переходные металлы. Считаются перспективными термоэлектрическими материалами для практических применений при температурах $700\text{ }^\circ\text{C}$ и выше. Основными преимуществами перед другими термоэлектриками являются низкая стоимость, наличие выраженной упругой области при деформации (в отличие от более хрупких полупроводниковых материалов) и стабильность при повышении температуры [3].

В табл. 1 представлены 6 образцов и указаны их состав, масса, диаметр таблетки до спекания, конечная плотность, конечная и начальная высота образца.

Параметры образцов сплавов Гейслера

№ образца	Состав	Масса образца до спекания, г	Диаметр образца, мм	Конечная плотность образца, г/см ³	$h_{\text{кон}}$, мм	h_0 , мм
5501	Fe ₂ V _{0,9} Nb _{0,1} Al	3,11	15	6,5	2,28	3,14
5502	Fe ₂ V _{0,8} Nb _{0,2} Al	1,53	15	6,5	1,11	2,47
5503	Fe ₂ VAl _{0,9} Ga _{0,1}	2,05	15	6,61	1,13	2,38
5504	Fe ₂ VAl _{0,8} Ga _{0,2}	1,60	15	6,55	1,17	2,33
5505	Fe ₂ V _{0,9} Nb _{0,1} Al _{0,9} Ga _{0,1}	1,58	15	6,84	1,39	2,61
5506	Fe ₂ V _{0,8} Nb _{0,2} Al _{0,8} Ga _{0,2}	2,19	15	6,95	1,36	2,34

В данной работе целью является определение механизмов усадки исследуемых образцов сплавов Гейслера, и задачи исследования: обработка экспериментальных данных методом обобщенного понижающего градиента (ОПГ) и определение коэффициентов, которые характеризуют процесс усадки и деформации материала во время спекания, такие как m , A_m и Q (чувствительность к скорости деформации, комплексный параметр материала (зависящий от вязкости), энергия активации вязкотекучей деформации). Рассмотрим параметры спекания, такие как электрический ток, температура, давление и смещение пуансона в зависимости от времени на графике, изображенном на рис. 3.

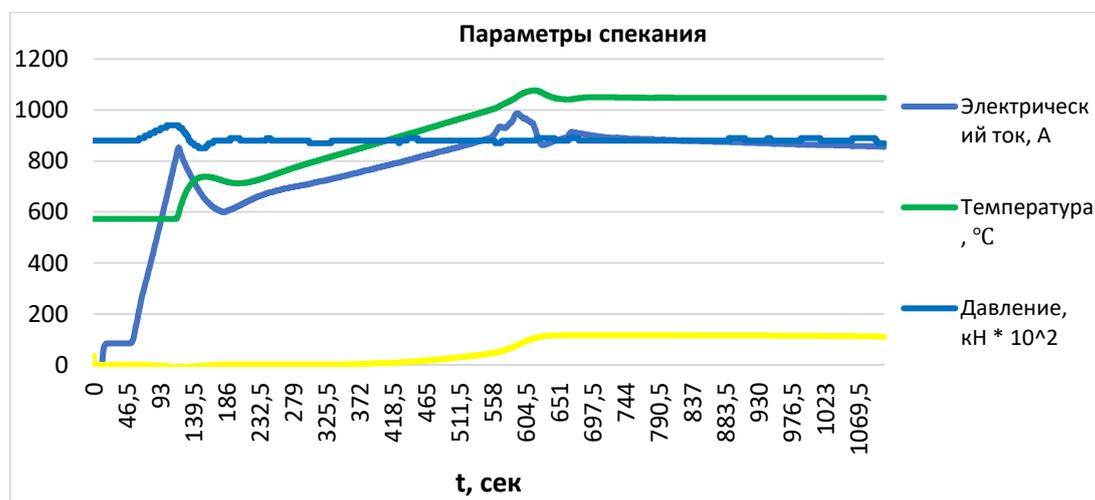


Рис. 3. Параметры спекания во время эксперимента

Обработка экспериментальных данных производилась методом обобщенного понижающего градиента (ОПГ). Оптимизация параметров A_m , m и Q производилась на основе формулы (3) [4]:

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = - \left(\frac{\sigma_z}{A_m T^m \exp\left(\frac{mQ}{RT}\right)} \right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{3\theta}{2} \right)^{\frac{m+1}{2m}} (1 - \theta)^{\frac{m-3}{2m}}. \quad (3)$$

где θ – пористость, t – время, σ_z – приложенное осевое давление, A_m – комплексный параметр материала, T – температура, m – чувствительность к скорости деформации, R – газовая постоянная, Q – энергия активации вязкотекучей деформации.

Вычисление параметров, характеризующих микропроцессы, протекающие в образце, было произведено в программе MS Excel. Для этого была записана функция пористости по времени для нескольких моментов времени с шагом порядка 100 секунд. В каждый момент времени в функцию были подставлены мгновенные значения температуры спекания, приложенного давления, пористости. После этого были подобраны значения параметров A_m , Q и m , выступающие в качестве коэффициентов данной функции. После нахождения решения были получены значения для $\frac{d\theta}{dt}$ и оптимизированные значения величин A_m , m и Q с заданной точностью.

Были получены графики изменения коэффициента чувствительности к скорости деформации m , который позволяет оценить микропроцессы, происходящие в образце) в зависимости от времени спекания t , изображенные на рис. 4.

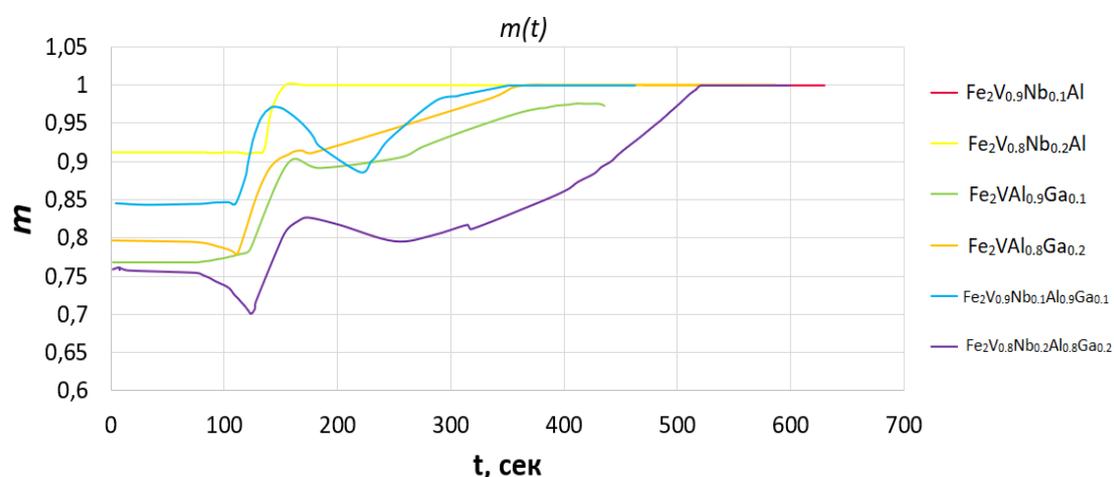


Рис. 4. График зависимости коэффициента m от времени спекания для исследуемых образцов

Данные для момента выдержки при максимальной температуре, полученные после обработки экспериментальных данных методом обобщенного понижающего градиента, среди которых коэффициент m , коэффициент материала A_m (который является функцией микроструктуры и отражающий влияние размера зерна, размера субзерен и плотности дислокаций, а также вязкости материала) и значение активации вязко-текучей деформации Q для образцов сплавов Гейслера, занесены в табл. 2.

Таблица 2

**Полученные данные m , A_m и Q для исследуемых образцов
(на этапе выдержки при максимальной температуре)**

№ образца	Состав	m	A_m	Q , Дж/моль
5501	$Fe_2V_{0,9}Nb_{0,1}Al$	1	800	100008
5502	$Fe_2V_{0,8}Nb_{0,2}Al$	1	800	100008
5503	$Fe_2VAl_{0,9}Ga_{0,1}$	0,97	100	100000
5504	$Fe_2VAl_{0,8}Ga_{0,2}$	1	100	100000
5505	$Fe_2V_{0,9}Nb_{0,1}Al_{0,9}Ga_{0,1}$	1	100	100000
5506	$Fe_2V_{0,8}Nb_{0,2}Al_{0,8}Ga_{0,2}$	1	100	10000

В данной работе была проведена обработка экспериментальных данных, взятых из процесса спекания на установке ИПС Labox 650 образцов сплавов Гейслера на основе

$\text{FeVAl}_x\text{Ga}_{1-x}$. Целью данной работы являлось определение коэффициентов, которые характеризуют процесс усадки и деформации материала во время спекания, такие как m , A_m и Q (чувствительность к скорости деформации, параметр материала, зависящий от вязкости, и энергия активации вязко-текучей деформации, соответственно).

Применяя метод обобщающего понижающего градиента (ОПГ), были получены значения коэффициента m для 6 исследуемых образцов. В начале эксперимента значения варьировались от $\sim 0,75$ до $\sim 0,91$ и по мере процесса спекания коэффициент m достигал постоянного значения в пределах от 0,97 до 1, что соответствует переходу от механизма проскальзывания зерен к диффузионным процессам. Выход на постоянное значение m происходил на разных временных этапах ИПС в зависимости от состава и скорости нагрева (от 350 до 500 секунд). Так же коэффициент чувствительности, не зависит от начальных условий, как было выяснено в ходе обработки. Из этого следует, что метод обобщенного понижающего градиента можно применять для анализа скорости усадки термоэлектриков, в частности, сплавов Гейслера.

В дальнейшей работе для уточнения и подтверждения разрабатываемой методики необходимо провести исследование микроструктуры термоэлектрических образцов методами электронно-сканирующей, просвечивающей или атомно-силовой микроскопии.

Литература

1. Alam H., Ramakrishna S. A review on the enhancement of figure of merit from bulk to nano thermoelectric materials // Nano Energy. 2012. Vol. 2. No.2 P.190–212.
2. Yurlova M.S., Demenyuk V.D., Lebedeva L.Y., Dudina D.V., Grigoryev E.G., Olevsky E.A. Electric pulse consolidation: an alternative to spark plasma sintering // J. Mater. Sci. 2014. No.49. P.952–985.
3. Graf T., Felser C., Parkin S. Simple rules for the understanding of Heusler compounds // Prog. Solid State Chem. 2011. No.39. P.1–50.
4. Wei X., Back C., Izhvanov O., Khasanov O. Spark Plasma Sintering of Commercial Zirconium Carbide Powders: Densification Behavior and Mechanical Properties // J. Materials. 2015. N.8.

Хомутов Евгений Эдуардович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R42331с,

направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: e.khomutov@itmo.ru

Борисов Иван Игоревич

Год рождения: 1993

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., ассистент,

e-mail: borisovii@itmo.ru

УДК 621.837.5

**КОНСТРУИРОВАНИЕ АНТРОПОМОРФНОЙ
КИСТИ ДЛЯ РОБОТА ICUB**

Е.Э. Хомутов

Научный руководитель – к.т.н., ассистент И.И. Борисов

Работа выполнена в рамках темы НИР №52152 «Разработка алгоритмического и программного обеспечения для адаптивных антропоморфных и автономных мобильных роботов».

Аннотация

Научная работа посвящена решению проблемы объединения точности полноприводного механизма с адаптивностью неполноприводного на основе рычажного механизма с эластичными элементами вращения в сочленениях и растяжения в звеньях переменной длины для придания пальцам антропоморфного захватного устройства податливости за счет добавления пассивных степеней подвижности. В работе приведен аналитический обзор антропоморфных захватов, подходов к их проектированию и управления ими. Приведен анализ конструкции руки робота iCub. Проведен структурно-параметрический синтез механизмов пальцев со звеньями переменной длины, выполнена численная оптимизация геометрических параметров механизма, разработан и протестирован трехпалый прототип, разработана антропоморфная пятипалая кисть.

Ключевые слова

Антропоморфные захватные устройства, многозвенные механизмы, податливые механизмы, манипулирование объектами, звенья переменной длины, моделирование контактного взаимодействия.

При применении неполноприводных механизмов, пальцы захватного устройства способны самостоятельно адаптироваться к форме объекта манипулирования за счет особенностей механики. В неполноприводном пальце должны быть интегрированы упругие элементы и/или механические ограничения для предотвращения преждевременного сгибания пальца. Для управления устройством на основе неполноприводной системы не требуется построение сложной системой управления, из-за того, что число двигателей меньше числа степеней подвижности (СП) [1].

Неполноприводная система может быть реализована как механизмами с тяговым принципом с помощью системы тросов и шкивов, так и рычажными механизмами. Тяговая система может обеспечить высокую степень адаптивности, но она не

обеспечивает большую силу захвата и, в силу растяжения тросов, не может обеспечить высокую точность позиционирования. Рычажные механизмы напротив более могут обеспечить более высокую силу контакта и повторяемость движений, геометрическое запираение, однако рычажные механизмы в основном более громоздкие [2].

Палец на основе неполноприводной системы характеризуется значительной постконтактной реконфигурацией при взаимодействии с объектом до тех пор, пока система не достигнет равновесного положения, то есть когда объект полностью захвачен. Поэтому неполноприводные системы более эффективны для адаптивного/силового захвата, и менее эффективны при щипковом/точном захвате кончиками пальцев.

Примерами антропоморфных рук с большим количеством степеней свободы являются 5-и пальцевая Humanlike Robot Hand с 15-ю степенями свободы и 5-ю двигателями, 4-х пальцевая Meka robotics H2 compliant hand с 12-ю степенями свободы и 4-ю двигателями. Особенностью Meka robotics H2 является устойчивость пальцев к ударам и деформациям благодаря применению полиуретана в конструкции. Пальцы обеих рук имеют открытую кинематическую цепь, приводимую в движение системой тросов и шкивов.

Альтернативным примером предыдущим захватам является промышленный захват Robotiq 3 Finger Gripper. Пальцы Robotiq 3 представляют собой рычажные механизмы с замкнутой кинематической цепью. Захват имеет три пальца с 10-ю степенями подвижности (СП), приводимы в движение четырьмя моторами.

Рука PISA/ИТ Soft Hand напротив максимально использует преимущества неполноприводной механики при открытой кинематике пальцев. У нее 19 степеней свободы, но она приводится в действие одним двигателем, благодаря чему устройство просто в управлении и эффективно для захвата различных объектов, независимо от их формы и размера.

Управлять захватными устройствами с неполноприводной системой легче, поскольку адаптация к форме объектов происходит не алгоритмически системой скоординированного управления несколькими двигателями, а механически, приводимой в движение одним двигателем. Кроме того, меньшее число двигателей позволяет уменьшить количество потребляемой энергии, габариты устройства и массу, которая напрямую зависит от числа двигателей.

Примером антропоморфных захватов на основе полноприводной системы с открытой кинематической цепью является DLR Hand II, обладающей 17-ю степенями подвижности и iLimb ultra, каждый палец которых имеет свой двигатель для каждой фаланги. Дизайн руки iLimb ultra направлен на повседневное использование человеком, такое как завязывание шнурков, открывание/закрывание банки с пищевыми продуктами. Управление подобными устройствами при применении их в качестве индустриального захватного устройства или протеза руки становится сложной задачей ввиду большого количества двигателей [3].

Другими примерами полноприводных с высокой степенью антропоморфности рук являются Shadow EDC Hand с 24-ю степенями подвижности и 20-ю двигателями и UW's Hand с 10-ю двигателями, которые практически идентичны человеческому аналогу не только по внешнему виду, но и по функционалу. Для того, чтобы создать UW's Hand разработчики отсканировали человеческую руку, взяв ее за основу. Однако, из-за большого количества двигателей высоко антропоморфные руки снабжаются массивными предплечьями, в которых располагаются двигатели, что ограничивает практическое использование таких рук.

Нестабильность неполноприводных механизмов может быть решена гибридными механизмами, позволяющими переключать режимы работы между полноприводным и неполноприводным режимами.

В [4] предложен метод проектирования универсальных адаптивных захватных устройств, способных обеспечить оба фундаментальных вида захвата: точный щипковый и силовой обхватывающий, благодаря использованию звеньев переменной длины и механической декомпозиции каналов управления. Здесь звенья переменной длины рассматриваются как ключевые элементы, позволяющие реконфигурировать механизм пальца с неполноприводного типа в полноприводный и обратно для обеспечения фундаментально разных видов захвата [3].

Базовая идея конструкции руки iCub состояла в максимизации количества степеней свободы верхней части тела (голова, туловище, руки и кисти рук) для исследования/задания когнитивных способностей при манипулировании [5].

Руке робота iCub свойственны следующие особенности:

- неполноприводная схема строения пальцев робота iCub позволяет реализовать адаптивный захват, но не позволяет надежно захватывать и удерживать небольшие объекты щипковым захватом;
- кисть обладает низкой грузоподъемностью 350 г из-за использования системы тросов и шкивов, которая не позволяет развивать большие усилия на выходных звеньях, а также низкой повторяемостью движений, обусловленной открытой кинематической цепью, упругостью и растяжением тросов в процессе эксплуатации;
- пятипалость и использование большого количества двигателей повышает жестикуляцию и антропоморфность, однако усложняет систему управления;
- кисть iCub построена на основе неполноприводной схемы с открытой кинематической цепью с помощью системы тросов и шкивов;
- кулак упоминалось ранее, тяговая система может обеспечить высокую степень адаптивности, но она не обеспечивает большую силу захвата, обладает трением и упругостью, вследствие чего невысокой повторяемостью движений.

В рамках данного исследования предлагается объединить точность полноприводного механизма с адаптивностью неполноприводного на основе рычажного механизма с эластичными элементами вращения в сочленениях и растяжения в звеньях переменной длины для придания пальцам устройства податливости за счет добавления пассивных степеней подвижности.

Особенностями предлагаемого решения является:

- высокая грузоподъемность и повторяемостью движений благодаря рычажной закрытой кинематической цепи;
- тринадцать степеней свободы при использовании четырех управляющих двигателей;
- проектирование по принципам морфологического расчета, при котором требуемое поведение робототехнического устройства обусловлено во многом механической конструкцией, а задача управления сведена к дополнению, усилению и использованию кинематики и динамики механической системы;
- гибридная схема строения пальцев позволяет осуществлять как адаптивный силовой, так и точный щипковый захваты.

В рамках первого этапа проектирования были получены механизмы пальцев с помощью структурно-параметрического синтеза.

Алгоритм структурно-параметрического синтеза механизма пальца был следующий:

1. Задать требуемый характер движения, количество фаланг. Формируем открытую кинематическую схему механизма пальца для выполнения требуемой задачи.
2. Замкнуть кинематическую схему механизма путем дополнения голономных связей без изменения количества степеней свободы для перемещения приводов в корпус

ладони. Получаем механизм пальца замкнутой кинематики с изначальным количеством управляющих двигателей.

3. Рассчитать структуры групп звеньев для редуцирования степени подвижности механизма. Выбираем оптимальную структуру присоединяемой группы звеньев.

4. Решить задачу оптимизации расположения точек крепления дополнительной группы звеньев и их длин для редуцирования степени подвижности пальца. Присоединяем группу звеньев для получения механизма с одной степенью свободы.

5. Интегрировать звенья переменной длины для получения механически адаптивных пальцев захвата. Получаем неполноприводный механизм пальца с одним управляющим двигателем и требуемым количеством степеней свободы.

Для экономии места этапы с расчетами будут опущены.

Поскольку указательный, средний, безымянный пальцы и мизинец проектировались одинаковыми, то синтез проводился для указательного и большого пальцев.

За основу взята распространенная открытая кинематическая схема двухфалангового пальца для антропоморфных захватов с двумя степенями подвижности с двигателем в каждой кинематической паре.

В качестве желаемого характера движения указательного пальца взята траектория, при которой фаланги всегда сонаправлены, в начальном положении фаланги параллельны ладони, в конечном положении фаланги перпендикулярны ладони (рис. 1, *a-b*). Сонаправленность и параллельность ладони и фаланг в начальный момент времени соответствует вытянутым пальцам руки человека вперед. Перпендикулярность к ладони дистальной фаланги в конечном положении соответствует положению пальцев рук человека при осуществлении щипкового захвата.

В качестве желаемого характера движения для большого пальца взята траектория, при которой дистальная фаланга всегда перпендикулярна ладони (рис. 1, *г-e*). Перпендикулярность к ладони дистальной фаланги соответствует движению положению пальцев рук человека при осуществлении щипкового захвата.

Затем кинематическая схема пальцев была замкнута для переноса двигателей из сочленений в корпус ладони для устранения ограничений на используемые приводы из-за габаритных ограничений сочленений и уменьшения инерционности пальцев. При замыкании кинематической цепи необходимо учитывать, чтобы палец следовал по желаемой траектории изначального механизма с открытой кинематической цепью. Для обеспечения следования дистальной и проксимальной фаланг по желаемым траекториям, соответствующим механизму с открытой кинематической цепью, проводится параметрическая оптимизация положения точки крепления и длин присоединяемых звеньев.

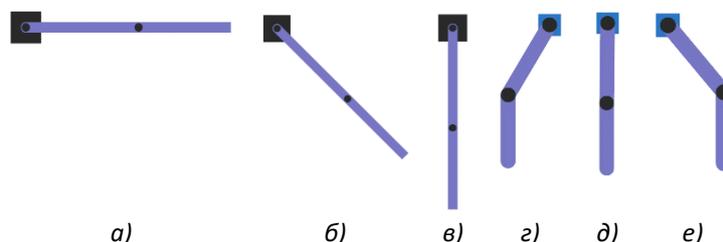


Рис. 1. Требуемый характер движения указательного пальца (*a-b*) и большого пальца (*г-e*)

Механизмы пальцев, рассмотренные выше, обладают двумя степенями подвижности, то есть для их управления необходимо два двигателя. Для редуцирования степени свободы так, чтобы механизм мог приводиться в движение от одного двигателя необходимо наложить дополнительные голономные связи присоединив группу Ассура.

Для обеспечения следования полноприводного механизма по желаемой траектории необходимо решить задачу параметрической оптимизации точек крепления свободных поводков присоединяемой группы к звеньям механизма и стойке. Движение пальцев с оптимизированной присоединенной группой Ассура приведено на рис. 2.

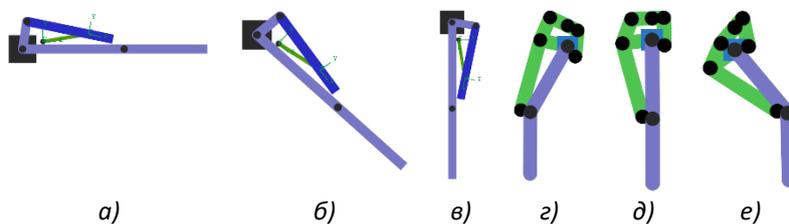


Рис. 2. Движение указательного (а-в) и большого (z-e) пальцев в полноприводном режиме

Если один из присоединенных поводков заменить звеном переменной длины для возвращения пальцу адаптивности, свойственной для неполноприводной схемы, то при отсутствии контакта, палец будет двигаться как в полноприводном режиме (рис. 2), а при контакте ниже линии равновесия палец будет осуществлять щипковый захват (рис. 3, (а, z)). В случае контакта с проксимальной фалангой или при контакте выше линии равновесия палец сгибается (адаптируется), то есть осуществляет адаптивный захват (рис. 3, (б-в, д-е)).

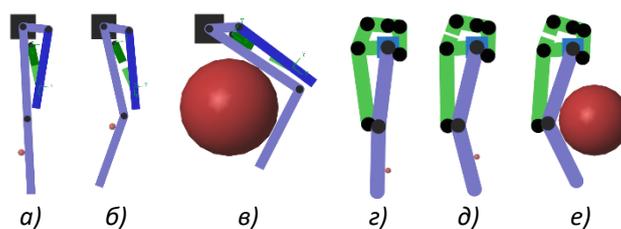


Рис. 3. Движение пальцев со звеном переменной длины при различных точках контакта

Для полученных механизмов пальцев спроектирована антропоморфная кисть, оснащенная пятью активными пальцами, но требующая только 4 двигателя для управления 13 степенями свободы. Один двигатель используется для приведения в действие указательного и среднего пальцев; второй мотор используется для приведения в действие безымянного пальца и мизинца. Большой палец оснащен двумя актуаторами: первый для сгибания, а второй для переориентации относительно ладони, что позволяет добиться множества жестов. Указательный и средний пальцы, а также безымянный палец и мизинец прикреплены к общим валам. Все пальцы соединены с входным валом через гибкие элементы, что предотвращает от заклинивания при контактировании с объектом. Преимуществом данного подхода является уменьшение числа используемых приводов, а также снижение общей массы, а также габаритов устройства. Чтобы получить легкую и прочную конструкцию, большинство деталей спроектировано для изготовления их из дюралюминия Д16Т; однако оси и валы должны быть изготовлены из стали, а контактирующие поверхности пальцев из мягкого пластика. Мягкие накладки нужны для обеспечения высокого коэффициента трения между пальцами и объектом. Все пальцы крепятся к ладони, которая является несущим каркасом, удерживающим все компоненты вместе. Для данной версии кисти топология среднего, безымянного пальцев и мизинца совпадает с топологией указательного пальца. Модель кисти представлена на рис. 4.

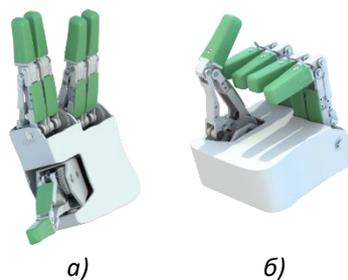


Рис. 4. Визуализация пятипалой кисти второго поколения: общий вид модели (а), сведение пальцев в ноль (б)

Поскольку каждый палец имеет 2 степени свободы, необходимо 2 датчика углового положения на каждый палец, чтобы контролировать его состояние. Датчик Холла был выбран в качестве датчика углового положения из-за его небольшого размера и простоты использования. Первый датчик необходим для определения положения дистальной фаланги относительно проксимальной. Второй датчик необходим для определения положения проксимальной фаланги по отношению к ладони захвата.

Задача объединения свойств полноприводных и неполноприводных механизмов в одном устройстве была решена принципами морфологического проектирования. Замкнутые кинематические цепи с интегрированными эластичными гибкими элементами позволили независимо регулировать конфигурацию пальцев при физическом контакте с объектами манипулирования, при использовании только четырех исполнительных приводов для управления тринадцатью степенями свободы: два для большого пальца, один для указательного и среднего пальцев и один для безымянного пальца и мизинца.

В ходе выполнения работы спроектировано два поколения захватных устройств. Для устройства первого поколения спроектирован и собран упрощенный трехпалый прототип для проверки основных конструкторских решений. С учетом выявленных недостатков по результатам имитационного моделирования и натуральных испытаний устройства первого поколения, главным из которых является ненадежность щипкового захвата при определенных положениях пальцев, спроектирована антропоморфная пятипалая кисть второго поколения, верификация которого производилась с помощью имитационного моделирования, аналогично конструкции первого поколения.

Ожидается, что спроектированное захватное устройство расширит диапазон приложений и экспериментальных сценариев, в которых iSub может быть использован, не нарушая физических ограничений его чувствительных частей.

Литература

1. Rizk Rany & Krut Sébastien & Dombre Etienne. (2007). Grasp-Stability Analysis of a Two-Phalanx Isotropic Underactuated Finger. 3289-3294. 10.1109/IROS.2007.4399169.
2. Gao G., Dwivedi A., Elangovan N., Cao Y., Young L., and Liarokapis M. "The New Dexterity Adaptive, Humanlike Robot Hand," IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2019.
3. Ramírez Rebollo D.R., Ponce P., & Molina A. (2017). From 3 fingers to 5 fingers dexterous hands. *Advanced Robotics*, 31(19-20), 1051–1070. doi:10.1080/01691864.2017.1393349
4. Novel Optimization Approach to Development of Digit Mechanism for Bio-Inspired Prosthetic Hand / Borisov I.I. [et al.] // 2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (Biorob). IEEE. 2018. P. 726-731.

5. Metta G., Natale L., Nori F. “The icub humanoid robot: An open-systems platform for research in cognitive development,” *Neural Networks*. vol. 23. no. 89. pp. 1125–1134. 2010.

Шагинова Лилия Олеговна

Год рождения: 1986

Университет ИТМО

факультет биотехнологий,

студент группы № Т42281,

направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология продуктов

функционального назначения,

e-mail: puma7@mail.ru

Забодалова Людмила Александровна

Год рождения: 1948

Университет ИТМО

факультет биотехнологий,

д.т.н., профессор (квалификационная категория «ординарный»),

e-mail: lzabodalova@itmo.ru

УДК 664.7

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕЛКОВОГО
ПРЕПАРАТА ИЗ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА**

Шагинова Л.О.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Забодалова Л.А.

Аннотация

В работе разрабатывалась технология белкового препарата, полученного из цельных семян подсолнечника, с выделением фенольных соединений. Технология позволяет вырабатывать белковые продукты светлого оттенка и с высокими функциональными свойствами. Исследования проводилась совместно Университета ИТМО и ВНИИЖиров в 2020-2021 годах в рамках договора о творческом сотрудничестве.

Ключевые слова

Подсолнечник, концентрат, изолят, белковый продукт, фенольные соединения, экстракция.

Проблема дефицита полноценного белка в рационе питания современного человека остается актуальной в настоящее время. Белок как важнейший источник необходимых организму незаменимых аминокислот, строительный материал клеток организма, поступает с продуктами питания. Одно из перспективных направлений ликвидации дефицита белка в рационе питания современного человека — использование растительного сырья в качестве источника для получения белков, а также комбинирование белков животного и растительного происхождения. Это обусловлено сравнительно невысокими денежными затратами с одной стороны, поскольку белки извлекаются из отходов масличного производства, и хорошим аминокислотным составом, предопределяющим целесообразность извлечения белка, с другой стороны.

К числу наиболее перспективного растительного сырья относятся семена масличных, зернобобовых и зерновых культур. В мировом промышленном производстве растительных белков приоритет принадлежит сое. Активно ведутся исследования и разрабатываются промышленные технологии получения пищевых растительных белков из гороха, люпина, рапса, амаранта, пшеницы и других культур.

В качестве источника для получения белка представляет интерес подсолнечник — одна из важнейших масличных культур мирового и отечественного земледелия [1].

Основная масса выращиваемых семян подсолнечника перерабатывается на масло и кормовые жмыхи и шроты, кроме того существенные объемы семян кондитерских сортов подсолнечника поступают в розничную продажу для населения и используются в кондитерской промышленности.

Анализ литературных источников показал, что при разработке технологий получения белковых продуктов из подсолнечных шротов использовали три основных технологических подхода:

- помол и сухое фракционирование продуктов помола с выделением фракций с повышенным содержанием белка и пониженным содержанием клетчатки;
- водноспиртовая экстракция небелковых соединений из специально подготовленного обезжиренного сырья;
- извлечение белковых веществ из шротов водными растворами электролитов с последующим их сепарированием путем осаждения в изоэлектрической точке или с использованием мембранных технологий.

Однако наличие в выпускаемых продуктах фенольных соединений, продукты окисления которых вызывают изменение цвета на темно-зеленый или коричневый цвета, а также снижают функциональные свойства получаемого белкового препарата не позволяет эффективно использовать выпускаемые белковые концентраты и изоляты в пищевой промышленности. Подсолнечный шрот может содержать от 1 до 4% фенольных соединений, состоящих преимущественно из хлорогеновой и кофейной кислот, которые легко окисляются при щелочной экстракции белка [2].

Из выше изложенного была поставлена цель и определены задачи.

Цель: разработка технологии белкового препарата с низким содержанием фенольных соединений из цельных семян подсолнечника.

Задачи:

- на основе анализа существующих методов выбрать способ максимального извлечения белкового компонента при сохранении его нативных свойств;
- отработать технологию, исследовать влияние факторов, определяющих выход продукта;
- получить белковый препарат с содержанием белка не менее 70%;
- отработать приемы, позволяющие исключить изменение цвета полученного белкового препарата из семян подсолнечника;
- изучить органолептические свойства, физико-химические показатели, функционально-технологические свойства и фракционный состав полученного белкового препарата.

Материалы и методы

В качестве исходного сырья использовались семена подсолнечника по ГОСТ 22391-2015.

Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 13979.1-68 “Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Методы определения влаги и летучих веществ”.

Массовую долю сырого протеина - по ГОСТ Р 51417-99 “Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля”. На приборе KjelFlex K-360 производства фирмы BUCHI.

Массовую долю сырого жира - по ГОСТ Р 53153-2008 “Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира. Часть 1. Метод экстрагирования гексаном (или петролейным эфиром)”. Аппарат Сокслета.

Фракционный состав белка - “Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. Том 2” под ред. В.П. Ржехина и А.Г. Сергеева, Ленинград, 1965 г.

Водоудерживающая способность - модифицированный метод Sosulski, Cereal Chem. 39/344(1962).

Жироэмульгирующая способность - модифицированный метод Swift, Lockert C., Food Technol. 15.468(1961).

Жирудерживающая способность - модифицированный метод Lin, Humbert, Sosulski, J. Food Sci. 39, 368-370 (1974)

Результаты и обсуждение

В исследовательской работе было решено взять курс на апробацию комбинированной технологии с использованием многоступенчатой экстракции для получения белкового препарата, не содержащего фенольных соединений.

Исследовалась многоступенчатая экстракция очищенных и измельченных семян подсолнечника, которая включала в себя стадии экстракция масла при мягких режимах, водно-спиртовой экстракции фенольных соединений, последующего извлечения белковых веществ водными растворами электролитов и осаждение белка в изоэлектрической точке.

Стадии получения белкового препарата:

1. Очистка семян подсолнечника от лузги и их измельчение.
2. Обезжиривание лепестков. Первая партия обезжиривалась методом настаивания, для обезжиривания второй партии применялся метод полной экстракции в аппарате Сокслета.
3. Экстракция фенольных соединений. Для извлечения фенольных соединений применяли многоступенчатую экстракцию цельных семян подсолнечника 80% раствором этилового спирта при комнатной температуре, подобранную на основании работы УНИИМЖ [3]. Соотношение спирта и шрота разбито на 2 стадии экстракции в пропорции 1:6 и 1:4 соответственно.
4. Экстракция белка. Высвобождение белка производили 0,1%-ным раствором гидрокарбоната натрия в пропорции 1:10. Экстракция проходила при температуре 55°C в течение 40 минут.
5. Осаждение белка. Осаждение белка проводили 10%-ным раствором соляной кислоты при рН равном 4,5-4,6.
6. Нейтрализация. Производят 5%-ным раствором едкого натрия до рН не выше 7,0.
7. Сушка. Процесс сушки проводили на распылительной сушилке капиллярного типа при температуре 165°C первый образец, на выходе температура примерно 86-88°C, второй образец сушили при температуре 180°C и температура выхода была 90°C.

Опытные выработки концентрата из семян подсолнечника проводили на базе лаборатории пищевой биотехнологии факультета биотехнологий Университета ИТМО и лаборатории растительных белков и биотехнологии ВНИИЖиров.

В лабораторных условиях из семян подсолнечника были получены сухие порошкообразные белковые светлые препараты с серым оттенком, которые не темнели на воздухе и при контакте с водой. Белковые препараты не имели посторонних запахов и обладали нейтральным вкусом. Содержание сырого протеина в полученных опытных образцах подсолнечных белковых препаратов составило 75,72% и 87,15% на а.с.в., что соответствует содержанию сырого протеина в промышленно выпускаемых концентратах подсолнечного и соевого белка.

Характеристики полученных белковых препаратов (обр. 1 и обр. 2) приведены в табл. 1 в сравнении с характеристиками промышленно выпускаемых соевых белков и подсолнечного концентрата «Протемил».

Функционально-технологические свойства белковых продуктов

Характеристики	Образец 1	Образец 2	Концентрат соевых белков Юнико ХС	Соевая мука импортная (США)	Подсолнечный концентрат «Протемил»
Органолептические показатели	светло-серый, без запаха	светло-серый, без запаха	светло-кремовый, без запаха	светло-желтый слабый запах	зеленый, слабый запах
Влажность, %	7,14 ± 0,05	6,72 ± 0,03	5,78	5,96	5,00
Сырой протеин, %, на а.с.в.	75,72 ± 0,16	87,15 ± 0,08	75,02	53,4	82,40
ВУС, %	160 ± 2,83	215 ± 0,07	383	318	250
ЖУС, %	100 ± 0,25	122 ± 0,85	130	81	110
ЖЭС, %	75 ± 0,55	85 ± 1,42	88	54	93
Стабильность эмульсии, %	57 ± 0,16	76 ± 0,42	86	57	87

Полученные образцы имеют функциональные свойства, превосходящие свойства обезжиренной соевой муки, и сравнимы со свойствами соевых концентратов. Однако по показателям водоудерживающей способности оба образца уступают показателям соевых белковых продуктов.

Полученные образцы отличались по содержанию сырого протеина 75,72% и 87,15%, это объясняется тем, что во втором случае были подобраны наиболее оптимальные параметры процесса: исходные семена были обезжирены не настаиванием, а путем исчерпывающей экстракции в аппаратах Сокслета; были уточнены гидромодуль процесса и оптимизированы количества реактивов, используемых для осаждения и нейтрализации.

По данным исследования фракционного состава белков (табл. 2) основные белковые фракции концентрата из семян подсолнечника представлены глютелинами, хотя у семян подсолнечника как раз преобладают глобулиновые и альбуминовые фракции белка. Это обусловлено выбором технологии получения белкового препарата щелочным способом. Высокая суммарная растворимость белков и маленькая концентрация нерастворимого остатка свидетельствуют о правильно подобранных режимах сушки белка.

Был произведен расчет биологической ценности белкового компонента методом аминокислотного скоря. Расчет для белкового продукта из семян подсолнечника состава белкового компонента, в частности расчет комплексного показателя сбалансированности белковой составляющей продукта равна $D=0,65$ для образца 2, по логической функции Е.К. Харрингтона «шкала желательности» входит в диапазон «хорошо» [0,63-0,8]. И «удовлетворительно» [0,37-0,63] для образца 1 при $D=0,57$ (табл. 3).

Таблица 2

Фракционный состав белка концентрата из семян подсолнечника

Образец	Фракционный состав белков, % на а.с.в.			Нерастворимый остаток белка, % на а.с.в.
	альбумины	глобулины	глутелины	
Образец 1	25,39 ± 0,005	13,54 ± 0,02	56,20 ± 0,09	4,87
Образец 2	18,17 ± 0,09	14,91 ± 0,51	60,73 ± 0,05	6,18

Таблица 3

Аминокислотный состав концентрата белка из подсолнечника

Наименование аминокислоты	Массовая доля НАК в эталонном белке, г/100 г белка ⁷	Массовая доля НАК в концентрате, г/100 г белка		Аминокислотный скор концентрата, %	
		Образец 1	Образец 2	Образец 1	Образец 2
Валин	4,30	5,41	4,70	125,89	109,38
Гистидин	2,00	2,69	2,34	134,64	116,98
Изолейцин	3,20	7,16	6,22	223,89	194,53
Лейцин	6,60	11,75	10,21	177,97	154,63
Лизин	5,70	6,31	5,48	110,61	96,10
Метионин+цистин	2,70	5,98	5,20	221,48	192,43
Треонин	3,10	3,72	3,23	119,92	104,20
Триптофан	0,85	1,78	1,55	209,13	181,70
Фенилаланин+тирозин	5,20	6,03	5,24	116,01	100,80
КРАС ⁸ , %		49,34	42,87	-	-
БЦ, %		50,66	57,13	-	-
G ⁹		0,12	0,12	-	-
U _A ¹⁰		0,049	0,056	-	-
D ¹¹		0,57	0,65	-	-

Выводы

1. Разработана технология получения концентрированного белкового препарата из семян подсолнечника.
2. Для удаления фенольных соединений из подсолнечного сырья предложено ввести дополнительно стадию экстракции 80%-ным раствором этилового спирта.
3. Установлены рациональные операции технологического процесса получения белкового препарата влияющие на выход и качества: гидромодуль процесса экстракции фенольных соединений 1:10; температура процесса экстракции белков 55°C; соотношение шрот растворитель 1:10; рН экстракции 10 – 11; время экстракции – 45 мин., рН осаждения 4,3- 4,5.

⁷ Аминокислотный состав эталонного белка по шкале ФАО/ВОЗ 2011г.

⁸ КРАС – Коэффициент различий аминокислотного сора.

⁹ G - Показатель сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот.

¹⁰ U_A- Индекс аминокислотного состава.

¹¹ D - Комплексный показатель сбалансированности белковой составляющей продукта.

4. Получен белковый препарат с содержанием сырого протеина более 70%, имеющий светло-серый цвет, нейтральный вкус и запах, характерный для семян подсолнечника.

5. Изучены физико-химические, функциональные и органолептические характеристики готового продукта. Установлено: содержание сырого протеина изменяется от 75,72% до 87,15%, фракционный состав белков представлен альбуминовой, глобулиновой и глютелиновой фракциями, основную часть составляют глютелины 56,20 – 60,13%, альбумины 18,17 – 25,39%, глобулины 13,54 – 14,91%. Функциональные характеристики находятся на уровне соответствующем концентрированным белковым продуктам из подсолнечника: ВУС – 160-215%; ЖУС – 100 – 120%; ЖЭС 75 – 85%; стабильность эмульсии 57 – 76%.

6. Функционально-технологические свойства позволяют рекомендовать данный продукт для использования в пищевой промышленности как белковую добавку, а так же использовать как основу для изготовления функциональных продуктов.

Литература

1. Рынок семян подсолнечника, подсолнечного масла и шрота - тенденции и прогнозы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/industries/oilseeds/rynok-semyan-podsolnechnika-podsolnechnogo-masla-i-shrota-tendentsii-i-prognozy.html>, свободный.
2. Weisz G.M. Identification and quantification of phenolic compounds from sun-flower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC/DAD/ESI-MSn / Weisz G.M., Kammerer D.R., Carle R. // Food Chem. 2009. Vol. 115. № 2. P. 758–765.
3. Шаповалова И.Е., Федякина З.П., Демидов И.Н., Матвеева Т.В. Обоснование получения хлорогеновой кислоты из подсолнечного шрота. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. №63. 2013.

Шаталова Юлия Станиславовна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W41512,

направление подготовки: 20.04.01– Техносферная безопасность,

e-mail: shatalovayus@mail.ru

Ляшенко Оксана Александровна

Год рождения: 1960

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий, преподаватель практики;

СПб филиал ВНИРО (ГосНИОРХ),

к.б.н., в.н.с.,

e-mail: strannik892@gmail.com

УДК 502.35

**ОЦЕНКА ВРЕДА ВОДНЫМ БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ
ОТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПЛАНИРУЕМОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И НАРУШЕНИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА**

Ю.С. Шаталова

Научный руководитель – к.б.н., в.н.с. О.А. Ляшенко

Аннотация

По результатам работы рассмотрены различные подходы к оценке вреда водным биологическим ресурсам от нарушения законодательства и планируемой хозяйственной деятельности в Российской Федерации и зарубежных странах, проведен анализ нормативно-правовой базы, выполнена оценка негативного воздействия на ВБР по проектной документации для двух проектов. По результатам оценки воздействия на ВБР осуществление работ по одному проекту не предполагает проведения компенсационных мероприятий, для другого проекта разработаны мероприятия по устранению негативного воздействия.

Ключевые слова

Водные биологические ресурсы, оценка ущерба ВБР, намечаемая деятельность, нарушение законодательства, Невская губа, Финский залив.

Охрана и воспроизводство водных биологических ресурсов является актуальной проблемой как с научной точки зрения – в плане сохранения редких и исчезающих видов гидробионтов и полноценно функционирующих водных экосистем с уникальными генофондами, так и с практической – сохранения ценных для человека, самовоспроизводящихся в течение неограниченного времени продуктов и веществ.

Согласно Федеральному закону N 166 «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» водные биологические ресурсы – это рыбы, водные беспозвоночные, водные млекопитающие, водоросли, другие водные животные и растения, находящиеся в состоянии естественной свободы [1, 4].

Цель работы: анализ методических подходов к оценке ущерба ВБР и оценка ущерба водным биологическим ресурсам от планируемой хозяйственной деятельности.

Для выполнения поставленных задач было необходимо:

1) ознакомиться с актуальными нормативными актами и подготовить литературный обзор;

2) изучить существующие зарубежные инструменты возмещения вреда ВБР и сравнить с Российскими;

3) провести оценку воздействия планируемой деятельности на водные биологические ресурсы по проектной документации на базе Научно-исследовательского центра экологической безопасности.

К факторам, приносящим ущерб ВБР, относятся любые виды антропогенного воздействия, которые:

- приводят к уничтожению ВБР (гибель от загрязнения и других повреждающих воздействий);

- приводят к уничтожению или сокращению кормовой базы ВБР или препятствуют их размножению;

- уничтожают или наносят ощутимые повреждения среде их обитания.

Незаконный вылов и добыча ВБР сверх утвержденных нормативов, а также вылов и добыча видов, промысел которых запрещен для сохранения и расширенного воспроизводства их популяций, также относится к факторам, наносящим ущерб ВБР.

Возмещение вреда, причиненного водным биоресурсам, осуществляется в добровольном порядке или на основании решения суда и определяется в соответствии с таксами, утвержденными Правительством Российской Федерации, и методиками исчисления размера причиненного водным биоресурсам вреда, утвержденными Министерством сельского хозяйства, а при отсутствии указанных такс и методик – исходя из затрат на восстановление водных биоресурсов.

В Российской Федерации, как и в зарубежных странах, основными подходами к компенсации ущерба водным биологическим ресурсам от антропогенного воздействия являются: выплата ущерба в денежном эквиваленте (штрафы за загрязнение, незаконный вылов и др.) и проведение компенсационных мероприятий, способствующих восстановлению утраченных ВБР.

Государственные органы США при возмещении вреда, нанесенного ВБР от незаконного вылова, учитывают рыночную стоимость улова ВБР. В США и Европейском союзе приняты и реализуются единые методические подходы в сфере возмещения вреда, в то время как в РФ наблюдается разобренный набор методик, которые подразделяются по видам ущерба и отраслям.

В Российской Федерации функционируют 2 подхода к возмещению вреда, нанесенного водным биоресурсам. Ранее они содержались в Приказе Росрыболовства [2] от 25.11.2011 N 1166 "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам", но с 2020 г. Они представлены в двух приказах. Приказ Минсельхоза России от 31.03.2020 N 167 "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам" определяет процедуру оценки ущерба от нарушения законодательства (гибель ВБР или снижение рыбопродуктивности водного объекта в результате загрязнения или других вредных воздействий, а также осуществление несогласованной хозяйственной деятельности). Приказ Минсельхоза России от 06.05.2020 N 238 "Об утверждении Методики определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состоянии водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния" – определяет процедуру оценки ущерба от планируемой деятельности (гидротехнические работы, прокладка трубопроводов через водные объекты и т.д.) [3].

По второй методике в настоящей работе выполнена оценка негативного воздействия на ВБР по проектной документации для двух проектов.

Оценка вреда проводилась по кормовой базе, которую составляют: фитопланктон, зоопланктон и зообентос. В связи с тем, что в ихтиофауне восточной части Финского залива, включая Невскую губу, виды рыб растительного комплекса отсутствуют, гибель фитопланктона в откачиваемом объеме воды не рассматривается.

В первом случае оценка воздействия хозяйственной деятельности на водные биоресурсы проводилась по проекту берегоукрепления южной набережной, базирующегося в порту «Геркулес».

Объект проектирования расположен в северо-восточной части Невской губы Финского залива Балтийского моря. На западе расположен яхт-клуб, на севере и востоке – сооружения МФК «Лахта центр», с юга участок ограничен акваторией Невской губы.

В соответствии с Приказом Минсельхоза России от 06.05.2020 № 238 с использованием предоставленных заказчиком данных об участках и характере проведения работ, а также средней биомассы зоопланктона и зообентоса, определен прогнозируемый размер вреда водным биоресурсам, который составил 1,18 кг. Прогнозируемый размер вреда водным биологическим ресурсам от планируемой деятельности незначителен – существенно менее 10 кг в натуральном выражении, что в соответствии с Методикой не потребовало проведения компенсационных мероприятий. В то же время в период производства работ требуется проведение производственного экологического контроля над влиянием осуществляемой хозяйственной деятельности на состояние водных биоресурсов и среды их обитания.

Цель ПЭК: оценка воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания производства работ в порту «Геркулес».

1. Учитывая, что последствия осуществления планируемой деятельности по строительству южной набережной незначительны, целесообразно провести только одну съемку в период производства работ в акватории залива. Планируется отбор проб гидробионтов, формирующих кормовую базу рыб (зоопланктона и зообентоса).

2. Наблюдения проводятся на акватории Невской губы на трех участках: на расстоянии 100 м, 200 м и 300 м от границы работ.

Методы проведения ПЭК: картографический метод, анализ документации, натурное обследование территории, фотосъемка, натурные исследования с отбором проб гидробионтов, приборные измерения, экспертные оценки, документирование.

Следующая оценка негативного воздействия от намечаемой деятельности проводилась по проекту по строительству и реконструкции зданий и сооружений на площадке ММПК «Бронка», охватывающую станции, представленные на слайде. Участок работ расположен на берегу Финского залива в районе КЗС.

С использованием предоставленных заказчиком данных об участках проведения работ и их характере, моделировании шлейфа мутности, а также средней биомассы зоопланктона и зообентоса, определен прогнозируемый размер вреда водным биоресурсам, который составил 23,75 кг, включая постоянное и временное воздействие.

С учетом того, что прогнозируемый размер вред больше 10 кг, разработаны мероприятия по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биоресурсов и среды их обитания. С учетом характера воздействия и сравнительно небольшого размера вреда рекомендуется восстановительное мероприятие осуществить путем искусственного воспроизводства.

В качестве объекта искусственного воспроизводства рекомендуется лосось атлантический – наиболее ценный промысловый вид ихтиофауны Финского залива и приоритетный вид для восстановительных мероприятий в Западном рыбохозяйственном бассейне. Предлагается выпуск годовиков атлантического лосося в крупные реки – притоки Финского залива, приоритетно – в р. Нева.

В качестве альтернативного вида рыб для выполнения восстановительного мероприятия рекомендуется сиг обыкновенный, относящийся также к ценным

промышленным видам в Финском заливе.

Таким образом, в приоритетном варианте объем компенсационного выпуска составил: 66 экз. годовиков лосося, в альтернативном варианте: объем выпуска – 1267 экз. сеголетков сига.

Поскольку в период производства работ ожидается причинение вреда ВБР, требуется проведение ПЭК за влиянием осуществляемой хозяйственной деятельности на их состояние.

Цель данного ПЭК – оценка воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания производства работ по объекту. Принимая во внимание виды работ и возможное их воздействие на ВБР, предлагается следующее.

В водоохранной зоне проводить визуальный контроль расположения временных и постоянных сооружений, соответствие проводимых работ (особенно в части технологии) проектным решениям с предоставлением фотографического материала.

Документальное освидетельствование состояния берегов рек, выполняется не менее 2-х раз – в период работ и по их завершению.

После завершения работ проводится наземное натурное обследование территории для контроля результатов рекультивации участков, расположенных в границах производства работ, фиксируется (контролируется соответствие проектным решениям) состояние берегов рек вдоль уреза воды в районе устройства выпусков водоотводных лотков, в русле рек – отсутствие строительных отходов и материалов.

Особенно важно после завершения работ визуальное обследование русла водотоков с целью контроля восстановления свободного тока воды и обеспечения условий для беспрепятственных миграций рыб (полный демонтаж временных сооружений и извлечение строительного мусора).

В русловой части водотоков необходимо провести наблюдения только за состоянием сообществ гидробионтов, формирующих кормовую базу рыб.

По результатам выполнения ВКР изучены актуальные на 2021 год инструменты оценки и возмещения ущерба ВБР в Российской Федерации. Рассмотрены подходы в сфере возмещения вреда ВБР при нарушении законодательства и в процессе намечаемой деятельности в зарубежных странах Европы и США и проведено их сравнение с подходами, используемыми в Российской Федерации. Проведена оценка негативного воздействия намечаемой деятельности на ВБР на примере двух проектов. По результатам оценки негативного воздействия ВБР в одном проекте необходимость в проведении компенсационных мероприятий отсутствовала, в другом – разрабатывались мероприятия по устранению негативного воздействия. По результатам оценки негативного воздействия для обоих проектов были разработаны программы ПЭК.

Литература

1. Федеральный закон от 20.12.2004 N 166-ФЗ (ред. от 15.10.2020) "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов". URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/ (дата обращения: 02.11.2020).
2. Приказ Росрыболовства от 25.11.2011 N 1166 "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 05.03.2012 N 23404). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_127115/ (дата обращения: 03.01.2021).
3. Приказ Минсельхоза России от 31.03.2020 N 167 "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам" (Зарегистрировано в Минюсте России 15.09.2020 N 59893). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_362397/ (дата обращения: 03.01.2021).

4. Приказ Росрыболовства от 06.05.2020 N 238 "Об утверждении Методики определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния" (Зарегистрировано в Минюсте России 05.03.2021 N 62667). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_378759/ (дата обращения: 14.04.2021).

Шелеманова Арина Александровна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы № В42651,

направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы

в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,

e-mail: arishkaavseenko@mail.ru

Ситникова Вера Евгеньевна

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

к.х.н., ст. преподаватель (квалификационная категория "старший преподаватель"),

e-mail: kresenka@gmail.com

УДК 543.4

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ
НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В СОЧЕТАНИИ
С МНОГОМЕРНЫМИ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА**

А.А. Шелеманова

Научный руководитель – к.х.н., ст. преподаватель В.Е. Ситникова

Аннотация

Современная ситуация, связанная с оборотом твёрдых пластиковых отходов, близка к критической: перерабатывается около 16%, основная часть утилизируется, что негативно сказывается на природных ресурсах. Работа посвящена разработке методики сортировки пластиковой тары. С использованием методов инфракрасной спектроскопии в среднем диапазоне и метода главных компонент был выполнен качественный и количественный анализ порядка 200 образцов пластиковых отходов.

Ключевые слова

Инфракрасная спектроскопия, пластиковые отходы, метод главных компонент, регрессия частичных наименьших квадратов, полимерные плёнки, сортировка отходов.

Пластиковые отходы представляют собой разные виды отслуживших изделий и материалов, изготовленных из синтетических полимеров. Безусловно, продукция из полимеров имеет множество преимуществ, связанных со свойствами материала и экономической выгодой его использования. Однако полимерные материалы крайне сложно поддаются биологическому разложению, что негативно сказывается на экологии.

Одним из наиболее важных процессов в обращении с пластиковыми отходами является сортировка, а именно обнаружение материала, подлежащего переработке. Это необходимо для максимально эффективного вторичного использования. Для подобных целей на упаковку наносится специальный маркировочный знак. С помощью маркировки реализуется ручной метод сортировки. Также известны следующие методы сортировки: сепарация, грохочение, распознавание по штрихкоду, определение по фотографии и оптические технологии. Доказана эффективность оптических методов, так как их результативность на порядок выше [1].

Анализ текущего состояния проблемы позволил выявить ряд недостатков в существующих процессах обращения с полимерными отходами. Промышленное

оборудование оптической сортировки стоит дорого, при этом оно не позволяет отказаться от ручного и механического этапа сортировки [2]. Ручные и механические способы стоят значительно дешевле, однако малоэффективны. Изучение законодательной сферы (ГОСТ Р 50962–96, ГОСТ 33366.1–2015, и ГОСТ Р 57058–2016) показало, что производитель обязан обозначить полимерный материал, из которого изготовлено изделие, но при этом чистота данного материала не контролируется. Также в ходе выполнения работы были обнаружены случаи ошибочной маркировки производителем.

Инфракрасная спектроскопия является эффективным методом исследования полимерных материалов. Данный метод является неразрушающим и позволяет делать достоверные и быстрые прогнозы о количественном и качественном составе вещества. Существует множество исследований и технологий, которые затрагивают измерения в ближней части инфракрасного диапазона, но такая методика не позволяет эффективно идентифицировать образцы одного полимера с разными добавками, вспененные и твёрдые фазы, прозрачные и цветные полимеры, а также тёмные образцы [3, 4]. Средний диапазон не был хорошо изучен, что определяет необходимость продолжать исследования в данном направлении. Таким образом, проведённый анализ существующих технологий позволил сделать вывод о необходимости создания собственной методики сортировки на основе оптических технологий.

Целью данной работы было создание эффективной методики идентификации пластиковых материалов. В ходе проведения исследования доказана гипотеза о том, что для этой цели могут быть применима инфракрасная спектроскопия среднего диапазона в сочетании с методами хемометрики.

Для решения задачи классификации твёрдых пластиковых отходов была собрана база образцов, подготовленных из твердых бытовых пластиковых отходов (189 образцов), включая напитки, бытовую химию, косметику, а также тару для пищевых продуктов. Использовались различные форм-факторы, цвета, производители и страны. Представлены следующие типы бытового пластика: полипропилен (ПП), полиэтилентерефталат (ПЭТ), поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полиэтилен низкой плотности (ПЭНП). Вся база была поделена на тестовую и обучающую выборки. Большинство образцов были предварительно обработаны, чтобы облегчить прижатие к плоской поверхности. Чтобы имитировать реальные условия окружающей среды, образцы не были очищены.

В ходе исследования было получено порядка 500 спектров различных типов пластика в диапазоне $600\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. Измерения проводились на Фурье-ИК спектрометре TENSOR 37 с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения НПВО PIKE MIRAcle. Проверено, что в данном диапазоне существуют очевидные различия в спектральных характеристиках различных видов пластмасс (рис. 1), что необходимо для классификации.

Для обработки многомерных данных рекомендуется использовать специальные методы. В данной работе был выбран метод главных компонент (МГК). Анализ данных проводился с использованием программного обеспечения Unscrambler v. 9.7 (CAMO AS). Перед созданием модели была проведена предварительная обработка спектров, а именно коррекция базовой линии, нормализация и исключение сигналов, что позволило увеличить точность прогноза.

В рамках решения задачи классификации пластиковой тары было создано несколько моделей для разных диапазонов спектра: $600\text{--}4000\text{ см}^{-1}$, $2857\text{--}3333\text{ см}^{-1}$, $1667\text{--}2000\text{ см}^{-1}$, 1047 см^{-1} , $650\text{--}800\text{ см}^{-1}$. Основанием для выбора диапазона являлись параметры реальных источников излучения ИК-диапазона от компании THORLABS, которые выбирались в соответствии с характеристическими частотами пластиков в среднем ИК-диапазоне [5]. Модели создавались на основе 318 спектров 106 образцов обучающей выборки.

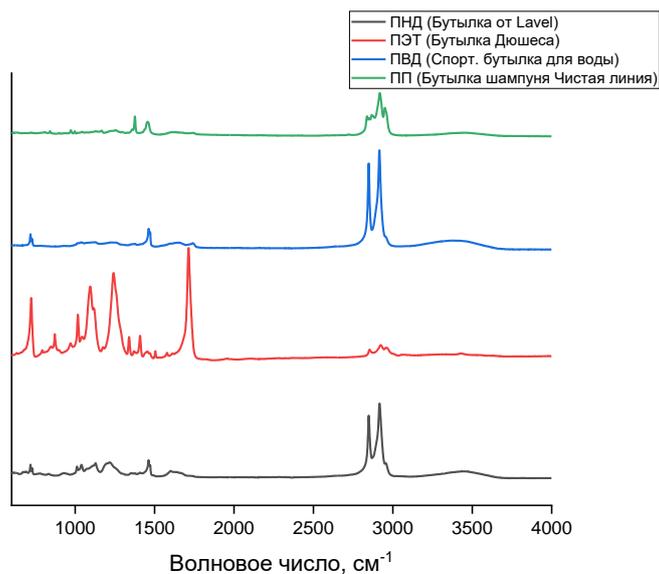


Рис. 1. Спектры пластиков различного типа

На рис. 2 показан график оценок первых двух главных компонент (PC1 и PC2), на котором можно увидеть четкое разделение между пятью типами полимерных пластиков.

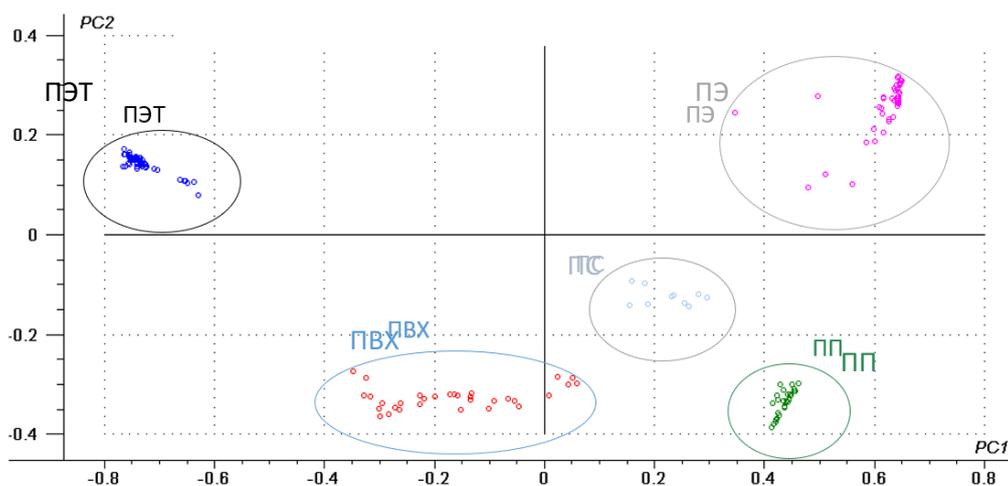


Рис. 2. Результаты анализа основных компонент, проведенного со спектральными данными различных товаров. Показан график оценки первых двух компонент

Можно отметить, что в новом пространстве, определяемом первыми двумя компонентами, полимеры образуют очень плотные и однородные кластеры. Кроме того, результаты МГК, примененные к ограниченному набору данных образцов ПЭТ, не показали разделения между десятью видами образцов ПЭТ «Святой источник», что подтвердило интерпретацию распределения полос в спектрах ИК-диапазона.

Стоит отметить, что в ходе решения данной задачи было обнаружено, что некоторые производители указывают неверную информацию о материале упаковки. Часть образцов представляла собой смесь различных полимеров, либо совсем не соответствовала маркировке. Эта проблема вызвала необходимость тщательной проверки всех спектров с использованием базы спектров полимерных материалов, а также сокращением количества образцов обучающей выборки.

После исследовательского анализа МГК был применен инструмент контролируемой классификации, чтобы различать различные классы пластмасс. В данном методе используется алгоритм регрессии частичных наименьших квадратов (PLS) с целью классификации. После построения модели регрессии была выполнена классификация элементов тестовой выборки. Каждому типу пластика был присвоен номер от 0 до 4 (0–ПЭТ, 1–ПВХ, 2–ПП, 3–ПС, 4–ПЭ). В результате классификации для каждого образца определялся номер пластика. Также для каждого типа пластика были рассчитаны чувствительность (1) и специфичность (2) модели.

$$\text{Чувствительность} = \frac{TP}{TP+FN} , \quad (1)$$

$$\text{Специфичность} = \frac{TN}{TN+FP} . \quad (2)$$

Здесь истинно положительные (TP) – количество наблюдений, которые изначально положительны, а также классифицируются как положительные; истинно отрицательные (TN) – количество наблюдений, которые изначально отрицательны, а также классифицируются как отрицательные; ложноположительные (FP) – количество наблюдений, которые изначально отрицательны, но классифицированы как положительные; ложноотрицательные (FN) – количество наблюдений, которые изначально положительны, но классифицированы как отрицательные.

Результаты прогноза для групп полимерных материалов с измерением по всему спектру показаны в таблице с общей точностью модели 93%.

Таблица

Результаты прогноза для групп полимерных материалов по модели во всем диапазоне спектра

Пластиковая группа	Количество спектров	% правильно идентифицированных спектров	Чувствительность	Специфичность
ПЭТ	30	93	93	98
ПВХ	7	71	86	99
ПП	15	100	100	97
ПС	5	80	80	100
ПЭ	27	93	100	98

Модели PLS регрессии были также получены для других спектральных диапазонов ИК спектров. Были подобраны оптимальные параметры моделей и проведен статистический анализ. Наилучшие результаты показала модель для диапазона 2857–3333 см⁻¹. Данная модель оказалась чуть более точной (94%), чем измерение по всему спектру (93%), при этом стоимость источника излучения в данном диапазоне в 3 раза ниже, чем по всему спектру. Гипотеза об эффективности точечного источника не подтвердилась: данный источник был наиболее дешевым, но показал наименьшую точность (24%).

На рис. 3 представлена матрица неточностей моделей PLS, построенных для набора пластиковых материалов.

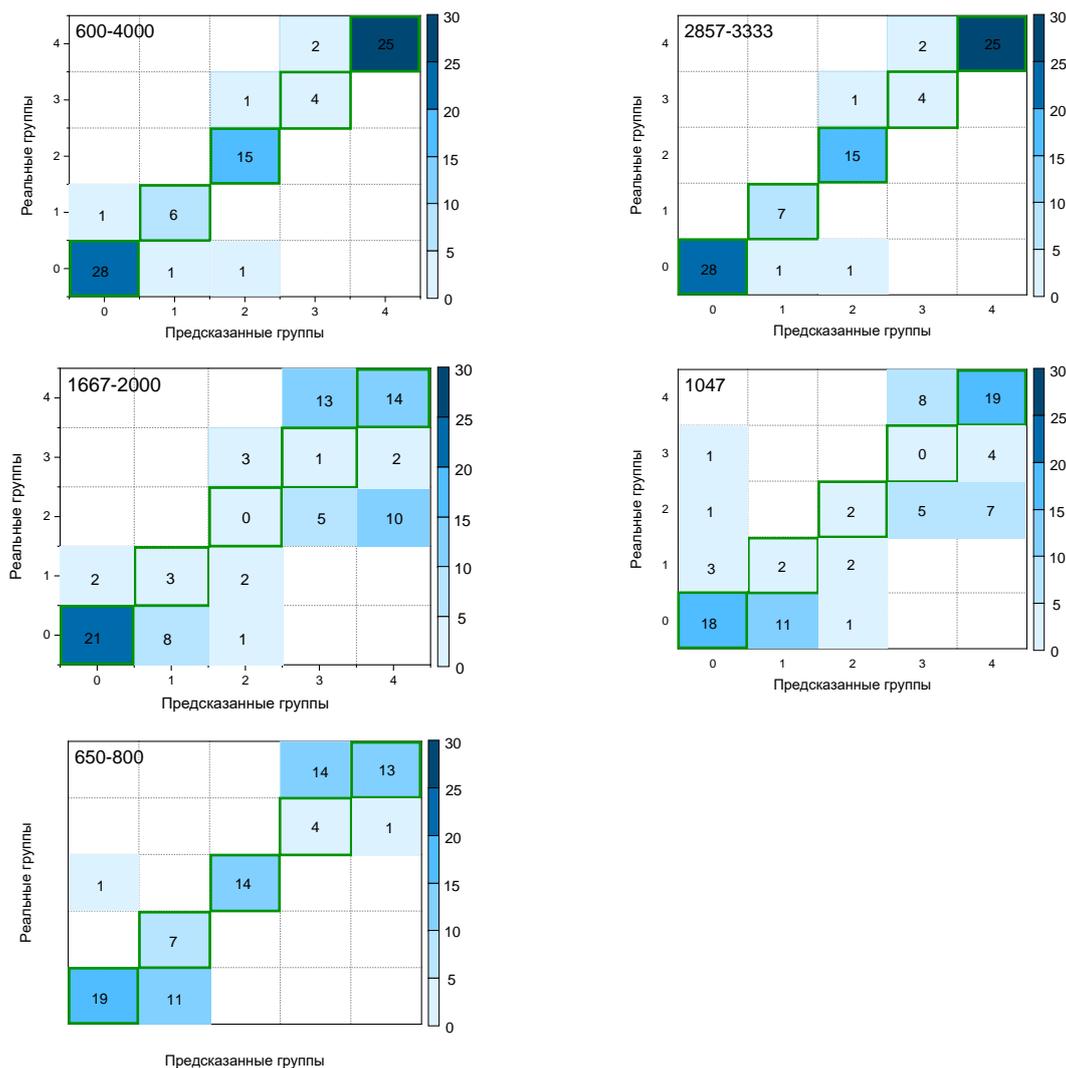


Рис. 3. Матрица неточностей для прогнозирования образцов пластиков с помощью модели PLS-1 в диапазонах: (а) 4000-600, (б) 3333-2857, (в) 2000-1667, (г) 1047 и (е) 800-650 (группа 0–ПЭТ; группа 1–ПВХ; группа 2–ПП; группа 3–ПС; группа 4–ПЭ). Зелёным выделена диагональ с совпадением между предсказанием и реальным значением

Наблюдаемые значения правильного и неправильного классов набора прогнозов были получены визуально и использовались для расчета статистических показателей. Видно, что модели в диапазонах 2000–1667 см⁻¹ и на волновом числе 1048 см⁻¹ имеют гораздо большее число ошибок, так как выбранные диапазоны не являются показательными для классификации полимеров. Кроме того, видно, что ошибочная оценка в основном происходит между образцами ПЭТ и ПЭ, так как для этих пластиков часто используют добавки в виде других полимеров.

Как было отмечено, в основном ошибки предсказания по полученным моделям появлялись вследствие того, что бытовой пластик состоит из смесей полимеров, часто имеющих многослойную структуру. Поэтому полезно для разработки наиболее полной предсказательной модели дополнить ее выборками смесей различных полимеров, чтобы иметь возможность оценивать количество полимерных компонентов в исследуемых смесях.

В данной работе были исследованы смеси поливинилхлорида с полиэтиленом (ПВХ-ПЭ), полигидроксibuтиратом (ПВХ-ПГБ) и метилбутадиенстиролом (ПВХ-МБС).

Для смеси ПВХ-МБС с неизвестным количественным составом с помощью созданных моделей для выбранных на основе характеристических частот диапазонов измерений была проведена количественная оценка содержания МБС. Наиболее точное предсказание в данном случае дала модель, созданная на комбинации двух участков спектра – $3200\text{--}2800\text{ см}^{-1}$ и $710\text{--}690\text{ см}^{-1}$. Таким образом, предлагаемая методика была продемонстрирована как ценный метод не только качественного, но и количественного анализа отходов пластмасс.

В случае смесей ПВХ-ПГБ и ПВХ-ПЭ модели предсказали только правильный порядок значений. На малых концентрациях такие отклонения значительно снижали общую точность модели. Предполагаемые причины низкой точности моделей – плохая смешиваемость полимеров, которая вызвала неоднородность распределения добавки по поверхности плёнки, а также незначительные концентрации ПГБ и ПЭ. Тем не менее данные модели обладают некоторой прогностической ценностью.

К сожалению, комбинаций смесей полимеров при изготовлении бытовых или промышленных пластиков огромное множество. Для создания более точной модели классификации надо рассматривать информацию от всевозможных смесей полимеров. Для решения такой задачи лучшим подходом будет использовать нейронную сеть для предсказания пластиковых отходов с большей точностью.

Таким образом, в ходе работы была разработана хемометрическая модель прогнозирования на основе инфракрасных спектров для идентификации пластиковых материалов. Данная модель может быть применима для разработки эффективной системы сортировки полимерных отходов, как промышленного масштаба, так и для локальных устройств. Для дальнейшего развития технологии можно предложить следующие рекомендации:

1. Использовать несколько диапазонов для повышения эффективности идентификации.
2. Создать базу полимерных бытовых отходов для увеличения результативности (обнаружения большего количества материалов) и сферы применения методики.
3. Для создания точной методики по количественному анализу смесей полимеров можно использовать нейронную сеть, которая будет делать предсказание на основании большой выборки различных смесей полимеров.

Для развития отрасли по обращению с полимерными отходами, несомненно, необходим комплексный подход. Разрабатываемые методики должны опираться на точный анализ с учётом динамики объёмов отходов и их морфологии. Также все процессы должны проходить с тщательным соблюдением всех правил и норм.

Литература

1. Григорьева М.В. Эколого-экономическая оценка методов ручной и оптической сортировки твёрдых бытовых отходов // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2012. №3. С. 62–73.
2. TOMRA. Product & Application Catalog [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://recycling.tomra.com/hubfs/catalog_2020/2020_Catalog_English.pdf (дата обращения: 3.03.2020).
3. Development of NIR Detectable Black Plastic Packaging. Wrap.org.uk. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wrap.org.uk/sites/files/wrap/Recyclability%20of%20black%20plastic%20packaging.pdf> (дата обращения: 18.03.2020).
4. Leibniz-Institut für Polymerforschung. Process Monitoring by Spectroscopic Methods in the Polymer and Plastics Industry. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.ipfdd.de/fileadmin/user_upload/an/fischer/processanalysis.pdf (дата обращения: 11.03.2020).

5. THORLABS. Catalog [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.thorlabs.com/> (дата обращения: 15.08.2020).

Ширшина Дарья Сергеевна

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

магистрант группы №В42652,

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

e-mail: d.shirshina@gmail.com

Успенская Майя Валерьевна

Год рождения: 1970

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

д.т.н. профессор,

e-mail: mv_uspenskaya@mail.ru

УДК 620.92

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
МАЛОМОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ
ЭНЕРГИИ В КЛИМАТО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Д.С. Ширшина

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.В. Успенская

Аннотация

В работе проведена оценка технологической и экономической эффективности преобразователей солнечной и ветровой энергии в климато-географических условиях Ленинградской области. Описаны основные типы ветрогенераторов, солнечных панелей/коллекторов, представленных на рынке. Разработан алгоритм вычисления показателей эффективности преобразователей на основе технических характеристик.

Ключевые слова

Ветрогенераторы, солнечные панели, солнечные коллекторы, климат, Ленинградская область.

По данным исследований, количество антропогенных выбросов углекислого газа в 2019 году выросло на 0,6 % и составило 36,8 миллиарда тонн [1]. Несмотря на то, что благодаря усилиям развитых стран по переходу на безуглеродные источники топлива прирост выбросов в сравнении с предыдущими годами несколько снижен, данный показатель остаётся на угрожающем для экосистемы планеты уровне. В Российской Федерации, согласно принятой в 2017 году Стратегии экологической безопасности состояние окружающей среды оценивается как неблагоприятное, в том числе за счёт загрязнения атмосферы антропогенными выбросами. При этом одной из угроз экологической безопасности страны признаётся низкий уровень разработки и внедрения экологически чистых технологий [2]. По данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики России суммарные генерирующие мощности станций, использующих возобновляемые источники (в первую очередь солнечную, ветровую и гидроэнергию) составляет 1270 МВт, что покрывает менее 1 % от общего объёма выработки [3].

Ленинградская область, в силу своих климатогеографических особенностей не входит в число лидеров среди российских регионов по производству возобновляемой энергии. Сдерживающим фактором развития альтернативной энергетики сверхмалой

мощности является также относительно низкая стоимость энергии, получаемой из традиционных источников, что приводит к длительной окупаемости “зелёных” энергетических проектов. Тем не менее, создание технологических решений, оптимизирующих использование ветряной и солнечной энергии в климатогеографических условиях Ленинградской области, может способствовать рациональной оценке возможностей региона по снижению экологического риска, вызванного традиционной генерацией энергии. Таким образом, актуальность темы исследования заключается в повышении осведомлённости о возможностях применения на территории Ленинградской области современных маломощных преобразователей солнечной и ветровой энергии, использование которых способствует снижению углеродных выбросов в атмосферу.

Проблема использования ресурсов солнечной и ветровой энергии Ленинградской области неоднократно рассматривалась по мере развития соответствующих технологий на протяжении прошлого века и последних двух десятилетий [4, 5]. Основным акцентом производился на географическое положение региона, его климатические риски, без учёта вспомогательных факторов, способных оказывать влияние на эффективность преобразователей, а также рыночной конъюнктуры в сегменте солнечных и ветровых энергоустановок. Научная новизна данной работы заключается в использовании для оценки показателей эффективности преобразователей солнечной и ветровой энергии в условиях Ленинградской области дополнительных метеорологических факторов, оказывающих влияние на эффективность конверсии (температура, облачность, атмосферное давление), а также экономических характеристик соответствующих установок.

В качестве универсального технологического показателя эффективности всех трёх видов преобразователей предлагается использовать производительность соответствующего изделия за определённый период, выражаемую формулой:

$$Pr = k \times \eta \times s \times P \times t, \quad (1)$$

где k – поправочный фактор КПД в зависимости от условий (определяется экспериментальным или, приближённо, расчётным путём), η – КПД, s – площадь рабочей области преобразователя (m^2), P – мощность потока энергии в заданных условиях ($Вт/m^2$), t – продолжительность расчётного периода (месяц, квартал, год).

Для целей настоящего исследования наиболее наглядным экономическим параметром может служить прямая себестоимость получаемой энергии (состоящая, в данном случае, только из амортизации основного средства производства), рассчитываемая по формуле:

$$D = P / (Pr_Y \times GP), \quad (2)$$

где P – стоимость изделия, Pr_Y – годовая производительность изделия, GP – гарантийный срок эксплуатации.

Важно подчеркнуть, что оба выбранных показателя эффективности характеризуют только преобразователи энергии, в то время как для их полноценного использования необходимы вспомогательные элементы (инверторы, аккумуляторы, контроллеры), добавление которых снижает производительность и повышает себестоимость.

Формула расчёта производительности ветрогенератора имеет вид

$$Pr = C_p \times P_{omn} \times s \times t, \quad (3)$$

где C_p – коэффициент мощности, P_{omn} – мощность воздушного потока, отнесённая к

площади его поперечного сечения ($\text{Вт}/\text{м}^2$), s - площадь, ометаемая лопастями ветрогенератора, t - время.

Мощность потока ветра, в свою очередь, определяется уравнением:

$$P_{\text{отн}} = \rho \times v^3 / 2, \quad (4)$$

где $P_{\text{отн}}$ – мощность потока воздуха, отнесённая к площади его поперечного сечения ($\text{Вт}/\text{м}^2$), v - скорость ветра ($\text{м}/\text{с}$), ρ - плотность воздуха ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Согласно исследованиям, эффективность солнечных коллекторов снижается при повышении температуры окружающей среды, при этом зависимость генерируемой тепловой мощности от облучённости линейная. С учётом этих факторов можно выразить производительность солнечного коллектора следующей формулой:

$$Pr = \eta \times [P - k \times (T - 25)] \times s \times t, \quad (5)$$

где k – средний коэффициент тепловых потерь (примерно равный $4,1 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ для плоских и $3,5 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ для трубчатых коллекторов), T – температура окружающей среды.

Экспериментально было установлено, что температурный фактор снижения КПД фотоэлемента составляет $-0,446 \text{ } \%/^\circ\text{C}$, $-0,387 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ и $-0,234 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ для монокристаллических, поликристаллических и тонкоплёночных модулей соответственно [5].

Исходя из этого, формула производительности солнечной батареи примет вид:

$$Pr = [\eta - k \times (T - 25)] \times s \times P \times t, \quad (6)$$

где k - соответствующий температурный фактор снижения КПД фотоэлемента.

Облачность является одним из главных факторов, влияющих на облучённость, снижая её на 90 % от исходной в максимально пасмурные дни. К сожалению, вывести функциональную зависимость облучённости от облачности не представляется возможным, доказано лишь, что максимальное снижение вызывается низкими облаками (находящимися на высотах до 2-2,5 км), в то время как высоко расположенные облака поглощают солнечный свет незначительно и даже способны отражать часть спектра на поверхность Земли. Учитывая это, в настоящей работе будет использована эмпирическая поправка к облучённости, обусловленная облачностью:

$$P = P_0 \times [1 - 0,9 \times Nh - 0,1 \times (N - Nh)], \quad (7)$$

где P_0 – облучённость при чистом небе, Nh – доля облаков, расположенных ниже 2500 м, N - общая облачность.

Источником метеорологических данных являлся сайт gr5.ru. Среди множества доступных для скачивания климатических параметров были выбраны следующие:

T – температура воздуха в $^\circ\text{C}$ на высоте 2 метра над поверхностью земли, влияет на производительность солнечных коллекторов и модулей

P – атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря (мм. рт. ст.) значительно влияет на мощность потока ветра (через изменение плотности воздуха)

U – относительная влажность (%) на высоте 2 метра над поверхностью земли, может повлиять на срок эксплуатации изделий

FF – скорость ветра на высоте 10–12 метров над земной поверхностью, осредненная за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения ($\text{м}/\text{с}$),

определяет мощность потока ветра

N – общая облачность (%), влияет на солнечную облучённость

N_h – доля низко расположенных (<2500 м) облаков (%), значительно влияет на солнечную облучённость.

Помимо перечисленных климатических параметров, для дальнейших расчётов представляют практическую значимость данные, указанные на сайте в описании метеорологических станций, а именно географическая широта и высота над уровнем моря, которые могут вносить свой вклад в облучённость солнечной радиацией поверхности земли (через индекс воздушной массы - AM).

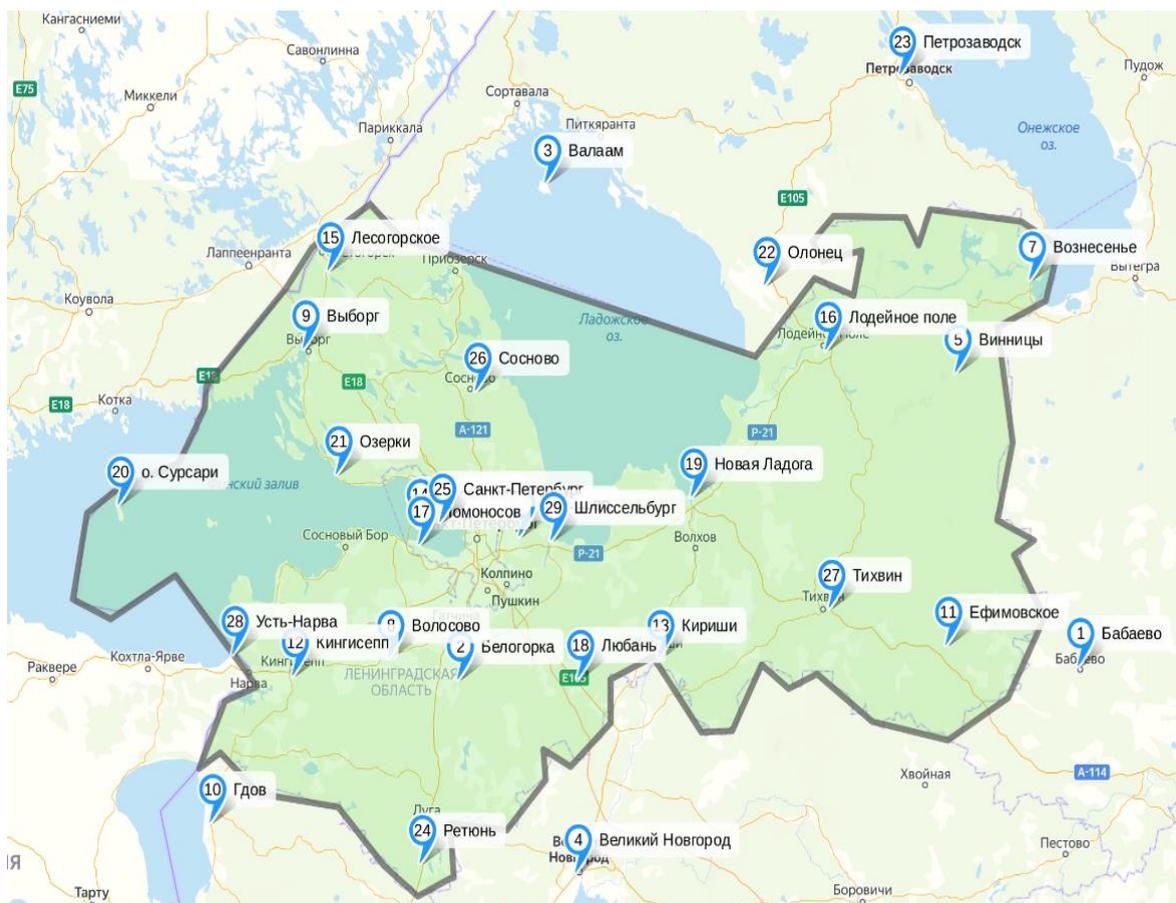


Рис. 1. Расположение использованных в работе метеостанций

Руководствуясь необходимостью включения в выборку перечисленных критериев, а также продолжительностью наблюдений не менее 10 лет, были загружены архивные данные о погоде за период с 2009 по 2020 год с 29 наземных метеостанций (рис. 1.)

Для подсчёта выбранных критериев, с учётом найденных ранее функциональных зависимостей, был разработан соответствующий алгоритм и выполнена его программная реализация на языке Python 3.8. Схематично алгоритм вычисления ключевых показателей эффективности преобразователей солнечной и ветровой энергии с учётом климатогеографических факторов можно представить в виде диаграммы (рис. 2).

Результаты расчётов эффективности типовых преобразователей солнечной и ветровой энергии для метеостанций различных районов области представлены в таблице.

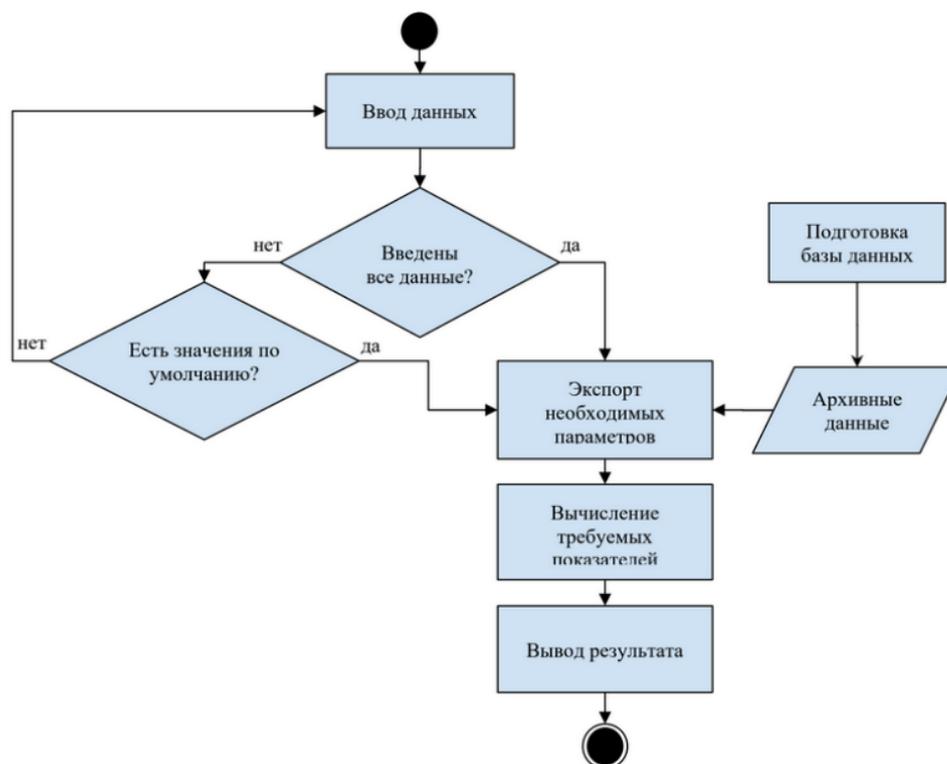


Рис. 2. UML-диаграмма алгоритма вычисления показателей эффективности

Таблица

Показатели эффективности преобразователей в различных точках Ленинградской области

Преобразователь	ветрогенераторы		солнечные панели		солнечные коллекторы	
	Pr, кВт*ч/год	D, руб/кВт*ч	Pr, кВт*ч/год	D, руб/кВт*ч	Pr, кВт*ч/год	D, руб/кВт*ч
Бабаево	188,85	84,72	224,82	5,56	2022,27	1,24
Белогорка	440,07	36,36	245,31	5,1	2284,1	1,09
Валаам	1047,79	15,27	245,51	5,09	2568,16	0,97
Великий Новгород	647,82	24,7	272,39	4,59	2413,29	1,04
Винницы	343,6	46,57	241,79	5,17	2299,91	1,09
Воейково	224,58	71,24	236,97	5,27	2207,34	1,13
Вознесенье	136,73	117,02	307,6	4,06	3148,7	0,79
Волосово	753,97	21,22	231,51	5,4	2179,7	1,15
Выборг	1152,39	13,88	261,4	4,78	2447,26	1,02
Гдов	777,85	20,57	294,5	4,24	2651,85	0,94

продолжение таблицы

Преобразователь	ветрогенераторы		солнечные панели		солнечные коллекторы	
	Pr, кВт*ч/год	D, руб/кВт*ч	Pr, кВт*ч/год	D, руб/кВт*ч	Pr, кВт*ч/год	D, руб/кВт*ч
Ефимовское	166,89	95,87	310,21	4,03	3075,17	0,81
Кингисепп	197,97	80,82	281,41	4,44	2483,3	1,01
Кириши	334,99	47,76	259,74	4,81	2298	1,09
Кронштадт	597,46	26,78	247,05	5,06	2294,16	1,09
Лесогорское	149,27	107,19	222,69	5,61	2107,98	1,19
Лодейное поле	152,66	104,81	260,43	4,8	2413,84	1,04
Ломоносов	410,07	39,02	238,06	5,25	2232,68	1,12
Любань	114,54	139,69	356,16	3,51	3289,52	0,76
Новая Ладога	377,25	42,41	277,76	4,5	2553,6	0,98
Озерки	1377,52	11,62	328,66	3,8	3239	0,77
Олонец	324,01	49,38	260,58	4,8	2418,71	1,03
Петрозаводск	451,41	35,44	246,42	5,07	2503,65	1
Ретюнь	249,66	64,09	293,82	4,25	2686,5	0,93
Санкт-Петербург	161,67	98,97	263,42	4,75	2326,85	1,07
Сосново	208,07	76,9	253,68	4,93	2409,64	1,04
Сурсари	401,91	39,81	88,12	14,18	864,45	2,89
Тихвин	150,73	106,15	255,94	4,88	2317,52	1,08
Усть-Нарва	608,34	26,3	340,72	3,67	3181,21	0,79
Шлиссельбург	98,08	163,13	266,55	4,69	2463,44	1,01

Результаты обработки данных показывают, что ветровые ресурсы Ленинградской области имеют существенную территориальную неоднородность по сравнению с солнечными. Допустимый уровень генерации относительно мал и для перекрытия основных бытовых нужд (особенно в холодное время) требует значительного резерва мощности. Себестоимость получаемой энергии для типовых солнечной панели и ветрогенератора при условии их десятилетней эксплуатации и без учёта вспомогательного оборудования оказывается дороже, чем энергия из центральной сети (средний тариф для Ленинградской области на текущий момент порядка 4 руб/кВт*ч). Тем не менее, себестоимость энергии вакуумных коллекторов оказывается несколько ниже стоимости сетевой энергии и, несмотря на ограниченный спектр использования получаемого в результате преобразования солнечного излучения тепла, они могут рассматриваться как эффективный в условиях Ленинградской области маломощный преобразователь возобновляемой энергии.

Несмотря на текущую нерентабельность, рассчитанные экономические показатели солнечных панелей для ряда районов (северное побережье Финского залива, юго-западная граница области) оказываются максимально близки к стоимости сетевой энергии, а значит использование солнечных батарей может быть потенциально окупаемо в случае подорожания тарифов на электроэнергию а также уменьшения стоимости фотоэлектрических панелей и/или повышения степени их конверсии.

Направления дальнейшего развития данного исследования могут включать:

- сравнение данных наземных метеонаблюдений и спутникового мониторинга для территории Ленинградской области;
- разработку и внедрение новых технологий преобразования солнечной и ветровой энергии для регионов с низким ветросолнечным потенциалом;
- оптимизацию программной и аппаратной составляющей ветряных и солнечных электростанции сверхмалой мощности с целью снижения себестоимости 1 кВт*ч получаемой энергии.

Литература

1. Peters G.P., Andrew R.M., Canadell J. G. et al. Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies // *Nature Climate Change*. 2020. V.10. P. 3–6.
2. Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. N 176 "О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года". –RL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201704200016?index=0&rangeSize=1>.
3. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития // Ассоциация развития возобновляемой энергетики, информационный бюллетень, апрель 2019.
4. Климатические условия Ленинградской области [Электронный ресурс]. 2020. URL: https://www.russiatourism.ru/contents/turism_v_rossii/regions/severo-zapadnyy-fo/leningradskaya-oblast/ (дата обращения 01.06.2021 г.).
5. Dash P., Gupta N.C. Effect of Temperature on Power Output from Different Commercially available Photovoltaic Modules. // *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. 2015. V.5.(1). Pp. 1-4.

Щеглова Дария Бирхановна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы W42302,

направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная

техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: daria.shcheglova1998@gmail.com

Новотельнова Анна Владимировна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: novotelnova@itmo.ru

УДК 539.374

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАКТИРОВАНИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПОРОШКОВ
СКУТТЕРУДИТОВ НА ОСНОВЕ CoSb_3**

Д.Б. Щеглова

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Новотельнова

Работа выполнена в рамках НИР-ФУНД №620153 «Снижение теплопроводности в экологически безопасных термоэлектриках за счет низкоразмерных эффектов и наноструктурирования».

Аннотация

В работе исследуются механизмы уплотнения нанопорошков, рассчитываются параметры их спекания на примере семи образцов термоэлектрических нанопорошков скуттерудитов на основе CoSb_3 с примесями Ga, In, Te. С помощью метода обобщенного понижающего градиента были получены значения коэффициента m (чувствительность к скорости деформации), на основании чего сделаны выводы о механизмах уплотнения.

Ключевые слова

Активированное полем спекание, искровое плазменное спекание, моделирование уплотнения порошковых материалов, скуттерудиты, термоэлектрические материалы.

Термоэлектрические устройства, несмотря на такие преимущества, как экологичность, износостойкость, отсутствие шума при эксплуатации, не могут получить широкого применения из-за низкого коэффициента полезного действия (КПД). КПД таких устройств повышается благодаря использованию новых высокоэффективных материалов, к которым относятся скуттерудиты. Эффективность материала можно повысить за счет создания мелкозернистой структуры, которая получается путем уплотнения нанопорошков, чаще всего для этих целей используется метод искрового плазменного спекания (ИПС), также называемый методом активированного полем спекания (АПС).

Процессы, протекающие в образцах при спекании, выявить экспериментально крайне сложно, так как любое вмешательство в ход эксперимента приведет к изменению структуры порошкового образца. Теоретическое предсказание внутренних

микропроцессов, на данном этапе невозможно, так как подобный процесс должен учитывать движение зерен, изменение их размера, формы, объема, диффузию на границах, движение дислокаций, выпадение второй фазы и другие процессы, которые также протекают во времени в условиях изменяющейся температуры и давления. Поэтому, разумно применять феноменологический подход, основанный на описании экспериментальных данных при помощи имеющихся математических законов, и расчета соответствующих коэффициентов пропорциональности. В данном случае, для аппроксимации экспериментальной кривой скорости изменения пористости образца (скорости усадки) используется степенной закон, в котором необходимо определить три коэффициента: A_m (комплексный параметр материала), Q (энергия активации вязкого течения) и m (чувствительность к скорости деформации).

Основным механизмом при вязко-текучей деформации, протекающей при уплотнении порошковых материалов, является ползучесть, описываемая уравнением:

$$\dot{\epsilon} = \frac{A}{T} \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \sigma^n, \quad (1)$$

где A – предэкспоненциальный коэффициент, характеризующий механические (вязкие) свойства материала, T – температура, Q – энергия активации вязкого течения, R – газовая постоянная, σ – приложенное давление, n – показатель степени (величина, обратная к чувствительности к скорости деформации), $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации, σ – механическое напряжение.

Для пористого тела уравнение (1) было преобразовано [1] и приведено к виду:

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = - \left(\frac{\sigma_z}{A_m T^m \exp\left(\frac{mQ}{RT}\right)} \right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{3\theta}{2} \right)^{\frac{m+1}{2m}} (1 - \theta)^{\frac{m-3}{2m}}, \quad (2)$$

где θ – пористость, A_m – комплексный параметр материала, Q – энергия активации вязкого течения, m – чувствительность к скорости деформации.

Данная модель была применена только для металлов, однако в данном исследовании предполагается, что ее также можно использовать для полупроводниковых термоэлектрических материалов.

В зависимости от температуры и напряжения активируются различные механизмы деформации. Обычно одновременно присутствует несколько механизмов, однако один из них является доминирующим. Основной механизм определяется значением чувствительности к скорости деформации m [2, 3], который характеризует скорость изменения функции (2):

- диффузионная ползучесть, при $m = 1, n = 1$, также называемая ползучестью Набарро-Герринга;
- ползучесть при проскальзывании зерен, при $m = 0.5, n = 2$, предложенная Гифкинсом;
- ползучесть, контролируемая скольжением дислокаций, при $m = 0.33, n = 3$, представленная Виртманом;
- ползучесть, контролируемая подъемом дислокаций, при $m = 0.22 - 0.33, n = 3 - 5$, также описанная Виртманом.

Анализ экспериментальных данных

В рамках данного проекта исследовались процессы уплотнения порошков скуттерудитов на основе CoSb_3 и влияние Ga, In и Te на усадку порошков. Для этого были исследованы 7 образцов разного химического состава: $\text{GaInCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_3$,

$\text{GaInCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_1$, чистый CoSb_3 без примесей, $\text{GaCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_1$, $\text{GaCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_2$, $\text{GaCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_3$ и $\text{InCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_3$. Образцы были приготовлены методом индукционной плавки, для компенсации испарения сурьмы к исходной стехиометрической смеси были добавлены 2% Sb. Характеристики образцов представлены в таблице.

Таблица

Характеристики исследуемых образцов

Образец	Масса образца до спекания, г	Диаметр образца, мм	Конечная плотность образца, г/см ³	Теоретическая плотность, г/см ³
$\text{GaInCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_3$	4	15	7.524	7.638
$\text{GaInCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_1$			7.517	7.67
CoSb_3			7.558	7.644
$\text{GaCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_1$			7.475	7.706
$\text{GaCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_2$			7.336	7.641
$\text{GaCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_3$			7.568	7.646
$\text{InCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_3$			7.619	7.735

Данные с экспериментальной установки включают мгновенные значения электрического тока, протекающего через установку, температуры, приложенного давления и смещения электрода. Пример данных, снимаемых с экспериментальной установки, представлен на рис. 1.

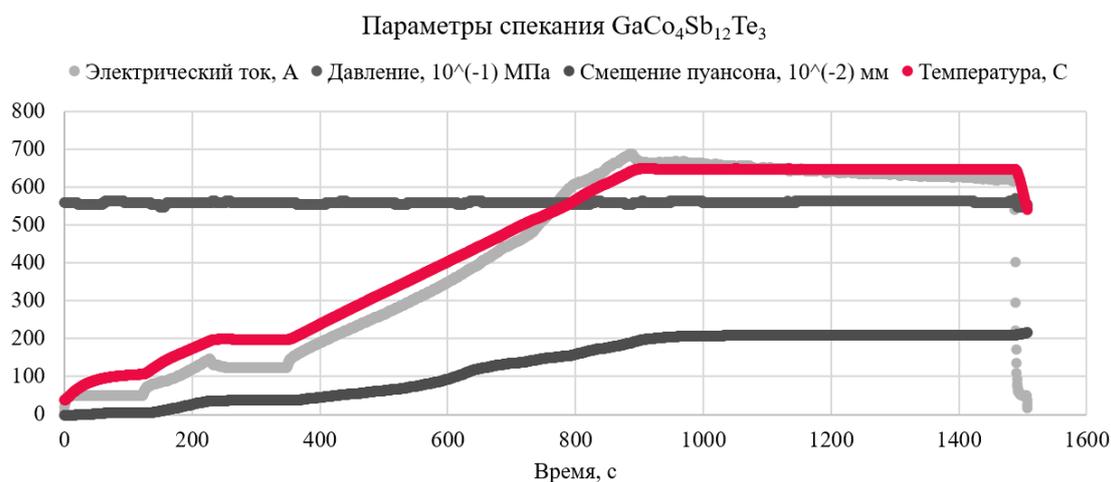


Рис. 1. Экспериментальные параметры спекания на примере нанопорошка состава $\text{GaCo}_4\text{Sb}_{12}\text{Te}_3$

Все образцы спекались при одной температуре выдержки (650 °С) и одном давлении (56 МПа). Температура измерялась термопарой, помещенной в матрице пресс-формы на некотором расстоянии от образца. Поэтому измеряемая температура немного ниже температуры образца.

Исходя из данных о смещении электрода в процессе спекания, был произведен расчет высоты образцов в каждый момент времени, мгновенные значения относительной плотности и пористости.

При помощи MS Excel была проанализирована зависимость производной пористости от времени и рассчитаны параметры спекания A_m , Q и m , используя модуль «Поиск решения».

В результате расчетов были получены значения коэффициента m , представленные на рис. 2.

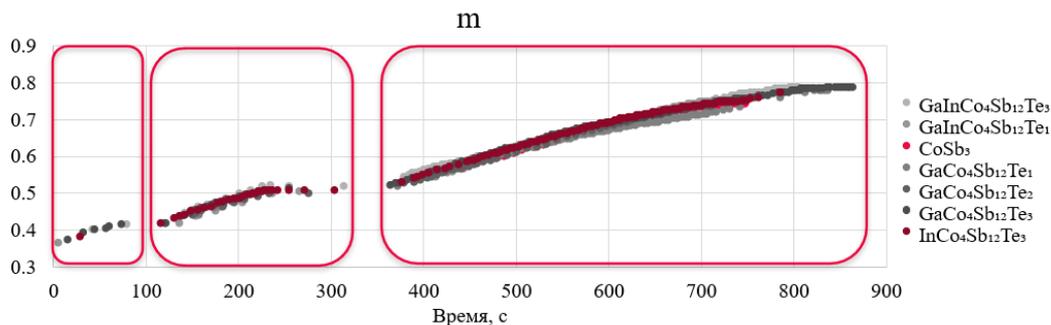


Рис. 2. Зависимость m от времени для всех образцов

Как видно из рис. 2, в процессе уплотнения можно выделить три этапа.

Во временном интервале от 0 до 100 секунд значения m для всех образцов постепенно увеличиваются от 0.35 до 0.4, что соответствует механизму ползучести, контролируемой скольжением дислокаций. Для этого участка характерно изменение температуры от 311 до 393 К.

В промежутке времени от 100 до 300 секунд значения m для всех образцов постепенно увеличиваются от 0.4 до 0.5, следовательно, происходит постепенная смена основного механизма деформации на ползучесть при проскальзывании зерен. Для этого участка характерно изменение температуры от 393 до 473 К.

Последний этап возрастания m от 0.5 до пикового значения, для всех образцов лежащего в интервале 0.75–0.8, наблюдается до момента времени 713–866 секунд, что соответствует возникновению механизма диффузионной ползучести. Для данного участка характерно изменение температуры от 473 до 898 К.

При сравнении нормированных значений температуры и чувствительности к скорости деформации m (рис. 3) было замечено, что участки графиков, соответствующие третьему этапу уплотнения, почти параллельны. Поэтому можно предположить, что увеличение скорости нагрева может привести к ускорению смены механизмов уплотнения и, как следствие, к ускорению формирования объемного наноструктурированного термоэлектрического материала.

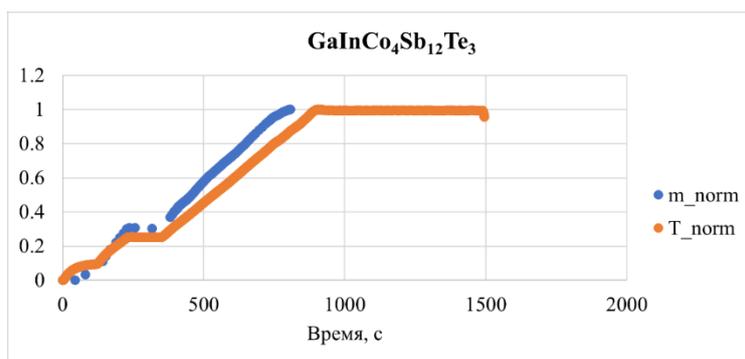


Рис. 3. Нормированные значения температуры и коэффициента m для GaInCo₄Sb₁₂Te₃

В результате исследования были выяснены механизмы уплотнения нанопорошков скуттерудитов на основе CoSb_3 , доказано, что описанная математическая модель подходит для расчета усадки термоэлектрических порошков, и метод обобщенного понижающего градиента может использоваться для анализа функции скорости усадки порошков термоэлектриков. Для получения более точных значений t планируется предварительный расчет коэффициентов A_m и Q графоаналитическим способом.

Дальнейшая работа будет связана с более детальным изучением различных микропроцессов, которые могут быть определены в рамках предложенной методики: например, параметров, оценивающих скорость роста зерна при нагреве. Также планируется сравнение результатов расчета для образцов, относящихся к разным температурным группам и спекающимся при разных температурах, образцов с различным исходным значением размера зерна, будет продолжен анализ соответствия нормированных кривых параметра t и температуры.

Литература

1. Olevsky E.A. Theory of sintering: from discrete to continuum // Materials Science and Engineering: R: Reports. 1998. Т. 23. №2. С. 41-100.
2. Wei X., Back C., Izhvanov O., Khasanov O. L., Haines C. D., Olevsky E. A. Spark Plasma Sintering of Commercial Zirconium Carbide Powders: Densification Behavior and Mechanical Properties // Materials. 2015. Т. 8. № 9. С. 6043-6061.
3. Athul K.R., Pillai U.T.S., Srinivasan A., Pai B.C. A Review of Different Creep Mechanisms in Mg Alloys Based on Stress Exponent and Activation Energy // Advanced Engineering Materials. 2015. Т. 18. № 5. С. 770-794.

Яхьярова Дильназ

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы № W42522,

направление подготовки: 27.04.01 – Стандартизация и метрология,

e-mail: di.yakhy@gmail.com

Кустикова Марина Александровна

Год рождения: 1958

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: marinakustikova@mail.ru

УДК 628.544

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УСТАНОВКИ ПО СОРТИРОВКЕ ТКО

Д. Яхьярова

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова

Аннотация

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты: а) проведен анализ существующих систем по сортировке твердых коммунальных отходов (ТКО), в ходе которого не было найдено прямых аналогов установки; б) выбраны комплектующие для создания установки для сортировки ТКО; в) разработано программно-аппаратное обеспечение системы; г) произведен расчет надежности системы; д) проведен анализ результатов испытаний сортирующей установки.

Ключевые слова

Твердые коммунальные отходы, Arduino Mega 2560, установка по сортировке ТКО, разработка модели, программно-аппаратный комплекс.

За последние несколько десятилетий быстрое экономическое развитие и урбанизация привели к значительному росту потребления ресурсов, и как следствие, выброс большого количества отходов в окружающую среду.

Неправильно выбранный способ обращения с отходами может быть опасным для здоровья человека и экологической системы в целом. Для выбора надлежащего способа обращения с отходами было проведено исследование всех составляющих понятия «утилизация отходов», включая первичную обработку, разделение, транспортировку и утилизацию. Экономическая ценность отходов выше при их разделении и последующем использовании в качестве вторичного ресурса. В настоящее время не существует автоматизированной системы сортировки стеклянных, пластиковых и металлических отходов, соответственно, и является очень актуальной [1].

Основная цель работы – это создание автоматизированной установки для сортировки отходов на четыре основные категории: органика, металл, стекло и пластик. Разработку модели установки по сортировке ТКО решено было осуществить с помощью платы Arduino Mega2560.

При выборе основных датчиков и микроконтроллера для установки необходимо основываться на стоимости и технических характеристиках элементов. В качестве основного «мозга» установки используется микроконтроллер Arduino Mega 2560

(рис. 1). В этом устройстве максимальное из всех плат семейства Arduino количество пинов, расширенный набор интерфейсов и объем памяти [2].



Рис. 1. Arduino Mega2560

Для создания автоматической системы сортировки ТКО было решено использовать конвейерную ленту, так как это самый лучший способ для непрерывного перемещения потока грузов. После попадания отходов на ленточный конвейер их необходимо разделить, для этого используется вибрация с помощью небольшого мотора. Для работы самой конвейерной ленты используется мотор большей мощности, который питается от 220 В. Вдоль длины ленты установлены датчики для определения каждого вида отхода, которые после срабатывания, отправляют сигнал на плату Arduino. Далее контроллер сообщает соответствующему сервоприводу, который сбрасывает отход в нужный контейнер.

Для определения органических отходов был выбран модуль датчика влажности. Модуль состоит из сенсорной платы YL-83, которая чувствительна к влажности и из двойного компаратора LM393 (рис. 2).



Рис. 2. Крепление датчика влажности

Для определения металлических объектов используется концевой индуктивный датчик приближения LJ12A3-4-Z/BX, который изображен на рисунке 3. Индуктивный бесконтактный датчик приближения определяет объекты из черных металлов. Он основан на законе индукции, приводящем в движение катушку с осциллятором, когда к ней приближается металлический объект [3].

Для определения стеклянных объектов используется концевой емкостной датчик приближения LJC18A3-H-Z/BX (рис. 3). Благодаря возможности регулировать чувствительность датчик исключает возможность реагирования на пластиковые объекты.



Рис. 3. Крепление индуктивного и емкостного датчиков

Для правильной работы установки необходим мощный двигатель для конвейерной ленты. Контроллер и датчики питаются от 5 В, но для двигателя этого не достаточно. Поэтому используется двигатель с редуктором от 220В РД-09, который можно подключен отдельно от всей системы (рис. 4).



Рис. 4. Крепление двигателя РД-09

В начале конвейерной ленты для разделения отходов используется вибрация. Она осуществляется с помощью небольшой подставки с мотором под лентой, которая ее немного приподнимает и соответственно вибрирует (рис. 5).



Рис. 5. Мотор для вибрации

После определения вида отхода, его необходимо сбросить в соответствующий контейнер. Для этого используется сервопривод, который установлен над конвейерной лентой с рычагом к которому прикреплена небольшая лопатка. (рис. б).



Рис. 6. Крепление сервопривода

С помощью платформы Fritzing составлен макет подключения датчиков к плате Arduino (рис. 7).

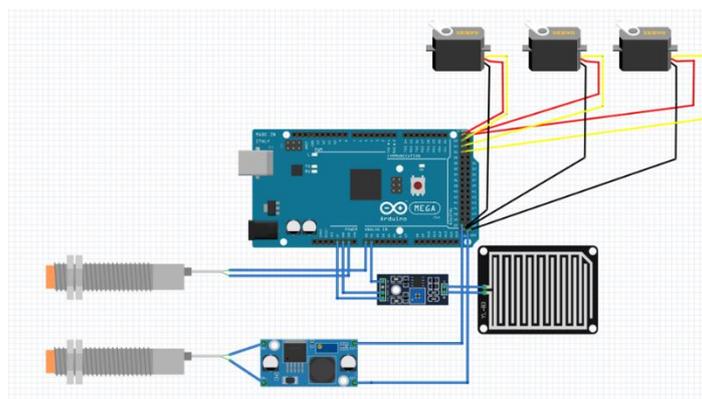


Рис. 7. Макет подключения датчиков к плате Arduino

Для создания единого кода всей системы необходимо составить схему работы установки (рис. 8).

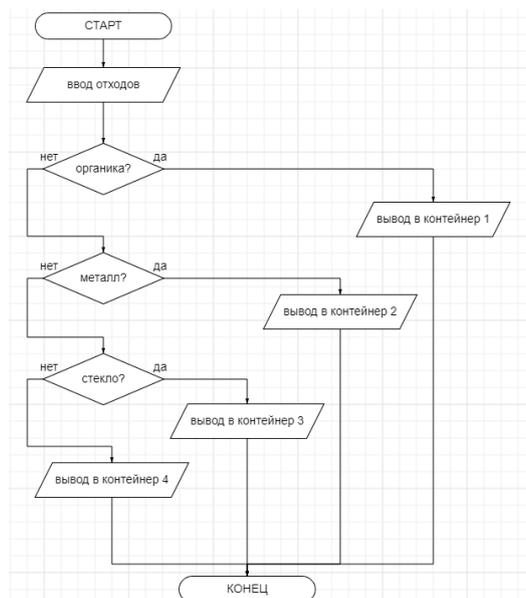


Рис. 8. Схема системы сортировки ТКО

Создание единого программного кода для установки производилось в среде разработки Arduino IDE, язык написания C++ (рис. 9).

```
void loop() {  
  
  servo_1.write(0);  
  servo_2.write(0);  
  servo_3.write(0);  
  int organicDigital = analogRead(organic);  
  Serial.print(organicDigital);  
  
  int metValue=analogRead(metall);  
  float metallDetected = (float)metValue*100/1024.0;  
  Serial.print(metValue);  
  
  int glassDetected = digitalRead(glass);  
  
  if(organicDigital < org_value){  
    delay(1220);  
    Serial.println(" - It's wet");  
    servo_1.write(64);  
    delay(100);  
    servo_1.write(0);  
    delay(100);  
  }  
  
  delay(100);  
  
  if(metValue<=250){  
    Serial.println(" - It's metall");  
    servo_2.write(64);  
    delay(100);  
    servo_2.write(0);  
    delay(100);  
  }  
  
  delay(100);  
  
  if(glassDetected != 1){  
    Serial.println(" - It's glass");  
    servo_3.write(64);  
    delay(100);  
    servo_3.write(0);  
    delay(100);  
  }  
}
```

Рис. 9. Фрагмент программного кода

Был проведен расчет надежности системы, по итогам которого вероятность безотказной работы системы равна 54 %, а вероятность на отказ составляет 46 %. Что является хорошим показателем.

Далее был проведен эксперимент для небольшого объема отходов и минимального количества элементов на каждый вид отхода.

Мотор-вибрации позволяет распределять отходы равномерно по конвейерной ленте, но периодически отходы меньшего размера все же проходят вместе.

Обнаружение влажных отходов дает 95 % положительного результата. Датчик работает исправно и показал хорошие результаты, но после прохождения объектов, если на датчике остается влага, то он считывает ее и отправляет сигнал на сбрасыватель. Поэтому система исключает сортировку мокрых отходов.

Обнаружение металла составляет 90 % положительного результата. Когда отходы скатываются на край ленты, то датчик не может их определить. Объект попадает в зону видимости емкостного датчика и попадает в контейнер для стекла. Для решения этой проблемы, необходимо использовать еще один индуктивный датчик.

Обнаружение стекла составляет 70 % положительного результата. При настройке чувствительности датчика, он определяет стекло только с ровной поверхностью и плоской формой. Для решения этой проблемы необходимо подобрать емкостной датчик с более высокой чувствительностью.

Попадание пластиковых элементов в контейнер составляет 100 % положительного результата. Датчики не определяют пластиковые объекты, и они проходят до конца конвейерной ленты.

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что предлагаемая установка работает исправно, но требует некоторых поправок и доработок. На рис. 10 изображена модель корпуса установки.



Рис. 10. Модель корпуса установки

В результате проделанной работы разработана модель программно-аппаратного комплекса установки по сортировке твердых коммунальных отходов на основе микроконтроллера Arduino Mega 2560. Проблема сортировки отходов остается достаточно актуальной. По проведенному патентному исследованию не было найдено прямых аналогов сортирующей установки, и потенциальные конкуренты не выявлены. Предлагаемый проект является эффективным решением существующей проблемы обращения с отходами, который эффективно разделяет металл, стекло, органику и пластик. Автоматизированная система разделения отходов эффективно использует индуктивный датчик приближения для идентификации металлических предметов и емкостной датчик приближения для определения стеклянных предметов. Это первый шаг к вторичной переработке. Переработка отходов оказывает огромное влияние на экономическое состояние страны, а также на окружающую среду за счет эффективного управления твердыми коммунальными отходами. Тем не менее в существующий проект можно внести много улучшений. Некоторые из них перечислены ниже:

- а) использование 2-х индуктивных датчиков позволит более точно определять и сбрасывать металлические объекты;
- б) необходимо рассмотреть другие варианты емкостного датчика, которые обладают хорошей чувствительностью;
- в) для обнаружения органических отходов следует поменять положение датчика влажности, чтобы позволять сортировать более крупные отходы.

Литература

1. Управление отходами - Waste management [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://wikichi.ru/wiki/Waste_management (дата обращения: 20.01.2021).
2. Arduino Products. 2021 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products> (дата обращения: 25.03.2021).
3. Arduino Tutorial. 2021 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tutorialspoint.com/arduino/index.htm> (дата обращения: 10.04.2021).

СОДЕРЖАНИЕ

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	5
Заединов А.В. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	6
Кучур П.Д. АНАЛИЗ ГЕНОВ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА СИНТЕЗ СОМАТИЧЕСКИХ АНТИГЕНОВ В ГЕНОМАХ БАКТЕРИЙ.....	12
Муратова У.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ЧАТ-БОТА.....	18
Новохацкая Е.А. STUDIES ON ST. PETERSBURG MONUMENTS: MAPPING HISTORICAL MEMORY.....	25
Сарафанов М.И. ЗАПОЛНЕНИЕ ПРОПУСКОВ В ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	32
Смирнов П.А. РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО РЕЗОНАТОРА НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛА ДЛЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ.....	38
ЛАУРЕАТЫ I СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	45
Дрозд Ю.Ю. АНАЛИЗ И МЕТОДИКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВАРИАНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРТОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ.....	46
Зенкин А.М. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НАЗЕМНОЙ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИЕЙ.....	53

Колесников М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ДНЯ.....	59
Кравченко Д.В. ПОДВОДНОЕ ХРАНИЛИЩЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА.....	66
Осипова В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ В КОМПЛЕКСАХ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ТРОЙНОГО СОСТАВА И ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ.....	72
Петровская М.Р. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ АЛГОРИТМА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА В НЕПОДВИЖНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ.....	79
Родикова Л.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН ПРИ ВАЛОПОВОРОТЕ.....	85
Рюмина Е.В. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО МИМИКЕ ЛИЦА.....	92
Токбаева А.А. БИЗНЕС-ТЕЗИС "PREUT": РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО.....	99
Южакова Д.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ТИТАНА.....	106
ЛАУРЕАТЫ II СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	113
Азизов Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ОТКЛИКОВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ ПЕРОВСКИТА CsPbBr ₃	114
Антонов К.А. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ВЕРОЯТНОСТИ МУТАЦИИ В ЭВОЛЮЦИОННОМ АЛГОРИТМЕ (1+λ) ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ С НЕТРИВИАЛЬНЫМ ЛАНДШАФТОМ.....	121

Бойцова Ю.С. РЫНОК ФУНКЦИОНАЛЬНО-ИННОВАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ РОССИИ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ.....	127
Григорьев Д.В. СОЗДАНИЕ МИЦЕЛЛЯРНОЙ И ПРОЛОНГИРОВАННОЙ ФОРМЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛСУКЦИНИМИДА С ВИНИЛАЦЕТАТОМ И N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ.....	132
Егорова Е.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА С ПОМОЩЬЮ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ.....	139
Защитин Р.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГАЛОПИРУЮЩИХ РОБОТОВ ОТКРЫТОЙ И ЗАМКНУТОЙ КИНЕМАТИКИ.....	145
Кондратьев В.И. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЯРИТОНАМИ В ДВУМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ С ПЛАНАРНЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ ВОЛНОВОДАМИ.....	152
Кузнецов В.Н. РАЗРАБОТКА МАКЕТА ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА БАЗЕ ПЛИС, ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЦАП (ДО 6 ГВЫБ/С) И КОМПОНЕНТОВ.....	158
Laushkina A.A. THE STUDY OF THE INFLUENCE OF PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS OF ADAPTIVE LIGHTING SYSTEMS ON THE REDUCTION OF STRESS IN MULTI-USER SPACE.....	165
Лукашов И.В. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ НЕЙРОМОРФНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУР.....	171
Никитина В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕМ-ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИИ ЗДАНИЙ.....	177
Плюхин Д.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ МОДЕЛЕЙ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ГРАФОВ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	185
Радченко М.О. ВЛИЯНИЕ ФИНАНСИРОВАНИЯ НА ПОЛОЖЕНИЕ ЖЕНЩИН-УЧЕНЫХ В РОССИИ.....	192

Сенчихина А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА, ИСПОЛЪЗУЕМОГО В ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ.....	199
Шелеманов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ ZNO-MGO.....	206
Ширшин А.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ.....	213
Мелешкина А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ УСЛОВИЙ ТАМОЖЕННЫХ ПРОЦЕДУР ПЕРЕРАБОТКИ В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЗТУ.....	219
ЛАУРЕАТЫ III СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	226
Волоха В.Д. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРЕСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.....	227
Гиндина М.И. АДМИТТАНС СПЕКТРОСКОПИЯ МЕЛКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛОВУШЕК В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЯХ n-GaN.....	234
Горбенко Д.А. ДЕТЕКЦИЯ ПАТОГЕНОВ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДИЗАЦИОННЫХ ЗОНДОВ НА ОСНОВЕ ДНКЗИМОВ С ПЕРОКСИДАЗНОЙ АКТИВНОСТЬЮ.....	240
Горохова Н.М. РАЗРАБОТКА ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТЕЛКИ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПЛАНТАРНЫМ ФАСЦИИТОМ.....	246
Дьякова В.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВИСА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДОРОВЬЯ В РАМКАХ ПРИОРИТЕТНОГО ПРОЕКТА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА «ЭЛЕКТРОННОЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЕ».....	251

Зимина Л.В. РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ЦИФРОВЫМИ СРЕДСТВАМИ: ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ФАКТОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ И МЕТОДЫ ТРАНСЛЯЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	256
Иванов А.Б. МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ИЗ ДАННЫХ СЕКВЕНИРОВАНИЯ МЕТАГЕНОМА И ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КИШЕЧНИКА.....	260
Иванова А.А. ИММУНОСТИМУЛИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ В ПЧЕЛОВОДСТВЕ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПЧЕЛ И КАЧЕСТВО МЁДА.....	266
Лазарева А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК.....	271
Мыськив И.И. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЗАЩИЩЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	277
Солонина Ю.А. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ПОГРУЖНОГО НАСОСА СПГ ДЛЯ КРУПНОТОННАЖНОГО ХРАНИЛИЩА.....	284
Стажарова Д.М. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ ГЕМОДИАЛИЗА ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ.....	291
Тартыньских П.С. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК В ОФОРМЛЕНИИ ОТДЕЛЬНЫХ АСПЕКТОВ DOCX ДОКУМЕНТОВ.....	298
Уварова А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ МИКРООБЪЕКТИВОВ С ВЫСОТОЙ 60 ММ В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМНЫХ РЕАЛИЗАЦИЯХ.....	304
УЧАСТНИКИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	309
Андрухова К.О. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОЙ СМЕСИ.....	310

Анисимова А.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТА МЕГАПОЛИСА.....	316
Антонов Е.В. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНА ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ.....	322
Арцер И.Р. СДВИГ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО В СРЕДАХ С КУБИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ТЕРАГЕРЦОВЫМИ ИМПУЛЬСАМИ, С УТРОЕННЫХ НА УЧЕТВЕРЕННЫЕ.....	329
Бабенко В. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СРЕДУ ПЕРЕДАЧИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ.....	336
Барт С.Л. / Sarah L. Barth ANALYSIS OF CARBON FLOWS FOR HEMP FIBER-BASED COMPOSITES IN DIFFERENT SCENARIOS.....	341
Бурмистров О.И. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРИЁМНЫХ АНТЕНН ДЛЯ СБОРА ЭНЕРГИИ РАДИОЧАСТОТНОГО ПОЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО ТОМОГРАФА.....	346
Василевская С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТИВОВ ПО КОНЦЕНТРАЦИИ ЭНЕРГИИ В ПЯТНЕ РАССЕЯНИЯ.....	352
Видлер А.Д. МОНИТОРИНГ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА.....	357
Власов А.В. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СЪЕДОБНЫХ ПЛЕНОК И ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ КРАХМАЛ/ЖЕЛАТИН.....	363
Волкова А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ИНСТРУКЦИЙ ПО РАБОТЕ И ОБСЛУЖИВАНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ.....	370

Вольф М.Н. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ АДДИТИВНЫХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	375
Галкина Д.А. УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ С НАЛИЧИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ.....	380
Горячева Д.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИШАЙНИКОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ.....	387
Гурда М.Д. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОНОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ.....	394
Денисов А.О. ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНОГО МЕТОДА В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКАЖЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	401
Дмитриева А.П. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА БЮДЖЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	408
Долженкова А.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ IT-КОМПАНИИ.....	414
Елисеев К.В. СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ В МИКРООБРАБОТКЕ.....	421
Жданов И.Д. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КВАДРУПОЛЬНОЙ НАМОТКИ ВОЛОКОННОГО КОНТУРА ВОГ.....	426
Жигульский В.Е. РАЗРАБОТКА АРИХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ САЙТОВ-САТЕЛЛИТОВ.....	432
Жолобов С.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ СМЕСИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕКАЧКЕ ПО НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДУ.....	439

Зилов Д.С. РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ, СТРУКТУРНОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АННОТАЦИИ ГЕНОМОВ ПРОКАРИОТ.....	446
Иванова А.О. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	452
Изотова А.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИКИ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ В СЕКТОРЕ НАУКИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ.....	456
Исаев А.М. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ КАЛМАНОВСКОГО ТИПА В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	462
Ишутина Е.О. РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ В РАМКАХ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ».....	469
Калинина А.А. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПЕРСОНАЛЬНОГО ПОМОЩНИКА.....	475
Каплин А.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 6R МАНИПУЛЯТОРА И МАКЕТА ДЛЯ ЕЕ АПРОБАЦИИ.....	480
Кириллова Е.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ "УМНОЙ ФАБРИКИ" НА ОСНОВЕ NFC-ТЕХНОЛОГИЙ.....	486
Киричек К. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУРАХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРОВ.....	492
Климова А. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ИНКАПСУЛЯЦИИ НУТРИЕНТОВ И КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ / POLYSACCHARIDES FOR NUTRIENT ENCAPSULATION AND FOOD CONTROL APPLICATIONS.....	499
Козачёк О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	504

Коняшов В.В. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СБОРА И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТИЧЕСКИХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	511
Копырулина О.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	517
Коржова А.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОСТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ, ДЛЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ.....	521
Крючкова А.В. БИОАКТИВНЫЕ ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО ПАУЧЬЕГО ШЕЛКА С МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ.....	526
Кубланова И.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С МОДУЛЯТОРОМ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ.....	533
Кулеш А.С. СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО СЛЕЖЕНИЯ ВЫХОДА ПАРАМЕТРИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА ЗА НЕИЗВЕСТНЫМ МУЛЬТИСИНУСОИДАЛЬНЫМ СИГНАЛОМ.....	538
Ларионов М.Ю. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ.....	549
Литвинова Н.А. ТРАНСФОРМАЦИЯ СКВОЗНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СЕКТОРЕ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ.....	555
Лихолитов Д.С. ВЫБОР МЕТОДИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ С2+ И С3+ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ЗАВОДЕ СПГ.....	561
Лихтенберг А.М. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН.....	567
Локтева А.В. РАЗРАБОТКА БИОАКТИВНЫХ ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОСНОВАННЫХ НА БАКТЕРИЯХ.....	574

Макатов К. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВЛАГИ.....	580
Малмыгина Ю.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С АКТИВНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НАПРЯЖЕНИЯ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ С ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ.....	586
Медведева Н.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА.....	593
Мельчаков Р.М. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КСЕНОБИОТИКОВ НЕЙРОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ В ПИЩЕВОМ СЫРЬЕ РЕГИОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.....	599
Милантьев С.А. ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СКРИНИНГА КОЖНЫХ ПОРАЖЕНИЙ.....	602
Милешин А.А. МОДУЛЬ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	608
Миниахметова А.В. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНГРЕДИЕНТОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ.....	615
Моисеева П.В. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ УЗЛА ПРИВОДА ЗАСЛОНОК АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ДРОНА.....	623
Муртазин Р.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫЯВЛЕНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО ГОЛОСОВОГО ОБРАЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БАНКОВСКИХ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ И АУТЕНТИФИКАЦИИ.....	629
Никитин М.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА С ТРИЭДРИЧЕСКИМ ОТРАЖАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГРАНЕЙ.....	636

Николаев Е.М. ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА ИЗ ОТРАБОТАННОЙ БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ С ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД.....	640
Николайчева А.М. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ СФЕРЫ УСЛУГ.....	646
Oskina O. DESIGN OF STEREO VISION-BASED SYSTEM FOR MOBILE ROBOT AUTONOMOUS NAVIGATION.....	652
Пономаренко М.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНЫХ БОКСОВ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ДОБАВЛЕНИЯ ИМ НОВОГО ФУНКЦИОНАЛА.....	660
Попова А.В. БИЗНЕС-ТЕЗИС «EATING HABIT»: СЕРВИС ПОДБОРА И ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ С ТЕХНОЛОГИЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	664
Поцулин А.Д. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОСТАВЩИКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ.....	671
Радченко В.Д. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА АГРЕГАТА СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА.....	678
Роголев А.И., Банарь С.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ДЛЯ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ).....	685
Родькин Я.Э. ПРИМЕНЕНИЕ СПГ В ДВУХТОПЛИВНЫХ СУДОВЫХ УСТАНОВКАХ.....	691
Salamahina A. THE EXTRACTION OF BETA-GLUCAN FROM OATS FOR BETA-CAROTENE ENCAPSULATION.....	698
Сауц А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ 2-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛАЗИДА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ СТРУКТУРНОЙ БИОИНФОРМАТИКИ.....	705
Светлорусов А.А. ФОРМИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО БРЕНДА СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	712

Свинцов В.С. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ КОМПРЕССОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО НАДЁЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ.....	717
Серикова Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ COVID-19.....	723
Сийкки О.О. БИЗНЕС-ТЕЗИС «WARMR»: ПРОИЗВОДСТВО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕКСТИЛЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.....	728
Синько М.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ БАЗОВЫХ ВООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ РУК ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕГО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ.....	731
Смирнова А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ВОЛНОВОДНЫЕ СВОЙСТВА В $Ti:LiNbO_3$ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРАХ.....	738
Соколова Е.В. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТЕКСТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ КАК ЧАСТИ ГОЛОСОВОГО ИНТЕРФЕЙСА СОЦИАЛЬНЫХ РОБОТОВ.....	744
Timralieva A.A. SUPRAMOLECULAR ASEMBLIES AS RADICAL TRAP MATERIAL.....	749
Тиходеева Е.О. СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСОВ МОЛЕКУЛ AL-СУЛЬФОФТАЛОЦИАНИНА С НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ.....	755
Томилов Н.А. РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ.....	762
Устинов К.Э. АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ.....	769
Фирсова А.К. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ СТАТИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ В JAVASCRIPT.....	773

Фомичева Д.А. РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЪЕДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СЫРОВ.....	781
Халиманчик А.О. МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА.....	787
Хахилев Н.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАКТИРОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПОРОШКОВ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА НА ОСНОВЕ $FeVAL_xGA_{1-x}$	792
Хомутов Е.Э. КОНСТРУИРОВАНИЕ АНТРОПОМОРФНОЙ КИСТИ ДЛЯ РОБОТА ICUB.....	798
Шагинова Л.О. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕЛКОВОГО ПРЕПАРАТА ИЗ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА.....	805
Шаталова Ю.С. ОЦЕНКА ВРЕДА ВОДНЫМ БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ ОТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПЛАНИРУЕМОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И НАРУШЕНИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА.....	811
Шелеманова А.А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В СОЧЕТАНИИ С МНОГОМЕРНЫМИ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА.....	816
Ширшина Д.С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОМОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ В КЛИМАТО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	823
Щеглова Д.Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАКТИРОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПОРОШКОВ СКУТТЕРУДИТОВ НА ОСНОВЕ $CoSb_3$	830
Яхьярова Д. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УСТАНОВКИ ПО СОРТИРОВКЕ ТКО.....	835

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

Сборник трудов

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Дизайн обложки

Вёрстка

Подписано к печати 14.04.2022

Заказ № 4673 от 14.04.2022

Тираж 100 экз.

Н.Ф. Гусарова

Н.А. Потехина

Я.Я. Платунова

Печатается в авторской редакции

