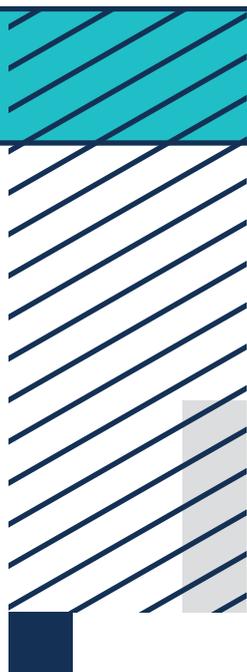


АННОТИРОВАННЫЙ СБОРНИК НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

БАКАЛАВРОВ



2021



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

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

Сборник трудов



Санкт-Петербург
2022

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ бакалавров Университета ИТМО / под ред. к.ф.-м.н., Н.Р. Белашенкова. Сборник трудов. СПб.: Университет ИТМО. 2022. 507 с.

В сборнике представлены лучшие научно-исследовательские выпускные квалификационные работы бакалавров 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 бакалавров Университета ИТМО» опубликован по результатам конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу (НИВКР) среди бакалавров 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 13 бакалавров, лауреатами II степени - 12 бакалавров, лауреатами III степени - 13 бакалавров.

Второй этап Конкурса проводился на мегафакультетах университета, где Директора мегафакультетов определили одну лучшую НИВКР бакалавров 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 бакалавров в Конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители различных степеней
I	Конкурс факультетов/институтов/кластеров	91	44
II	Конкурс мегафакультетов	11	4
III	Конкурс университета	6	6

По итогам Конкурса среди бакалавров было определено 6 победителей на «Лучшую НИВКР университета».

Общее количество бакалавров, участвовавших в конкурсе на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу», составило 91 человек.

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

Основные критерии оценки работ

При оценке НИВКР учитывались следующие критерии:

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

Общие требования к материалам, представляемым на НТС

Для окончательного подведения итогов Конкурса на НТС представлялись следующие документы:

- анкета участника Конкурса;
- краткое изложение ВКР в форме статьи от 4 до 6 страниц.

Итоги Конкурса были подведены на заседании НТС университета и оформлены приказом ректора Университета ИТМО №2258-уч от 07.09.2021 года.

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

Воронцова Ирина Олеговна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V3400,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: viovorontsova@gmail.com

Мельник Максим Владимирович

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

к.ф.-м.н., н.с.,

e-mail: maxim.melnick@gmail.com

Козлов Сергей Аркадьевич

Университет ИТМО,

факультета фотоники,

д.ф.-м.н., профессор

Цыпкин Антон Николаевич

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., доцент

УДК 535-1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ
МЕТОДА Z-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ В ТГц ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ**

И.О. Воронцова

Научные руководители – к.ф.-м.н., доцент М.В. Мельник,

д.ф.-м.н., профессор С.А. Козлов,

д.ф.-м.н., доцент А.Н. Цыпкин

Работа выполнена в рамках темы НИР №39308: грант РФФИ №19-02-00154 «Нелинейность показателя преломления оптических сред в терагерцовом спектральном диапазоне».

Аннотация

В работе проведено исследование границ применимости метода z-сканирования для оценки кубической нелинейности сред в случае широкополосного импульсного терагерцового излучения с различным числом колебаний поля путем численного моделирования. Полученные теоретические зависимости апробированы в эксперименте по прямому измерению коэффициента нелинейного показателя преломления плоской струи воды с помощью метода z-сканирования в терагерцовом диапазоне частот.

Ключевые слова

Терагерцовая оптика, нелинейная оптика, предельно короткие импульсы, метод z-сканирования, коэффициент нелинейного показателя преломление.

Последние достижения в области генерации высокоинтенсивного терагерцового излучения [1] сделали возможным изучение нелинейных эффектов в указанном спектральном диапазоне, поставив перед исследователями новые задачи: развитие теории нелинейности в терагерцовом диапазоне частот, поиск новых и модификация и усовершенствование уже существующих методов изучения нелинейных характеристик материалов в данном спектральном диапазоне. В свою очередь, одной из наиболее широко известных и применяемых на практике техник для исследования нелинейных свойств оптических материалов и, в частности, нелинейного показателя преломления коэффициента нелинейного показателя преломления, является метод z-сканирования.

Метод z-сканирования широко известен и применяется для исследования нелинейных свойств оптических материалов и, в частности, нелинейного показателя преломления n_2 . В основе вышеназванного метода лежит вынужденное сужение и расширение интенсивного сферического светового пучка при перемещении образца (нелинейной среды) вдоль оси распространения излучения при прохождении через фокус линзы [2]. При этом нелинейная среда выступает в роли тонкой линзы, а ее перемещение вблизи фокуса и непосредственно в нем приводит к минимальному изменению распределения поля пучка в дальнем поле. В результате характерная кривая метода z-сканирования представляет из себя перепад между максимумом и минимумом пропускания нелинейной среды. Из измеренной зависимости сигнала детектора от положения образца производится расчет величины коэффициента нелинейного показателя преломления.

Для моделирования распространения ТГц импульса в воздухе и кристалле ZnSe использовались уравнения распространения интенсивного светового импульса в волноводной диэлектрической среде с нормальной групповой дисперсией и нерезонансной нелинейностью [3]:

$$\frac{\partial E}{\partial z} - a \frac{\partial^3 E}{\partial \tau^3} + gE^2 \frac{\partial E}{\partial \tau} = \frac{c}{2N_0} \Delta_{\perp} \int_{-\infty}^{\tau} E d\tau', \quad (1)$$

где второе слагаемое в левой части описывает дисперсию линейного поляризационного отклика электронной природы, третье – нелинейность отклика среды электронной природы, а слагаемое в правой части – дифракцию предельно короткого импульса. В данной формуле z – направление, вдоль которого распространяется импульс, Δ_{\perp} – поперечный лапласиан, $E = E(z=0, r, t)$ – начальное сферическое электрическое поле.

На рис. 1 представлены кривые, полученные с помощью численного моделирования метода z-сканирования, в сравнении с аналитической моделью метода для квазимонохроматического излучения. Следует отметить, что при центральной длине волны $\lambda_0 = 0,3$ мм одиночному колебанию поля, т.е. истинно однопериодному импульсу, соответствует значение длительности $\tau_0 = 0,3$ пс [4].

Из рис. 1а видно, что чем короче длительность импульса, тем больше проявляется расхождение между кривыми численного моделирования и аналитики, а следовательно, больше и погрешность метода z-сканирования при оценке величины коэффициента n_2 . Особенности фокусировки истинно однопериодных импульсов приводят к увеличению значения пиковой интенсивности в каустике. С учетом этого величина погрешности в случае импульсов, содержащих одну осцилляцию поля, всегда максимальна и достигает 70% (рис. 1б).

Далее было проведено исследование влияния величины соотношения между толщиной образца L и пространственным размером импульса x на значение погрешности оценки коэффициента n_2 методом z-сканирования. Кривая, отражающая полученную зависимость, представлена на рис. 2.

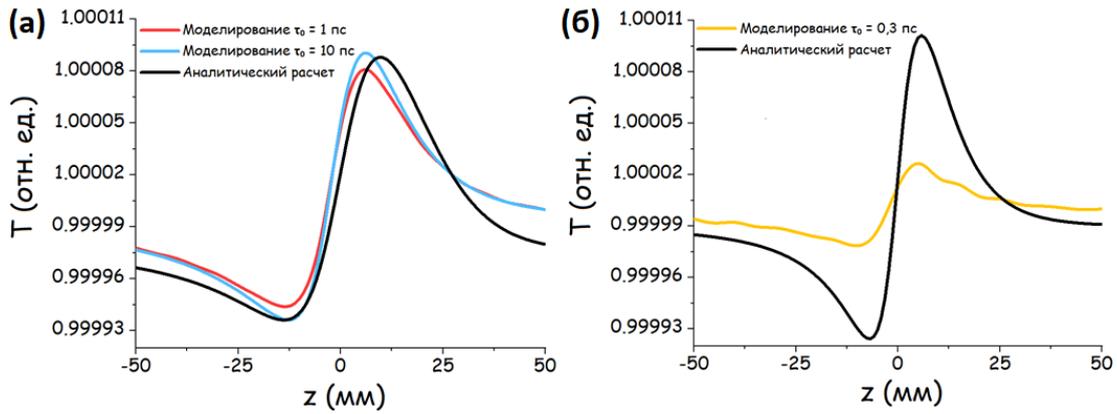


Рис. 1. Кривые метода z-сканирования (цветные), полученные в результате численного моделирования метода для параметров импульсов и среды: длительность $\tau_0 = 0,3, 1, 10T_0$, центральная длина волны $\lambda_0 = 0,3$ мм, толщины кристалла $L = 0,3$ мм; черная кривая отражает аналитическую модель для случая квазимонохроматического ТГц излучения

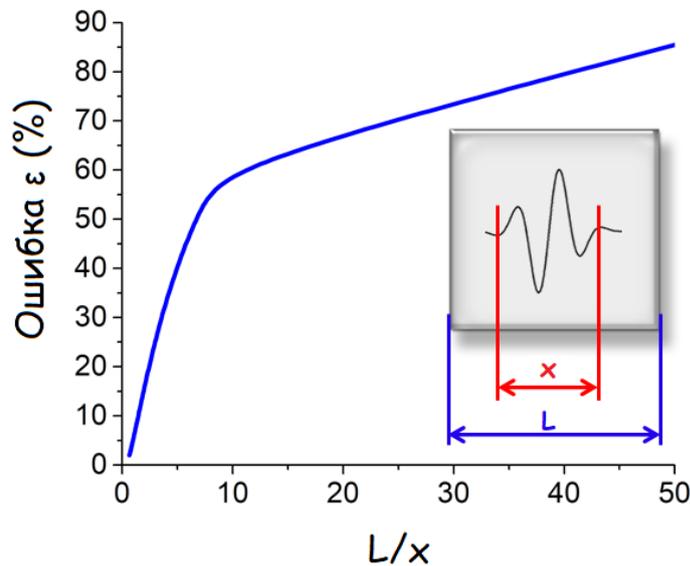


Рис. 2. График зависимости погрешности оценки коэффициента n_2 от величины параметра L/x

Анализируя график, можно заключить, что величина погрешности оценки коэффициента n_2 методом z-сканирования растет с увеличением указанного отношения L/x . Следовательно, наиболее достоверные и точные результаты достигаются в случае, когда данное соотношение минимально. При проведении реальных экспериментов из-за физических ограничений рекомендуется считать оптимальным случай величины соотношения $L/x \leq 1$.

Полученная зависимость была апробирована и подтверждена при проведении экспериментального измерения коэффициента нелинейного показателя преломления n_2 плоской струи воды в терагерцовом диапазоне частот методом z-сканирования с закрытой апертурой.

Для обеспечения своевременной смены области воздействия струи воды с импульсами при диаметре пучка 1 мм и частоте следования импульсов 1 кГц скорость струи $v_{jet} = 1$ м/с. Струя воды в эксперименте является чистой средой, то есть не содержит примесей. При учете ориентации струи по направлению нормали к падающему излучению при ее толщине, равной $L = 0,1$ мм, получаем:

$$\frac{L}{x} = \frac{100 \times 10^{-6} \text{ м}}{1 \times 10^{-12} \text{ с} \cdot 3 \times 10^8 \text{ м/с}} = \frac{1}{3} < 1. \quad (2)$$

Таким образом, необходимое для получения результатов измерения коэффициента нелинейного показателя преломления n_2 выполняется, а именно величина отношения толщины образца L к пространственному размеру импульса x меньше 1.

На рис. 3 приведены экспериментально полученные кривые метода z-сканирования с открытой и закрытой апертурой (рис. 3а и 3б) соответственно для различных значений энергии ТГц излучения. Кривые представляют собой результат усреднения 50 измерений. Из рис. 3а видно, что наблюдается просветление воды из-за роста энергии ТГц излучения на 2 порядка, которое составляет примерно 2%. Таким образом, наблюдается нелинейное поглощение среды. Расчет коэффициента n_2 производится по экспериментальным данным метода z-сканирования с закрытой апертурой. Для того, чтобы устранить влияние наведенного поглощения из экспериментальных данных метода z-сканирования с закрытой апертурой, их необходимо разделить на данные, полученные для случая открытой апертуры.

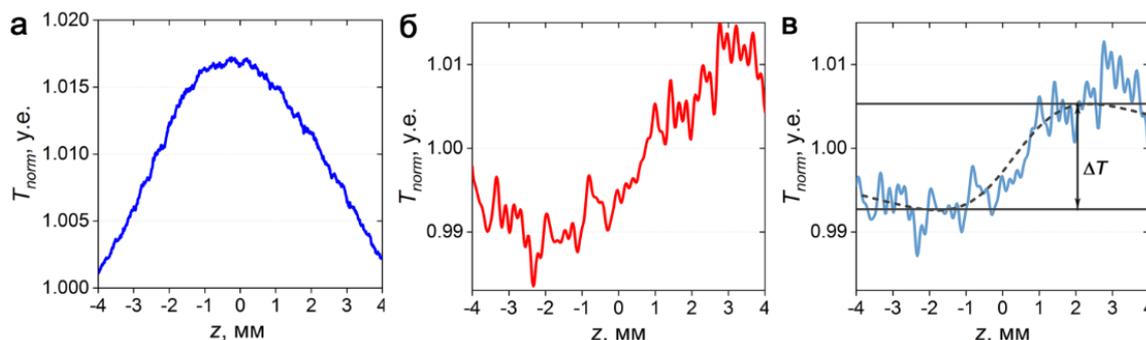


Рис. 3. Экспериментальные кривые метода z-сканирования (а) с открытой апертурой, (б) с закрытой апертурой, (в) результат нормировки кривой для расчета коэффициента нелинейного показателя преломления

Величина перепада ΔT после нормировки составляет $\Delta T = 0,013$. Значение коэффициента α поглощения воды составляет $\alpha = 100 \text{ см}^{-1}$. С целью увеличения чувствительности метода линейное пропускание апертуры S было выбрано равным 2%. Стоит отметить, что при этом возникает уменьшение соотношения сигнал-шум. В расчетах было использовано значение максимальной в спектре терагерцового излучения длины волны излучения $\lambda_0 = 0,4 \text{ мм}$ (что соответствует частоте $\nu_0 = 0,75 \text{ ТГц}$). Расчет производился по следующей формуле [2]:

$$n_2 = \frac{\Delta T}{0,406 I_0} \times \frac{\sqrt{2} \lambda}{2 \pi L \alpha (1-S)^{0,25}}, \quad (3)$$

Таким образом, экспериментально полученное по формуле (3) значение коэффициента нелинейного показателя преломления воды составляет $n_2 = 7 \times 10^{-10} \text{ см}^2/\text{Вт}$.

В результате проделанной работы было показано, что точность измерения коэффициента нелинейного показателя преломления зависит от отношения между толщиной образца и пространственным размером импульса, а именно, величина погрешности измерения при использовании формулы стандартного метода z-сканирования для монохроматического излучения увеличивается вместе с величиной

названного отношения. Оптимальным можно считать величину соотношения меньше единицы. Таким образом, рекомендуется использовать образцы, толщина которых не превышает продольного пространственного размера импульса для проведения измерения его нелинейных параметров с использованием метода z-сканирования. Однако величина погрешности измерения коэффициента нелинейного показателя преломления при работе с истинно однопериодными импульсами превышает 70% даже для тонких образцов. Полученная зависимость была апробирована и подтверждена при проведении экспериментального измерения коэффициента нелинейного показателя преломления струи воды в терагерцовом диапазоне частот методом z-сканирования с закрытой апертурой.

В дальнейшей работе планируется провести численные и аналитические оценки коэффициента нелинейного показателя преломления для других сред, а также модифицировать существующую аналитическую модель метода z-сканирования с учетом особенностей терагерцового излучения, в частности его широкого спектра.

Литература

1. Hebling J. et al. Generation of high-power terahertz pulses by tilted-pulse-front excitation and their application possibilities //JOSA B. 2008. Т. 25. №. 7. С. B6-B19.
2. Sheik-Bahae M. et al. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam //IEEE journal of quantum electronics. 1990. Т. 26. №. 4. С. 760-769.
3. Kozlov S.A., Samartsev V.V. Fundamentals of femtosecond optics. Elsevier/ 2013.
4. 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.

Кузьмина Елизавета Александровна

Год рождения: 2001

Университет ИТМО,

факультет среднего профессионального образования,

студентка группы №У2432,

направление подготовки: 09.02.07 – Информационные системы и программирование,

e-mail: markskavr2014@mail.ru

Говорова Марина Михайловна

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет среднего профессионального образования,

преподаватель,

e-mail: maran77@mail.ru

УДК 004.9

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ И РАБОТЫ
С КЛИЕНТОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ ДЛЯ «КЦСОН КРАСНОСЕЛЬСКОГО РАЙОНА»**

Е.А. Кузьмина

Научный руководитель – преподаватель М.М. Говорова

Работа выполнена в рамках темы НИР №119 «Организация экспериментальной (инновационной) деятельности в сфере социальной реабилитации, ресоциализации и социальной адаптации потребителей наркотиков».

Аннотация

В работе рассматривается автоматизированная информационная система для комплексного центра социального обслуживания населения Красносельского района. Система представляет собой веб-приложение. В данной работе были реализованы модули администрирования и работы с клиентом для упомянутой автоматизированной информационной системы.

Ключевые слова

Авторизированная информационная система, социальный центр, психологические тестирования, веб-приложение, обработка данных.

Предметной областью разработки является комплексный центр социального обслуживания населения, для которого реализовывалась АИС, а в частности, модули администрирования и работы с клиентом. Главная задача социального центра – помощь людям в трудных жизненных ситуациях. Туда поступают люди с различного рода зависимостями (алкогольная, наркотическая). При поступлении клиент проходит социальную диагностику, в виде беседы со специалистом центра. Также, клиент проходит определенные тестирования по методологиям (GAGE, SOCRATES, Бойко), после чего специалист центра определяет типологическую группу на основе данных из разделов социальной диагностики и результатов тестирований. После оказания помощи специалистом клиент повторно проходит тестирования и определение типологической группы для диагностики эффективности оказанной помощи. Соответственно, данные тестирований и типологических групп подразделяются на два этапа: первичная диагностика (до оказания помощи) и вторичная диагностика (после оказания помощи). После прохождения этих двух диагностик тестирований специалист формирует по ним

графики. Помимо этого, специалист распечатывает необходимую ему информацию из разделов всей социальной диагностики, каждого тестирования и каждой типологической группы.

До разработанной автоматизированной системы комплексный центр пользовался электронными таблицами Microsoft Excel для хранения социальной диагностики, тестирований и типологических групп клиентов. Такой подход не только усложнял обработку большого количества поступающих данных клиентов, но и имел большой недостаток в безопасности хранения этих данных. Так как все таблицы находились только на одном компьютере директора центра, то при любом значительном сбое системы, эти данные могли быть безвозвратно потеряны.

В связи со всем вышесказанным, было решено разработать АИС для автоматизации процесса предоставления помощи специалистами. А так как система должна находиться в локальной сети и у специалистов должна быть возможность пользоваться системой с планшетов, мобильных устройств и стационарных компьютеров было решено реализовать АИС в виде веб-приложения.

Также перед разработкой и реализацией системы были проанализированы доступные аналогичные программные продукты. В итоге прямых аналогов не было найдено, а среди косвенных были выявлены недостатки. Они либо включают в себя систему хранения форм и отчетности, либо возможность прохождения и анализа тестов, но совместно, в одном продукте, данного функционала нет, что и является главным преимуществом разрабатываемой АИС.

Задачей непосредственно данной работы являлась разработка следующих функциональных возможностей:

- администрирование:
 - добавление и удаление пользователей;
 - поиск по пользователям.
- редактирование профиля пользователя;
- восстановление пароля по привязанной к профилю пользователя почте;
- работа с клиентом:
 - добавление, редактирование, удаление и просмотр общей информации о клиенте;
 - добавление, редактирование, удаление и просмотр информации из социальной диагностики;
 - добавление, редактирование, удаление и просмотр тестов клиента (Бойко, GAGE, SOCRATES);
 - просмотр списка первичной и вторичной диагностики по каждому тесту;
 - создание и обновление типологических групп;
 - просмотр списка типологических групп согласно первичной и вторичной диагностике;
 - построение графиков по двум диагностикам по всем тестам;
 - построение графиков по результатам каждого теста;
 - вывод на печать информации социальной диагностики клиента, тестов, результатов тестов, типологических групп, совместных графиков по тестам.

На рис. 1 представлена функциональная модель системы в нотации IDEF0 [1], где красным цветом обведены функции, реализованные в данной работе.

Как видно из названия одного из модулей, в системе имеется модуль администрирования, он был введен для удобного добавления и удаления специалистов директором центра. Соответственно, доступ к этому модулю имеет только администратор, и роль специалиста назначается автоматически при добавлении его в систему. Остальной функционал, относящийся к работе клиента доступен как специалисту, так и администратору.

Для наглядности была построена диаграмма вариантов использования (Use case) [2], представленная на рис. 2.

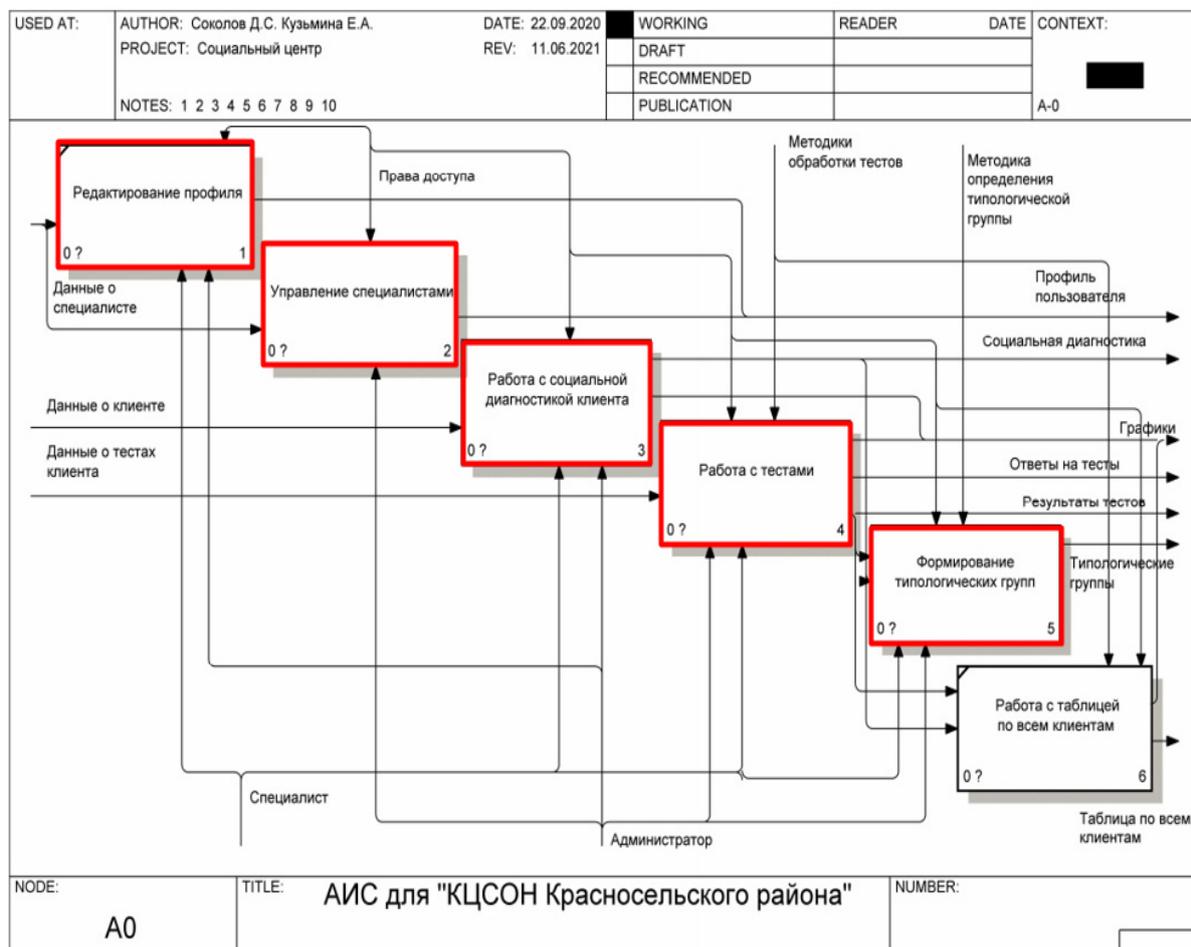


Рис. 1. Детализация главного процесса системы

Для бэкенд части системы использовался фреймворк Django на языке программирования Python. Данный выбор был обоснован анализом всех доступных решений для разработки бэкенд части веб-приложений. Фреймворк Django обеспечивает поддержку паттерна MVC [3], предоставляет систему аутентификации пользователей, поддерживает технологию программирования ORM [4], а также представляет собой зрелый проект, обладающий большим сообществом, что предоставляло возможность поиска решений возможных возникших проблем во время разработки.

Для фронтенд части был выбран фреймворк Vue.js, так как он позволяет смешивать HTML-разметку и JavaScript-код, что позволяло удобно интегрировать данные компонента в шаблон. Помимо этого, он также обладает подробной документацией.

В качестве СУБД был выбран PostgreSQL, так как он поддерживает базы данных неограниченного размера и обладает легкой расширяемостью.

Разработка бэкенд и фронтенд производилась в интегрированной среде разработки PyCharm.

Так как приоритетом для системы должна быть надежность, производительность и масштабируемость, была выбрана трехзвенная архитектура [5], при которой все компьютеры находятся в локальной сети.

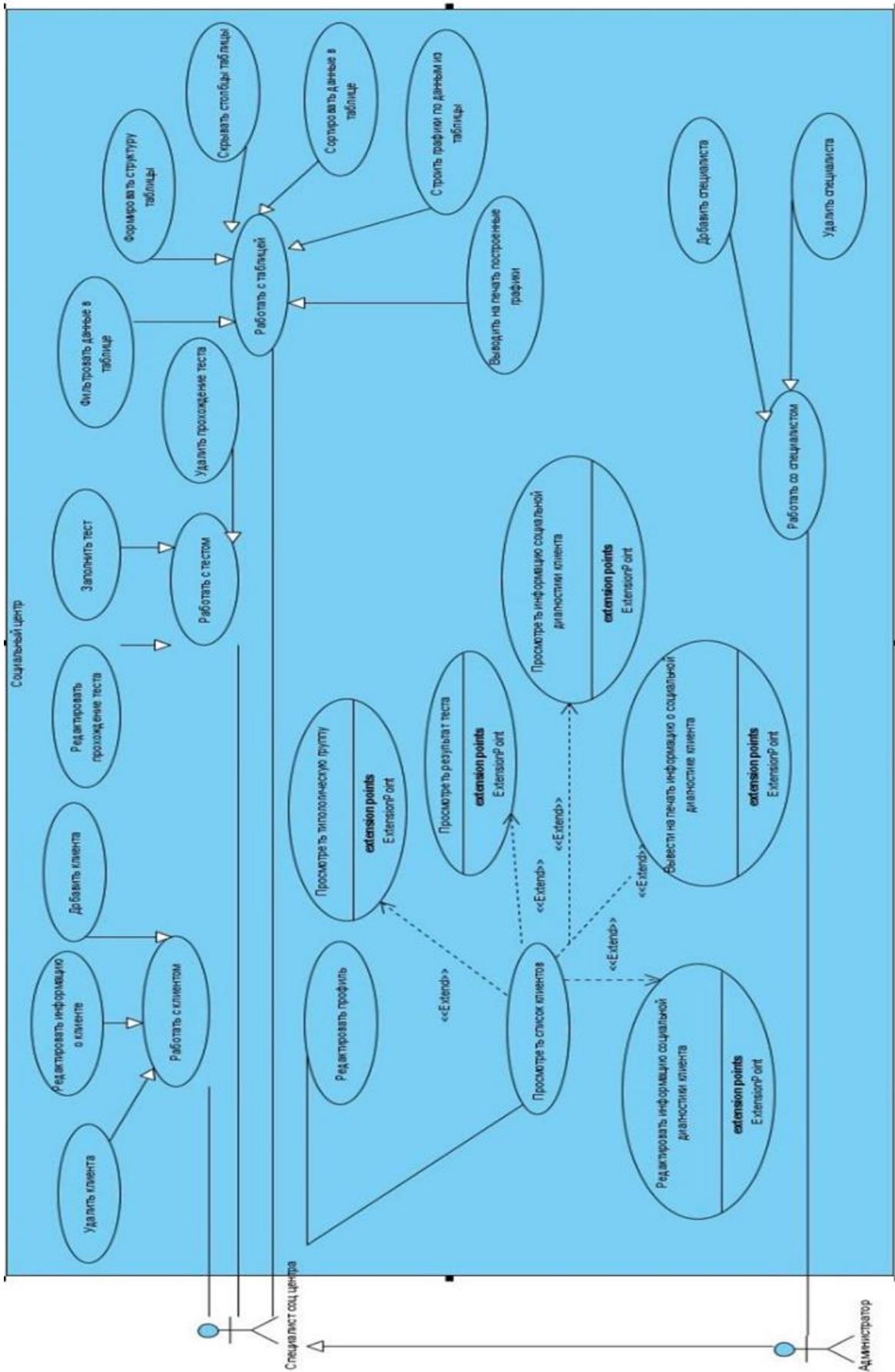


Рис. 2. Use case диаграмма

После реализации бэкенд и фронтенд части системы, а также установки ее на сервер, были проведены следующие тестирования: стресс-тестирование (для определения максимальной пропускной способности и поведения системы при экстремальных ситуациях), тестирование стабильности и безопасности, исследование совместимости.

В итоге, по завершению всех этапов разработки, а именно: анализ предметной области, анализ поведения системы и поведения данных, формулирование требований к системе, составление технического задания, выбор инструментария, разработка серверной части приложения, разработка клиентской части приложения, отладка и тестирование ресурса, были реализованы модули администрирования и работы с клиентом для автоматизированной информационной системы для комплексного центра социального обслуживания населения Красносельского района.

Система уже успешно прошла апробацию и внедрена в рабочие процессы центра. В будущем планируется дальнейшее сотрудничество для реализации подобной системы для всех комплексных центров города Санкт-Петербурга.

Литература

1. Нотация IDEF0 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/idef0> (дата обращения: 24.06.2021).
2. Проектирование Use case диаграммы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nationalteam.worldskills.ru/skills/proektirovanie-use-case-diagrammy-opredelenie-funktsionalnykh-vozmozhnostey-sistemy/> (дата обращения: 24.06.2021).
3. Что такое MVC: рассказываем простыми словами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.hexlet.io/blog/posts/что-такое-mvc-rasskazyvaem-prostymi-slovami> (дата обращения: 24.06.2021).
4. Введение в ORM (Object Relational Mapping) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://internetka.in.ua/orm-intro/> (дата обращения: 24.06.2021).
5. Трехуровневая архитектура. Достоинства и недостатки [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studopedia.ru/8_43424_trehurovnevaya-arhitektura-dostoinstva-i-nedostatki.html (дата обращения: 24.06.2021).

Прокудина Алёна Игоревна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы № U3494,

направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика,

e-mail: alyona.prokudina@gmail.com

Николаев Андрей Сергеевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: nikand@itmo.ru

УДК 004.418

**ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ
ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИММЕРСИВНОГО
ОБУЧЕНИЯ В РОССИЙСКУЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ СРЕДУ**

А.И. Прокудина

Научный руководитель – к.э.н., доцент А.С. Николаев

Аннотация

В данной работе были изучены современные методики обучения в сфере образования, рассмотрены преимущества использования иммерсивных технологий в обучении.

В ходе работы был проведен сравнительный анализ результатов внедрения технологий иммерсивного обучения в России и за рубежом. В заключении были сформулированы рекомендации по внедрению инструментов виртуальной и дополненной реальности в российскую образовательную среду.

Ключевые слова

Иммерсивные технологии, цифровизация образования, дополненная реальность, российское образование, виртуальная реальность, дополненная реальность.

«Четвертая промышленная революция» приведет к увеличению автоматизации рабочей силы. По оценкам Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), в течение следующих 10-20 лет 14% рабочих мест подвергнутся высокому риску полной автоматизации, в то время как еще 32% подвергнутся риску значительных изменений. Поэтому крайне важно, чтобы системы образования адаптировались таким образом, чтобы обеспечить учащихся необходимыми навыками для выживания в современном меняющемся мире [1].

Одним из решений существующей проблемы может стать использование иммерсивных технологий в обучении. Виртуальная и дополненная реальность помещает людей в интерактивную среду обучения, как виртуально, так и физически, для воспроизведения возможных сценариев работы и обучения конкретным навыкам. Иммерсивное обучение помогает людям приобрести навыки, которые могут быть очень сложными, дорогостоящими, а иногда даже опасными для изучения.

В процессе изучения существующих методов корпоративного обучения и результатов внедрения иммерсивного обучения компанией X5RetailGroup, на рис. 1 представлена классификация современных решений по эффективности и стоимости внедрения.

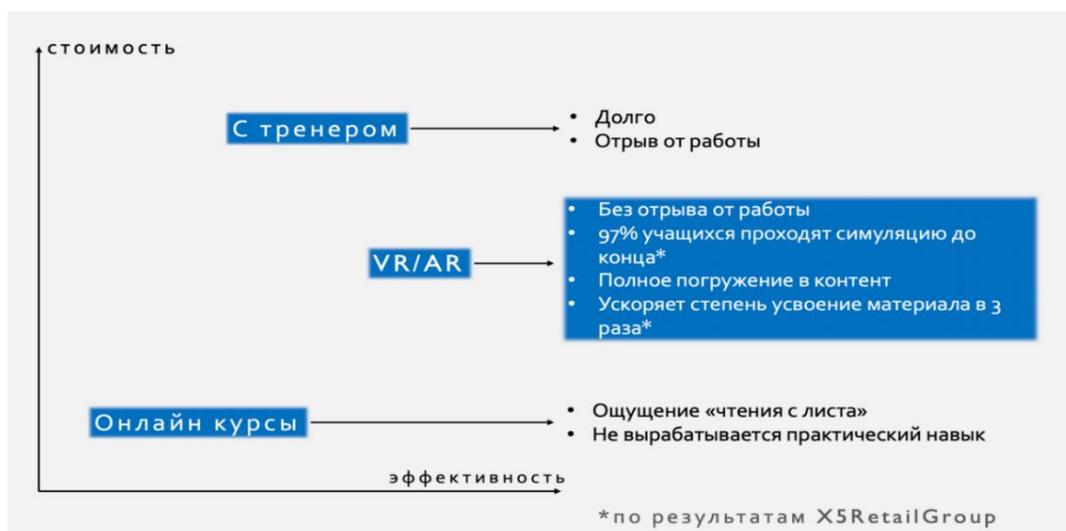


Рис. 1. Классификация методов корпоративного обучения сотрудников по стоимости и эффективности обучения (составлено автором)

Многие руководители считают, что подобные инновационные методы обучения имеют высокую цену, но, стоит отметить, что стоимость оборудования иммерсивных технологий начинает стабилизироваться по мере того, как на рынок выходит все больше поставщиков. Программы иммерсивной реальности – это одноразовые расходы, которые могут оказаться экономически эффективными в долгосрочной перспективе. Пользователи могут принимать участие в любом количестве учебных модулей, отслеживать эффективность в течение ряда сессий, чтобы обеспечить визуальную и статистическую обратную связь во время текущих оценок. Эта гибкость и удобство означает, что компании не нужно тратить деньги на материалы и ресурсы, используемые для повторного обучения и практики. Вместо этого новые сотрудники могут участвовать в реалистичных сценариях так часто, как это необходимо, без дополнительных затрат для своих работодателей.

В рамках данной работы была проведена классификация компаний, где сейчас активно внедряют иммерсивные технологии. На рис. 2 представлены компании крупных сегментов рынка. В этот список вошли как зарубежные, так и отечественные организации, с каждым годом компаний становится все больше по мере развития технологий и информирования рынка. В данных проектах иммерсивные технологии используют, как и для обучения навыкам «soft-skills», так и для обучения «hard-skills».



Рис. 2. Классификация компаний, внедряющих иммерсивные технологии, по основным сегментам рынка (составлено автором)

Одной из первых российских компаний, внедривших иммерсивные технологии в корпоративное обучение стала X5RetailGroup, а именно сеть магазинов «Перекресток». Компания внедряла технологии в обучение навыкам «soft-skills» для продавцов-прилавочников. По данным компании, после применения иммерсивных технологий в обучении, рост продаж увеличился на 9%, а время на обучение сократилось в 3 раза. Иммерсивность впечатлила сотрудников настолько, что 99% заявили о готовности продолжать обучение в таком формате [2].

Российский филиал сети ресторанов быстрого питания Burger-King для возможности свободного общения с клиентами-иностранцами внедрил обучение сотрудников кассы английскому языку с помощью технологий виртуальной реальности. Пилотный проект проходил в Москве и Санкт-Петербурге, по окончании которого компания выявила, что 65% сотрудников, прошедших обучение с помощью технологий виртуальной реальности, улучшили свои первоначальные показатели, а 46% стали общаться более уверенно [3].

С каждым годом из-за повсеместной цифровизации наблюдается тенденция снижения интереса к традиционному обучению у современных учащихся. Они имеют неограниченный доступ к любой всевозможной информации, им трудно представить свою жизнь без смартфона и других современных гаджетов. Педагогам и менторам, в свою очередь, становится все сложнее доносить информацию до обучающихся. Значительная часть зарубежных и отечественных исследований в педагогике сконцентрированы на поиске альтернативных методов обучения.

Решением этой проблемы может стать использование иммерсивных технологий в образовательной среде.

В ходе данной работы был проведен опрос студентов первых курсов Университета ИТМО, чтобы определить степень готовности российской молодежи к цифровизации образования и внедрению иммерсивных технологий. Всего в опросе приняли участие 57 респондентов. Подавляющее большинство (84% опрошенных) современных студентов считают традиционное обучение (лекции, видео-презентации, чтение учебников) неэффективным по отношению к новому цифровому поколению. Практически все обучающиеся (96% опрошенных) согласны с тем, что визуализация играет важную роль при презентации материала и упрощает дальнейший процесс запоминания информации. Больше всего ученикам не хватало визуализации в таких предметах, как: биология, физика и химия. Безусловно в учебниках присутствуют картинки, а на занятиях показывают видео материалы, но не всегда есть возможность увидеть определенные процессы более наглядно.

На основе полученных данных в работе был сделан вывод, что влияние иммерсивных технологий на здоровье пользователей недостаточно изучено. Необходимо проводить специальные исследования, которые помогут выработать методические рекомендации и регламенты безопасного для здоровья использования иммерсивных технологий в образовании.

Исследования необходимо проводить сторонними исследовательскими центрами и/или национальными исследовательскими университетами для того, чтобы исключить предвзятость в данном вопросе и по итогу предоставить достоверные данные для дальнейшего составления или дополнения ГОСТ-ов оборудования виртуальной и дополненной реальности, группа гостей в данном случае будет П8 (Средства вычислительной техники и автоматизированные системы управления).

При внедрении иммерсивных технологий в образовательную среду могут возникнуть проблемы с корректностью предоставляемого материала, он может не совпадать с утвержденными образовательными стандартами. Вследствие чего представителям Министерства образования и науки российской Федерации необходимо тесно сотрудничать с разработчиками программного обеспечения.

Например, проводить государственные тендеры с четко регламентированным техническим заданием на разработку программного обеспечения для технологий иммерсивного обучения. Также при внедрении будет необходимость в закупке оборудования виртуальной, смешанной или дополненной реальности, ее также следует проводить посредством тендера.

После поставки оборудования с утвержденным программным обеспечением, в первую очередь следует провести инструктаж по использованию технологии и мерам предосторожности для обучающихся и преподавателей. Наиболее качественным вариантом будет, если инструктаж будут проводить ответственные лица, чаще всего технические специалисты или специалисты техподдержки, со стороны поставщика программного обеспечения. Благодаря большому опыту работы в области иммерсивных технологий, специалисты смогут решить возникшие проблемы быстрее и объяснить решение понятным для пользователя языком. Безусловно необходимо создать инструкцию по использованию оборудования и ответы на часто задаваемые вопросы. Также следует создать горячую линию со специалистами по технической поддержке, для возможности оперативного решения возникших проблем.

В ходе анализа уже существующих примеров внедрения иммерсивных технологий были сформулированы рекомендации для организаций-потребителей иммерсивного обучения.

В первую очередь необходимо определить существующие учебные программы, которые могли бы стать более эффективными с применением иммерсивных технологий. В любой организации есть роли и области обучения, которые просто не получают большой пользы от внедрения этих технологий, стоит определить эти области на начальном этапе. Компании лучше выявить 2–3 приоритетные области (в идеале те, которые очень тактильные, но тяжело осваиваемые) и на них протестировать свой первый опыт иммерсивного обучения.

Важно сформулировать какие конкретные цели организация преследует при обучении посредством иммерсивной среды. Будь то повышение мастерства, производительности или дохода. Основную цель, которую организация может измерить, нужно иметь для того, чтобы определить успех или неудачу программы обучения в виртуальной или дополненной реальности.

С одной стороны, внедрение иммерсивных технологий в российскую образовательную среду сейчас находится на ранней стадии развития. С другой, по всей видимости, рынок виртуальной и дополненной реальности будет развиваться также, как и процесс цифровизации в других областях экономики страны. После решения проблем, связанных со стоимостью, окупаемостью и эффективностью иммерсивных технологий, эти инструменты могут стать ведущим драйвером роста образования в России.

Хотя существует много различных теорий о том, что и как должны изучать студенты, невозможно избежать того факта, что учащиеся должны быть готовы к постоянному обучению и повышению квалификации – люди учатся всю свою жизнь, а не определенный ограниченный период. Технологии играют и будут продолжать играть ключевую роль в том, как приобретаются и развиваются навыки для учащихся 21-го века. Поэтому неудивительно, что индустрия «EdTech» к 2020 году достигла 252 миллиарда долларов, увеличившись на 17% за год [4].

Пандемия COVID-19 стала одним из основных факторов, который послужил катализатором трансформации обучения в системе среднего и высшего образования на пути к ее цифровизации. Вузы, школы и компании стали переходить на дистанционные формы работы с обучающимися и сотрудниками организаций. Несмотря на то, что ведущие учебные заведения страны внедряют системы дистанционного обучения, в целом инерционная образовательная система не смогла широко распространить

технологии дистанционного обучения, и профессорско-преподавательскому составу была дана свобода действий на организацию процесса дистанционного обучения. Таким образом, электронное обучение из разряда инноваций, обсуждаемых на научных форумах, стало жизненно важной моделью учебного процесса. Формы и методы внедрения электронного обучения, безусловно, заслуживают внимания и обсуждения.

Литература

1. OECD Employment Outlook 2019. 2019. URL: <https://www.oecd.org/employment-outlook/2019/> (дата обращения 02.05.2021).
2. Как мы учили сотрудников «Перекрестка» продавать в VR [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://vc.ru/services/137107-kak-my-uchili-sotrudnikov-perekrestka-prodavat-v-vr> (дата обращения 10.05.2021).
3. Сerevrum научила сотрудников Burger King общаться с гостями ресторанов по-английски [Электронный ресурс]. 2019. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Бургер_Кинг_\(Burger_King\)_Проекты_Виртуальной_реальности](https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Бургер_Кинг_(Burger_King)_Проекты_Виртуальной_реальности) (дата обращения 10.05.2021).
4. Global Report Predicts EdTech Spend to Reach \$252bn by 2020. URL: <https://www.financedigest.com/global-report-predicts-edtech-spend-to-reach-252bn-by-2020.html> (дата обращения 11.05.2021).

Семина Алина Дмитриевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т3430,

направление подготовки: 19.03.01– Биотехнология,

e-mail: alina.siomina@yandex.ru

Яковченко Наталья Владимировна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,

факультет биотехнологий,

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

e-mail: frack@mail.ru

УДК 664

**РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ
ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ
ЛЮДЕЙ С НЕПЕРЕНОСИМОСТЬЮ ГЛЮТЕНА**

А.Д. Семина

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

Аннотация

В работе разработаны состав и технология получения замороженных полуфабрикатов без глютена в производственных масштабах, позволяющий разнообразить рацион людям с целиакией. Изучено влияние сонохимической обработки на готовое тесто без глютена, а также разработан способ получения теста без глютена с использованием ультразвука. В результате был получен гипоаллергенный замороженный полуфабрикат с улучшенными реологическими параметрами.

Ключевые слова

Целиакия, тесто без глютена, рисовая мука, кукурузная мука, замороженный продукт без глютена, сонохимическая обработка.

**1 Разработка состава и технологии
получения замороженных полуфабрикатов без глютена**

Рынок специализированных продуктов стремительно эволюционирует, так же, как и потребительский спрос. Особенно развивается группа продукции без содержания глютена. Глютен – это понятие, объединяющее группу сходных белков, содержащихся в семенах злаковых растений, в особенности пшеницы, ржи и ячменя. Термином «клейковина» обычно называют белки группы проламинов и глютелинов [2].

Одно из известных генетических заболеваний, связанных с непереносимостью глютена, является целиакия. В среднем 1 из 100 человек имеет заболевание целиакия, в России диагностируются у 120 человек на 100 тысяч населения [5]. Данное аутоиммунное заболевание характеризуется нарушением функции тонкого кишечника, связанное с дефицитом ферментов, которые расщепляют глютен, который содержится в большинстве дешевых и доступных круп, таких как: пшеница, рожь, ячмень [3, 4].

Несмотря на все запреты, людям необходимо получать все микро- и макронутриенты для полноценной диеты. Именно для этого стали создаваться

разнообразные линейки безглютеновой продукции. Пшеничную муку активно заменяют на рисовую, ржаную на кукурузную и гречневую, также используются дополнительные загустители: ксантановые, гуаровые камеди, крахмалы для производства товаров, не содержащих аллергена.

Полуфабрикаты, а именно пельмени и вареники – это полноценные продукты [1], которые идеально подходят для рациона человека, обогащая его необходимыми нутриентами.

Существует множество рецептов безглютеновых пельменей и вареников, которые лепятся вручную. Но в производственных масштабах такая продукция не производится в нашей стране, потому что тесто без глютена очень хрупкое, липкое и плохо проходит через пельменный аппарат, а это, соответственно, негативно влияет на экономическую составляющую из-за увеличения количества брака и снижения производительности предприятия.

Мука для теста без глютена была выбрана из рисовой, кукурузной, гречневой и льняной. Учитывался макронутриентный состав: содержание крахмала, белков и жиров. Исходя из этих показателей были выбраны два вида муки: рисовая и кукурузная. Затем исследовали тесто из данных видов муки. На рис. 1 доказано, что лучший выбор – это тесто из смеси рисовой и кукурузной муки, так как растяжимость является главным показателем при изготовлении теста.

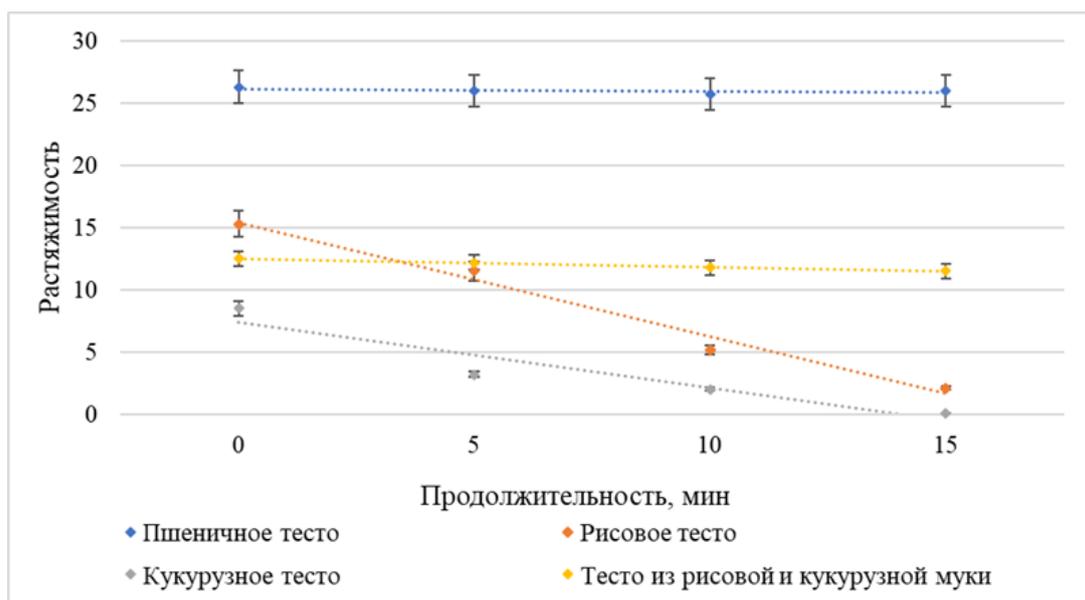


Рис. 1. Зависимость растяжимости различных видов теста от продолжительности хранения при комнатных условиях

Для повышения растяжимости теста без глютена были подобраны дополнительные ингредиенты. Кукурузный крахмал и ксантановая камедь являются загустителями, которые действуют друг с другом в симбиозе. Крахмал увеличивает растяжимость готового теста, а ксантановая камедь защищает крахмальные зерна от разрушения и, тем самым, увеличивает время хранения теста без глютена в производственных условиях. Соль в малых количествах не влияет на физические и химические параметры полуфабриката, однако улучшает органолептическую оценку готового продукта. Растительное масло смазывает сухие компоненты теста, облегчает скольжение в пельменном аппарате. Вода связывает все сухие компоненты, придает необходимую влажность полуфабрикату. Рецепт теста без глютена рассмотрена в табл. 1.

Рецептура теста без глютена

Наименование сырья	Количество, в %
1	2
Рисовая мука	30,0±2
Кукурузная мука	30,0±2
Кукурузный крахмал	14,0±2
Ксантановая камедь	1,5±2
Соль	1,5±2
Масло подсолнечное	1,5±2
Вода	21,5±2
Всего	100,0

2 Изучение влияния ультразвуковой обработки на тесто без глютена

Ультразвуковая обработка – современный метод, который только сейчас внедряется в пищевую промышленность. Рис. 2 описывает изготовление теста при помощи ультразвуковой обработки [5].

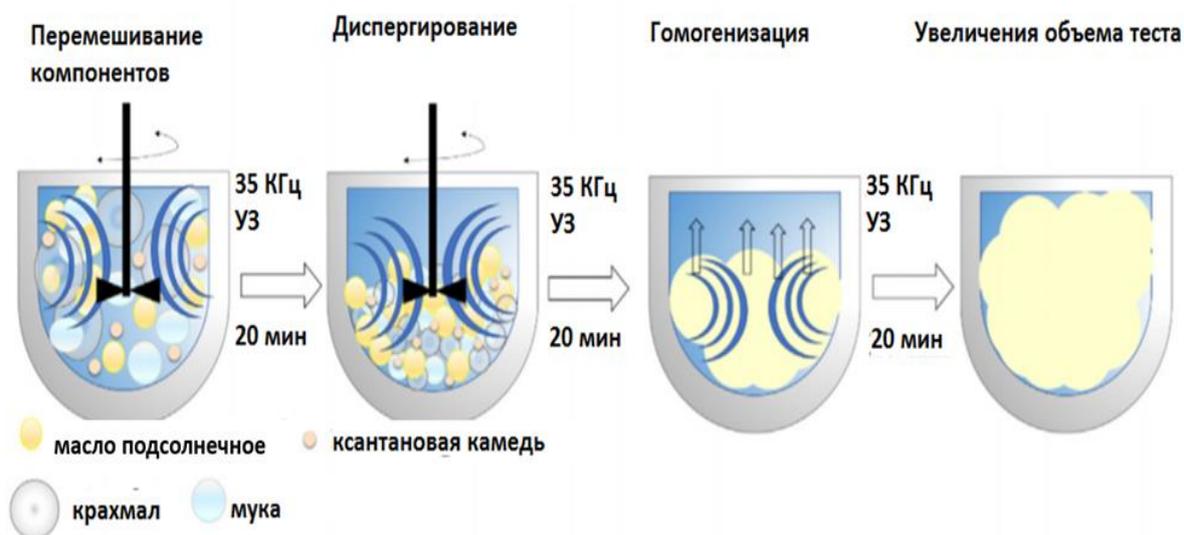


Рис. 2. Влияние ультразвука на тесто

Было выявлено, что ультразвук влияет на готовое тесто без глютена. На рис. 3 доказано, что ультразвук уменьшает размер крахмальных гранул, тем самым позволяя способствует снижению продолжительности вымешивания теста на 20 минут.

Установлено, что ультразвуковая обработка влияет на готовое тесто: уменьшается размер агломератов и увеличивается степень гомогенизации готового теста. Рис. 4 описывает влияние ультразвука на готовое тесто.

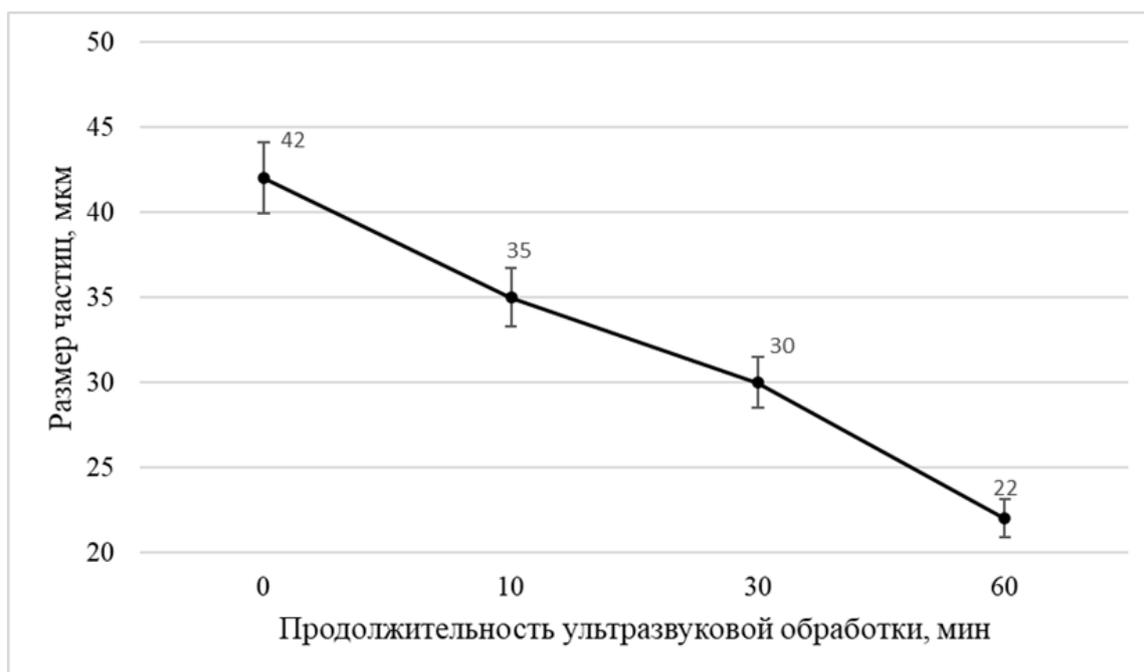


Рис. 3. Зависимость размера частиц крахмала от продолжительности ультразвуковой обработки

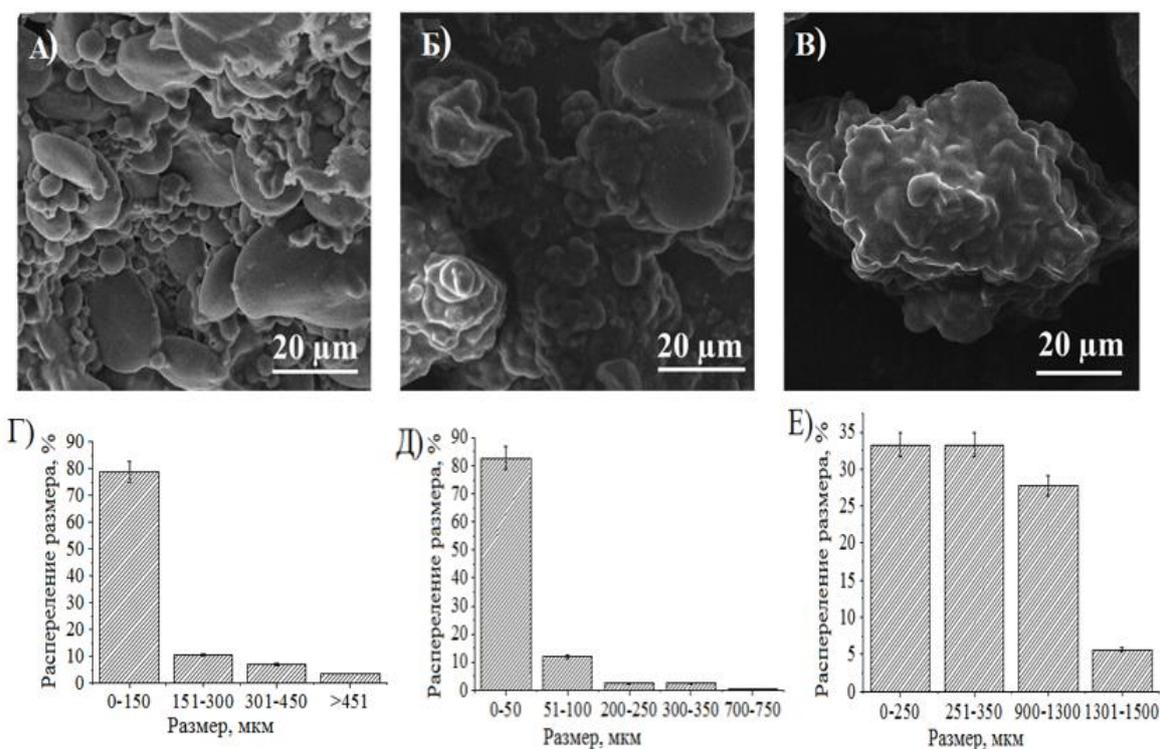


Рис. 4. Влияние ультразвуковой обработки на готовое тесто.

А – тесто традиционное, Б – тесто без глютена до ультразвуковой обработки, В – тесто без глютена после ультразвуковой обработки (60 минут), Г – распределение размера агломератов теста традиционного, Д – распределение размера агломератов теста без глютена и без ультразвуковой обработки, Е - распределение размера агломератов теста без глютена и с ультразвуковой обработкой (60 минут).

3 Показатели качества и безопасности готового продукта

Была выбрана начинка яблоко-корица для изготовления готового продукта: полуфабрикаты замороженные в тесте вареники без глютена с яблоком и корицей. Физические, химические, микробиологические показатели должны соответствовать техническим условиям на готовый продукт: ТУ 10.89.19–001-0128620390-2019. Физические, химические и микробиологические показатели готового продукта описаны в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические и микробиологические показатели вареников без глютена яблоко-корица

Определяемые показатели	Наименование нормативного документа на метод испытаний	Гигиенический норматив	Значение характеристики при испытаниях
1	2	3	4
Физико-химические показатели			
Количество разваренных вареников	РСТ РСФС 107	%, не более 10,0	Не обнаружено
Вид на разрезе: Толщина тестовой оболочки	РСТ РСФС 107	мм, не более 2 мм, /в местах заделки не более 3 мм	1,9/2,8
Разрыв оболочки	РСТ РСФС 107	Не допускается	Не обнаружено
Не проваренное тесто	РСТ РСФС 107	Не допускается	Не обнаружено
Влажность мякиша	ГОСТ 21094	%, не более 42,0	39,0
Массовая доля поваренной соли	ГОСТ 5698-51	%, 0,4-0,6	0,2
Массовая доля начинки	РСТ РСФС 107	%, не менее 50,0	54,8
Температура	-	°С, не более -18,0	-18,0
Количество глютена	МУК 4.1.2880	мк/кг, по факту	Менее 20 мг/кг
Микробиологические нормативы безопасности			
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов	ГОСТ 10444.15	КОЕ/г, не более $1 \cdot 10^3$	4
БГКП (колиформы)	ГОСТ 31747	1,0 г – не допускаются	Не обнаружено
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы	ГОСТ 31659	в 25 г – не допускаются	Не обнаружено
<i>S. aureus</i>	ГОСТ 31746	1,0 г – не допускаются	Не обнаружено
Плесени	ГОСТ 10444.12	КОЕ/г, не более 50	Не обнаружено

Заключение

В ходе работы была разработана рецептура теста без глютена для производства замороженных полуфабрикатов. Тесто, состоящее из рисовой муки, кукурузной муки, кукурузного крахмала, ксантановой камеди, соли, масла растительного и воды может использоваться на аппаратах для традиционного изготовления пельменей и вареников. Изучено влияние ультразвуковой обработки на характеристики теста без глютена она уменьшает продолжительность гомогенизации готового полуфабриката.

Готовый продукт отвечает всем требованиям качества и безопасности.

На основании научной работы была опубликована статья «Ultrasound-assisted fabrication of gluten-free dough for automatic producing dumplings» в журнале *Ultrasonics Sonochemistry* (2020) IF = 7,2 – Q1.

Продукт полуфабрикаты, замороженные в тесте без глютена внедрен на потребительский рынок под торговой маркой «Герасименко А. Н.»

В дальнейшей работе планируется разработать замороженные полуфабрикаты без глютена с соевым мясом, а также полуфабрикатов с вишней без сахара.

Литература

1. Антипов С.Т. Инновационное развитие техники пищевых технологий: учебное пособие / Антипов С.Т., Журавлев А.В., Казарцев Д.А., Мордасов А.Г.; под ред. Панфилова В.А. СПб.: Лань. 2016. 660 с.
2. Егорова Е Ю. Почему безглютеновые? Изделия с пониженным содержанием глютена от «ИРЕКС» / Егорова Е.Ю., Козубаева Л.А. // *Хлебопродукты*. 2014. №8. с. 32-33.
3. Pietzak M.M. / Follow-up of patients with celiac disease: achieving compliance with treatment *Gastroenterology*, 128. 2005. pp. 135-141.
4. Catassi C., Antiendomysium versus antigliadin antibodies in screening the general population for coeliac disease, *Scand. J. Gastroenterol.* 35. 2000. P. 732–736.
5. Ultrasound-assisted fabrication of gluten-free dough for automatic producing dumplings / Ulasevich S.A., Gusinskaia T.A., Semina A.D. ... [etal.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. 8 с.

Федорова Ирина Александровна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М3436,

направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика,

e-mail: entershei@gmail.com

Алексеев Никита Владимирович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

инженер-исследователь научно-образовательного центра геномного разнообразия,

к.ф.-м.н., инженер-исследователь,

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

УДК 51-76

**АНАЛИЗ ГЕНОМНЫХ
ПЕРЕСТРОЕК С ПОМОЩЬЮ СЛУЧАЙНЫХ ГРАФОВ**

И.А. Федорова

Научный руководитель – к.ф.-м.н., инженер-исследователь

Н.В. Алексеев

Аннотация

В работе была предложена новая модель для оценки истинного эволюционного расстояния, учитывающая 3D структуру ДНК, проведен асимптотический анализ введённой модели. Реализован алгоритм для оценки истинного эволюционного расстояния, сформулирована и доказана теорема для оценки основных компонент для разработанного алгоритма. Также алгоритм был применён к реальным геномам.

Ключевые слова

Истинное эволюционное расстояние, 3D структура ДНК, Hi-C, геном, модель поломки хрупких регионов, одуванчиковый код.

Эволюционные механизмы, с помощью которых изменяются геномы, являются ключевой сферой для изучения в таких науках как: эволюционная биология и филогеномика. Одна из самых используемых оценок в этой области является оценка эволюционного расстояния между геномами двух видов, отображающая число геномных перестроек.

Для оценки истинного эволюционного расстояния уже существуют некоторые модели, например модель поломки хрупких регионов (ПХР) [1]. В этой модели предполагается, что геном состоит из двух типов чередующихся регионов – хрупких и прочных. При этом только хрупкие регионы подвержены геномным перестройкам. Хотя модель ПХР позволяет довольно хорошо оценивать истинное эволюционное расстояние, она не учитывает 3D структуру ДНК. Однако, как было показано в недавних исследованиях, геномные перестройки, происходящие между далёкими друг от друга участками хромосомы в 1D, обычно происходят из-за их близости в 3D [2].

Чтобы использовать информацию о 3D структуре ДНК в новой модели, использовался один из распространённых подходов для оценки пространственной структуры ДНК – анализ Hi-C данных [3]. Hi-C метод, основывающийся на методе определения конформации хромосом, является молекулярным способом для анализа 3D организации хроматина. Hi-C метод отображает число взаимосвязей между

близкими в 3D сегментами ДНК в виде Hi-C матрицы. Измеренные частоты взаимодействия в Hi-C матрице не масштабированы и не могут быть напрямую переведены в фактические значения. Поэтому, в данной дипломной работе использовался наиболее популярный паттерн геномных компартментов для анализа Hi-C данных [4]. Паттерн геномных компартментов отображается на Hi-C матрице в виде, шахматной доски, состоящей из чередующихся блоков с высокой и низкой частотой взаимодействия (рис. 1). Такой паттерн взаимодействия может быть объяснён тем, что хромосомы состоят из двух типов геномных регионов, и частота взаимодействия между двумя регионами одного и того же типа больше, чем частота взаимодействия между регионами разных типов. Эти два типа регионов имеют название *A* и *B* компартменты.

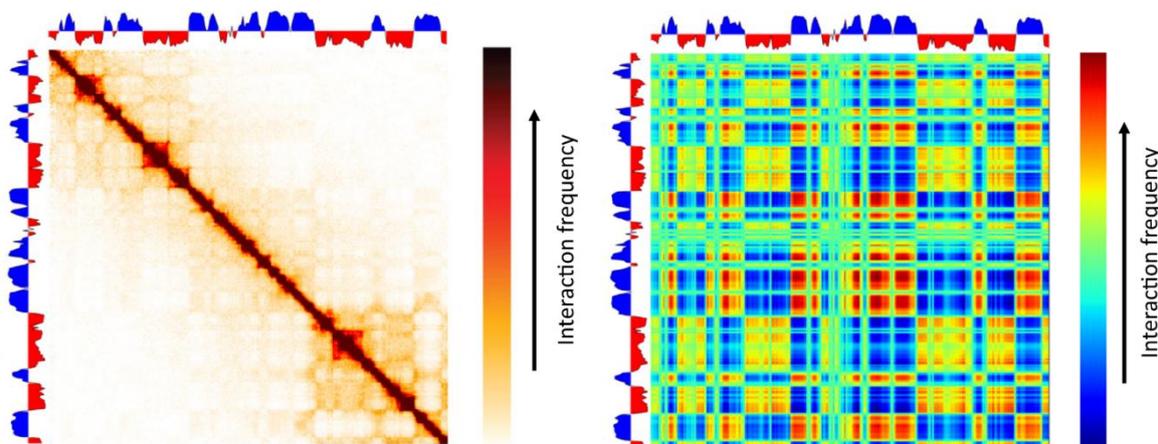


Рис. 1. Hi-C матрица, демонстрирующая паттерн геномных компартментов. Рисунок из [4]

В работе вводится модель, которая использует модель ПХР, добавляя в неё паттерн геномных компартментов, используемый в Hi-C анализе. Тем самым новая модель учитывает пространственную структуру ДНК и использует предположение, о том, что в геномных перестройках точки разрыва зависят от их пространственной близости [2].

Как и в модели поломки хрупких регионов, будем использовать граф точек разрыва для представления геномных перестроек и подсчёта истинного эволюционного расстояния. Для построения графа точек разрыва рассмотрим два генома P и Q , состоящих из n прочных регионов – блоков и n хрупких регионов. Представим оба генома в виде геномных графов, состоящих из n ориентированных рёбер (блоковые рёбра), соответствующих прочным регионам, и n неориентированных рёбер (смежные рёбра), соответствующих хрупким регионам. Смежные рёбра отвечают за соединение блоковых. Так как геномы P и Q составлены из одних и тех же блоков, можно выстроить блоковые рёбра в обоих графах в одинаковом порядке. Покрасим смежные рёбра в графе для P чёрным цветом, а для Q – синим и зелёным цветами. Цвет смежных рёбер для Q определяются типами геномных компартментов соответствующих хрупких рёбер – *A* или *B*. Объединим два геномных графа для P и Q в один граф и удалим блоковые рёбра. Полученный граф называется графом точек разрыва $G(P, Q)$. Пример нового графа точек разрыва изображён на рис. 2. Стоит отметить, что число рёбер типа *A* может отличаться от числа рёбер типа *B*, поэтому в модели появляются дополнительные параметры α , β , отвечающие за долю *A* и *B* рёбер в графе точек разрыва.

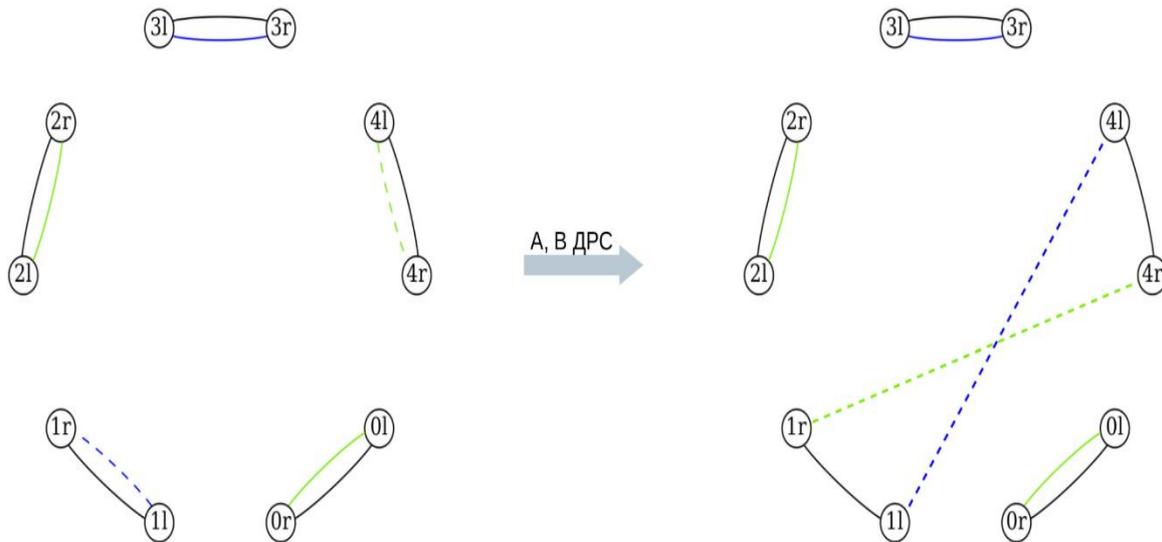


Рис. 2. Операция ДРС между A, B рёбрами

В базовой модели поломки хрупких регионов граф точек разрыва позволяет представить геномные перестройки в виде операции двойного разрезания и склеивания (ДРС) двух рёбер. В новом графе точек разрыва операция ДРС принимает три фиксированные вероятности для вовлечения в неё рёбер каждого из типов – p_{AA}, p_{AB}, p_{BB} . Пример изображён на рис. 2.

Аналогично модели ПХР, эволюционный процесс представляется как дискретная Марковская цепь, начинающаяся в состоянии $G(P, P)$ и заканчивающаяся в $G(P, Q)$. Количество шагов в данном процессе отражает истинное эволюционное расстояние. При этом начальное состояние представляется в графе точек разрыва, как набор тривиальных циклов, то есть циклов длины 1 (левая часть рис. 2). Под длиной цикла подразумевается число зелёных и синих рёбер в нём.

Чтобы оценить истинное эволюционное расстояние, неизвестные параметры выражаются через известные. В модели неизвестно число тривиальных циклов и общее число блоков, равное общему числу чёрных рёбер n , аналогично статье о модели ПХР [1]. Известными параметрами считаются число циклов длины m , где $m \geq 2$.

Оценка истинного эволюционного расстояния в дальнейшем будет построена на числе циклов длины m (c_m), поэтому необходимо научиться аналитически оценивать c_m . Как было показано в статье о модели ПХР, можно считать, что циклы длины m за k шагов Марковского процесса образуются следующим образом: на каких-то $m - 1$ шагах происходили объединения циклов таким образом, что получился цикл длины m , при этом на остальных $k - m + 1$ шагах рёбра из цикла не были задействованы [1].

Теперь, когда предполагается, что короткие циклы образуются только с помощью объединения циклов, можно представить эти операции объединения в цикл длины m , как операции образования остовного дерева на m вершинах. A - и B -рёбра цикла в графе точек разрыва представляются вершинами в новом графе. Каждая операция ДРС в графе точек разрыва на рёбрах номер i и j – это новое ребро, соединяющее вершины i, j во втором графе. Так как всего слияний было $m - 1$, и все рёбра в графе точек разрыва лежат на цикле, то во втором графе будет $m - 1$ ребро, соединяющее m вершин, а значит, это остовное дерево в графе на m вершинах. Пример трансляции образования цикла длины 3 в остовное дерево изображён на рис. 3.

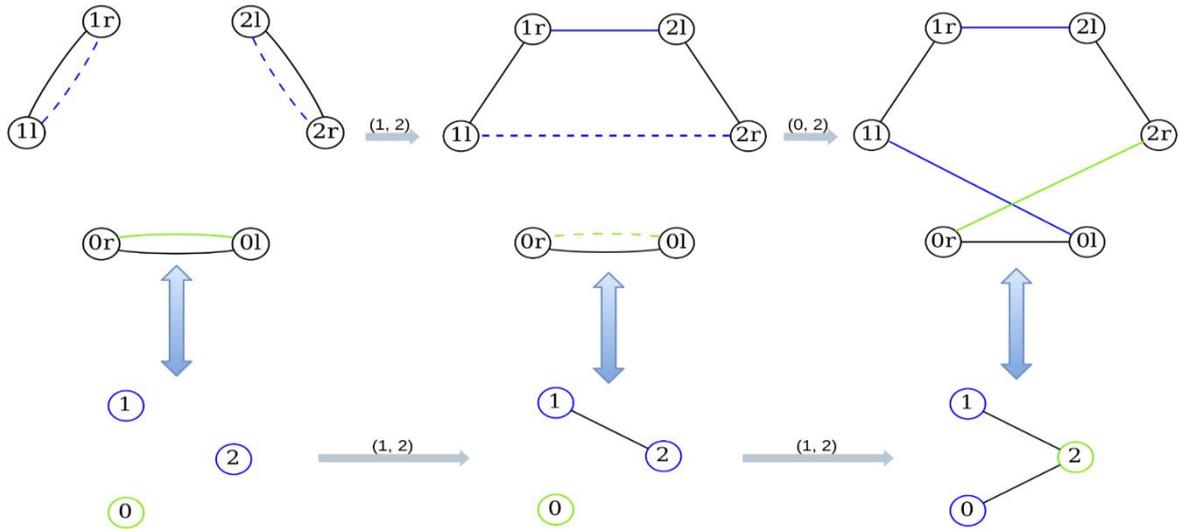


Рис. 3. Преобразование объединения рёбер в цикл в объединение вершин в остовное дерево

В дипломной работе была выведена и доказана следующая **теорема**: пусть истинное эволюционное расстояние между геномами P и Q , состоящих из n блоков, равно k ; $x = \frac{k}{n}$, $x \neq 0$ – нормированное число операций ДРС, произошедших между геномами P и Q ; p_{AA}, p_{AB}, p_{BB} – вероятности вовлечения рёбер в операцию ДРС в зависимости от их типа; α, β – отношение числа A и B рёбер соответственно к общему числу рёбер n . Тогда математическое ожидание от нормированного числа циклов длины m имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \mathbb{E}\left(\frac{c_m}{n}\right) &= \left(\frac{xp_{AB}}{\alpha\beta}\right)^{m-1} \cdot \sum_{l=1}^{m-1} \left[\frac{\alpha^l \beta^{r-l} l^{r-l-1} r^{l-1}}{l! r!} \left(1 + \frac{2\beta l p_{AA}}{\alpha r p_{AB}}\right)^{l-1} \left(1 + \frac{2\alpha r p_{BB}}{\beta l p_{AB}}\right)^{r-1} \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot \exp\left(\frac{-x(2\beta l p_{AA} + \alpha r p_{AB} + \beta l p_{AB} + 2\alpha r p_{BB})}{\alpha\beta}\right) \right] + \\ &\quad + \frac{x^{m-1} (2p_{AA})^{m-1} m^{m-2}}{\alpha^{m-2} m!} \exp\left(\frac{-xm(2p_{AA} + p_{AB})}{\alpha}\right) + \\ &\quad + \frac{x^{m-1} (2p_{BB})^{m-1} m^{m-2}}{\beta^{m-2} m!} \exp\left(\frac{-xm(2p_{BB} + p_{AB})}{\beta}\right) \end{aligned}$$

В первой части формулы суммирование происходит по l , и каждое слагаемое – это число циклов, в которых l рёбер типа A , и r рёбер типа B . Во второй части формулы два отдельных слагаемых отвечают за циклы, состоящие полностью из A рёбер и полностью из B рёбер.

При доказательстве теоремы о числе циклов длины m была доказана **лемма** о числе основных деревьев следующего вида: есть полный граф на $n + m$ вершинах, где n вершин имеют тип A , m вершин имеют тип B , при этом в остовных деревьях ровно a рёбер соединяют две вершины типа A , и ровно b рёбер соединяют две вершины типа B (1). Для выведения и доказательства формулы для подсчёта таких остовных деревьев в данной работе была предложена модификация одуванчикового кода [5].

$$t_{a,b,n,m} = \binom{n-1}{a} \binom{m-1}{b} n^{a+m-b-1} m^{b+n-a-1} \quad (1)$$

Были проведены сравнения выведенных формул для числа циклов длины m с данными, полученными из симуляции эволюционного процесса. На рис. 4 представлены графики сравнения числа циклов длины 3, 4 и 5.

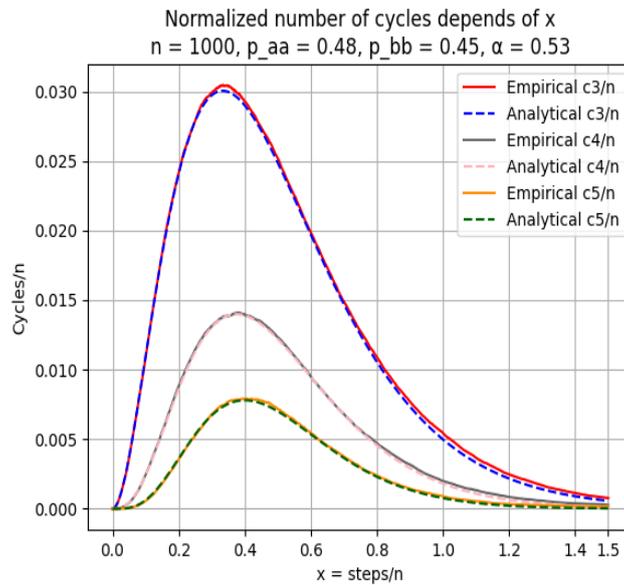


Рис. 4. Сравнение оценки числа циклов длины 3, 4, 5 с эмпирическими данными

Алгоритм оценки истинного эволюционного расстояния использует формулу из Теоремы и находит такое истинное эволюционное расстояние, которое минимизирует ошибку. Ошибка вычисляется как сумма разности нормированного числа циклов длины $1, \dots, 10$. На рис. 5 показаны результаты работы нового алгоритма. Разработанный алгоритм был применён к реальным геномам, в таблице представлены результаты оценки истинного эволюционного расстояния.

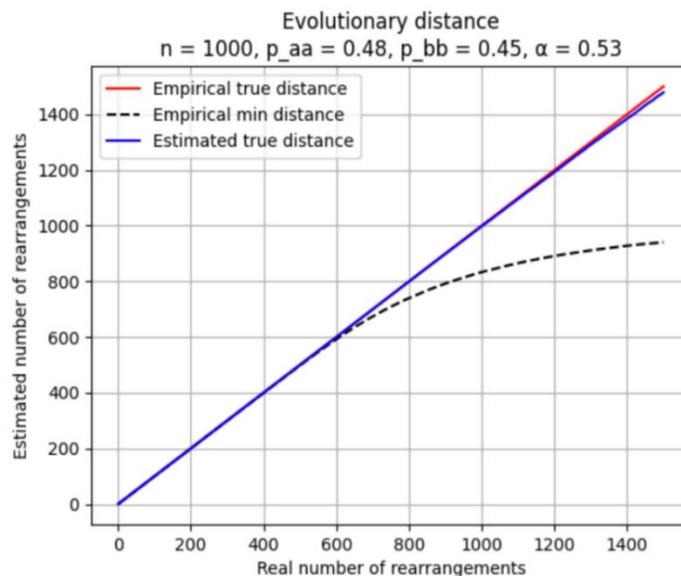


Рис. 5. Сравнение истинного эволюционного расстояния

**Оценка истинного эволюционного расстояния
между геномом человека и некоторыми млекопитающими**

Геномы	Минимальное эволюционное расстояния	Истинное эволюционное расстояние
Macaca mulatta и Homo sapiens	39	40
Mus musculus и Homo sapiens	205	234
Rattus norvegicus и Homo sapiens	209	231
Monodelphis domestica и Homo sapiens	287	329

В ходе работы были изучены существующие методы оценки эволюционного расстояния и методы анализа Hi-C данных. Была предложена новая модель для оценки истинного эволюционного расстояния, учитывающая 3D структуру ДНК, и описан алгоритм для его нахождения. Были выведены аналитические формулы для подсчёта числа циклов разной длины, так как эта информация играет ключевую роль в алгоритме нахождения истинного эволюционного расстояния. При выводе формул была разработана модификация одуванчикового кода, которая позволила посчитать число остовных деревьев специального вида. Были проведены сравнения аналитических формул для подсчёта числа циклов разной длины с данными, полученными из симуляции эволюционного процесса. Проведено сравнение оценки истинного эволюционного расстояния с эмпирическими данными. Был предложен алгоритм для оценки истинного эволюционного расстояния, и этот алгоритм был применён к реальным геномам.

Литература

1. Alexeev N., Alekseyev M.A. Estimation of the true evolutionary distance under the fragile breakage model // BMC Genomics. 2017. 18(Suppl 4):356.
2. Swenson K.M., Blanchette M. Largescale mammalian genome rearrangements coincide with chromatin interactions // Bioinformatics. 2019. Volume 35. Issue 14. p. 117-126.
3. Hi-C: a comprehensive technique to capture the conformation of genomes / Belton J.M. [et al.] // Methods. 2012. Volume 58. Issue 3. p. 268-276.
4. Lajoie B. R., Dekker J., Kaplan N. The Hitchhiker's guide to Hi-C analysis: Practical guidelines // RECOMB CG. 2015. Volume 72. p. 65-75.
5. Thompson E., Paulden T., Smith D. K. The Dandelion Code: A New Coding of Spanning Trees for Genetic Algorithms // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2007. 11(1). p. 91-100.

Чернов Валерий Андреевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R3437,

направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: vachernov@itmo.ru

Бобцов Алексей Алексеевич

Год рождения: 1973

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

директор мегафакультета КТУ,

д.т.н., проф.,

e-mail: bobtsov@itmo.ru

УДК 681.5.01

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЛИНЕЙНЫМИ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАЗДЫВАНИЯ**

В.А. Чернов

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.А. Бобцов

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

Аннотация

В работе рассмотрены объекты управления, описываемые линейными нестационарными системами. Было показано, что для решения задачи оптимально управления системами данного класса может быть использован регулятор, включающий в себя предиктор для вектора состояния и закон оптимального управления нестационарным объектом в отсутствие запаздывания на основе нелинейного матричного алгебраического уравнения Риккати. Приведены практические рекомендации по реализации на цифровых вычислительных системах разработанного метода управления.

Ключевые слова

Линейные нестационарные системы, системы с постоянным запаздыванием, системы с запаздыванием по управлению, синтез упредителя, оптимальное управление.

До сих пор наиболее распространенным подходом для описания динамических систем несомненно являются линейные стационарные модели в силу их хороших алгебраических свойств, обусловленных свойствами линейности. Благодаря данным математическим свойствам и простой программной реализации с помощью методов линейного программирования линейные стационарные модели объектов и их границы допустимости привлекли внимание многих учёных. Задача управления линейными нестационарными системами является хорошо изученной и имеет обширную базу для цитирования. Однако, на взгляд автора данной работы, принципиально новой и мало изученной задачей является разработка метода управления в условиях запаздывания по управляющему воздействию на базе предиктора. На данный момент, наиболее распространённым и существенным допущением при решении подобных является

измеримость вектора состояния [1]. В описываемом ниже методе данное предположение не используется.

Постановка задачи

В рамках работы рассматривается класс линейных нестационарных систем с запаздыванием в сигнале управления при допущении, что все параметры системы известные и гладкие функции времени, которые могут быть представлены как решения однородного линейного дифференциального уравнения. Также предполагается, что запаздывание является известной скалярной величиной на интервале $[0, \infty)$. Таким образом, объект управления имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t - D) \\ y(t) = C^T x(t) \end{cases} \quad (1)$$

В рамках поставленной задачи рассматриваются матрицы динамики системы и управления, принадлежащие множеству C^∞ и заданные генераторами вида:

$$\begin{cases} \dot{A}(t) = GN(t) & \dot{B}(t) = MW(t) \\ \dot{N}(t) = HN(t) & \dot{W}(t) = SW(t) \end{cases} \quad (2)$$

В работе используется предположение, что система (1) относится к классу *BIBO*, что означает ограниченность выходного возмущения при подаче ограниченного управления. Данное предположение гарантирует существование решения системы для $\forall t \in [0, \infty)$.

Синтез предиктора

Осуществим синтез предиктора для удобства вывода закона управления. Для этого перейдём к моменту времени $t + D$. Введём замену переменной $z(t) = x(t + D)$ в модели системы (1):

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = A(t + D)z(t) + B(t + D)u(t) \\ y(t + D) = C^T z(t) \end{cases} \quad (3)$$

Поскольку известен закон изменения матриц динамики системы и управления системы во времени, основная трудность заключается в синтезе предиктора для $z(t)$. Воспользуемся модельным построением наблюдателя $\hat{\xi}(t)$:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\xi}} = A^+(t)\hat{\xi} + B^+(t)u \\ \hat{\phi} = A^+(t)\phi \end{cases} \quad \begin{cases} A^+(t) = A(t + D) \\ B^+(t) = B(t + D) \end{cases} \quad (4)$$

Выпишем динамику ошибки оценки:

$$e(t) = z(t) - \hat{\xi}(t), \quad (5)$$

$$\dot{e}(t) = [A(t + D)\hat{\xi}(t) - A(t + D)z(t)] = A^+(t)e(t). \quad (6)$$

Заметим, что матрица $A^+(t)$ не обязательно является перестановочной, то есть $\int_{t_0}^{t_K} A^+(\tau) d\tau A^+(t) \neq A^+(t) \int_{t_0}^{t_K} A^+(\tau) d\tau$. Поскольку матрица $A^+(t)$ является гладкой

матричной функцией, решение уравнения $\dot{\Phi} = A^-(t)\Phi$ выражается через её фундаментальную матрицу $\Phi^*(t)$. Также легко заметить, что данная фундаментальная матрица также является решением уравнения (6). Таким образом, ошибка предиктора (4) может быть выражена относительно генератора $\Phi(t)$ как:

$$e(t) = \Phi_0^{-1}\Phi(t)e_0. \quad (7)$$

Перепишывая уравнение (5) относительно $z(t)$ получаем выражение для величины вектора состояния $x(t+D)$:

$$z(t) = \hat{\xi}(t) - \Phi_0^{-1}\Phi(t)e_0. \quad (8)$$

Одним из ключевых вопросов при решении поставленной задачи является идентификация e_0 для получения наилучшей оценки предсказания величины вектора состояния. Получим регрессионную модель для нахождения величины начальной оценки предиктора исходя из соображения соответствия характера поведения объекта управления и модели наблюдателя (4):

$$y(t) = C^T x(t) = C^T z(t - D) = C^T [\xi(t - D) - \Phi(t - D)e_0], \quad (9)$$

$$\underbrace{C^T \xi(t - D)}_{q(t)} - y(t) = \underbrace{C^T \Phi_0^{-1} \Phi(t - D)}_{m^T(t)} e_0. \quad (10)$$

Выражение (10) представляет регрессионную модель с вектором неизвестных, представленным начальной ошибкой предсказания. Данное уравнение с одной стороны позволяет изучить возможность идентификации величины исходя из требований *PE* [2], а с другой найти требуемую для (8) оценку начальной величины предсказания.

Вывод закона оптимального управления

Рассмотрим теперь задачу оптимального управления системой (3). Подчеркнём равносильность сформулированной задачи и исходной для системы (1), поскольку после вывода выражения (8) с регрессионной моделью (9) для данных генераторов матриц параметров системы (2) становится возможным переход между системами. Отметим, что это возможно только после наступления некоторого момента времени $t^* = D + \delta, \delta > 0$, поскольку до этого информации, необходимой для идентификации начальной ошибки предсказания, не существует.

Сформулируем задачу оптимального управления стандартным образом:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x, u, t) \\ J = \int_{t_0}^{t_k} L(x, u, t) dt \rightarrow \min \\ L(x, u, t) = \frac{1}{2} \tilde{x}(t)^T Q \tilde{x}(t) + \frac{1}{2} u(t)^T R u(t) \end{cases}. \quad (11)$$

где матрицы Q, R являются квадратными матрицами весовых коэффициентов штрафов по выбросам вектора состояния и по управляющим воздействиям соответственно. Данная задача является хорошо изученной и может быть решена с помощью методов вариационного исчисления. Запишем дополнительный функционал:

$$\bar{J} = \int_{t_0}^{t_k} (L - \lambda^T (f - \dot{x})) dt. \quad (12)$$

Вариация данного функционала вдоль оптимального решения равна нулю:

$$\delta \bar{J} = \int_{t_0}^{t_k} \left(\frac{\partial L}{\partial x} \delta x + \frac{\partial L}{\partial u} \delta u + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial x} \delta x + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial u} \delta u - \lambda^T \delta \dot{x} \right) dt = 0. \quad (13)$$

Легко видеть, что данное эквивалентно системе уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial u} + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial u} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x} + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial x} + \dot{\lambda}^T = 0 \\ -\lambda^T(t_k) = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Поскольку система (3) является линейной, множитель Лагранжа может быть найден в виде $\lambda = P\tilde{x}$, где P некая квадратная матрица. Принимая во внимания этот факт и подставляя в (13) производные в силу системы получаем систему:

$$\begin{cases} u^T(t)R + \tilde{x}^T(t)P(t)B(t) = 0 \\ \tilde{x}^T(t)Q + \tilde{x}^T(t)P(t)A(t) + \frac{d}{dt}[\tilde{x}^T(t)P(t)] = 0 \\ P(t_k)\tilde{x}(t_k) = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Преобразовывая и отбрасывая тривиальное решение $x(t) \equiv 0$, получаем:

$$\begin{cases} u^T(t) = -\tilde{x}^T(t)P(t)B(t)R^{-1} \\ \tilde{x}^T(t)Q + \tilde{x}^T(t)P(t)A(t) + [\tilde{x}^T(t)A^T(t)P(t) + u^T(t)B^T(t)P(t) + \tilde{x}^T(t)\dot{P}(t)] = 0 \\ P(t_k)\tilde{x}(t_k) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} u^T(t) = -\tilde{x}^T(t)P(t)B(t)R^{-1} \\ Q + P(t)A(t) + A^T(t)P(t) - P(t)B(t)R^{-1}B^T(t)P(t) = -\dot{P}(t) \\ P(t_k)\tilde{x}(t_k) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

Второе уравнение в полученной системе (17) является нестационарным алгебраическим матричным уравнением Риккати. Для уравнений этого типа известно, что решение является единственным при его существовании, причём оно отделимо от нуля и сохраняет характер определённости относительно нуля [3]. Заметим, что поскольку матрица P напрямую связана с величиной критерия оптимальности управления, достаточно выбрать такую матрицу в соответствии с уравнением 3 системы (17).

Программная реализация

При реализации описанного метода на цифровых вычислительных машинах возникает трудность с реализацией вычислительных циклов генераторов, например $A^+(t), B^+(t)$. В вычислительном смысле момент начала работы упомянутых выше генераторов является самым первым процессом, то есть $t_{sim} = t_{real} - D$ (рис. 1).

При реализации модели в MATLAB Simulink запуск модели производился в момент времени D , таким образом $A^+(t), B^+(t)$ не сбрасывались. Решение уравнения Риккати (17) для вычисления управляющего воздействия в соответствии с данным критерием оптимальности производился в реальном времени. Для идентификации начальной ошибки предсказания использовался быстрый метод градиентного спуска. Результат работы описанного метода иллюстрируется примером (рис. 2) стабилизации системы с переменными матрицами динамики и управляемости, а также наличием белого шума $w(t)$: $E\{w\} = 0, \sigma^2(w) = 1e - 3$.

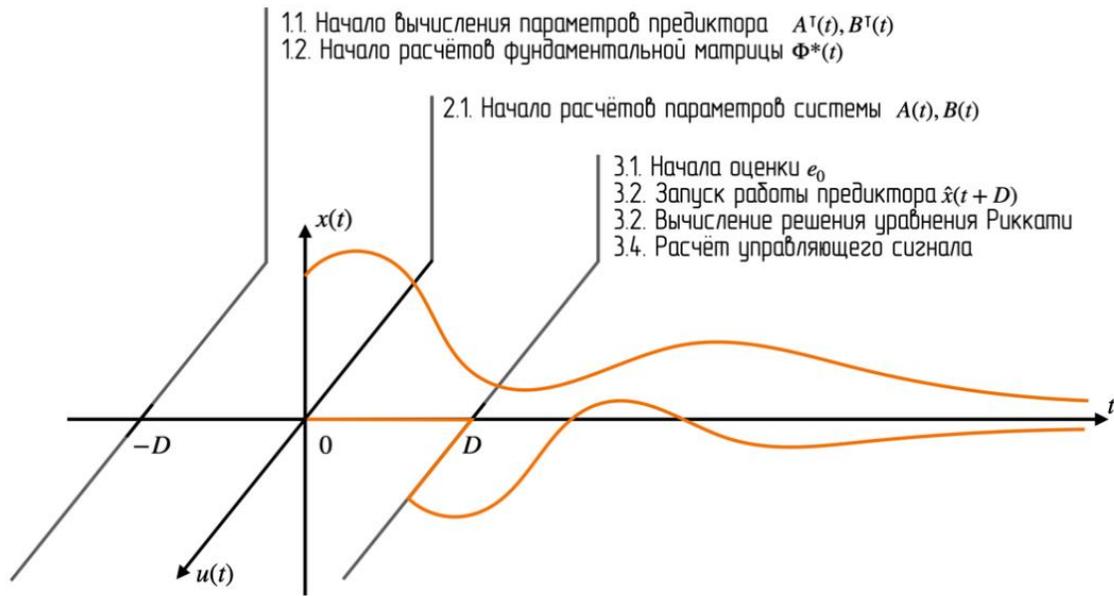


Рис. 1. Хронологическая линия запуска вспомогательных вычислений при реализации метода

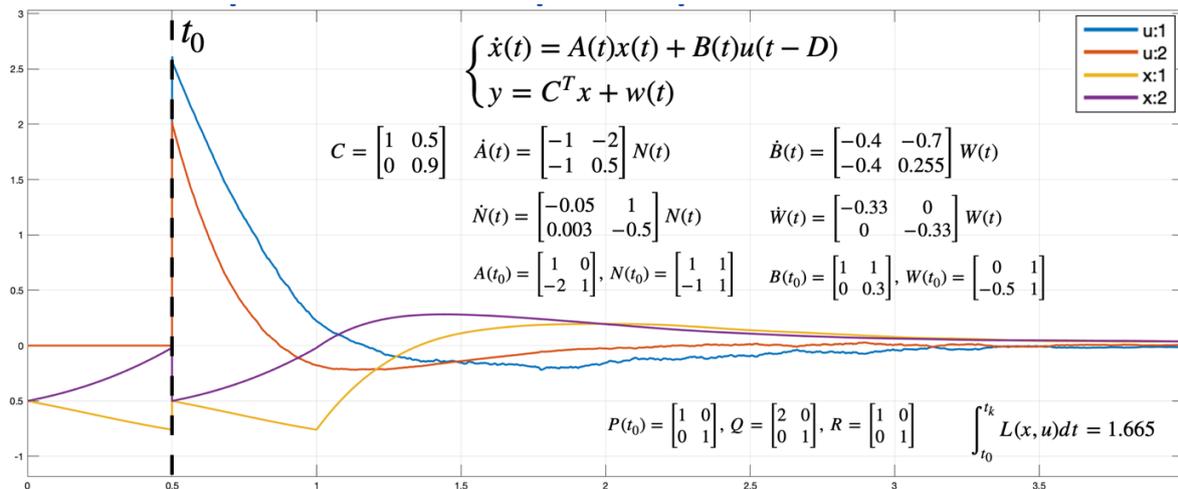


Рис. 2. Переходные процессы в системе при данном методе управления

В работе рассмотрены объекты управления, описываемые линейными нестационарными системами. Было показано, что для решения задачи оптимального управления системами данного класса может быть использован регулятор на основе нелинейного матричного алгебраического уравнения Риккати. Приведены практические рекомендации по реализации на цифровых вычислительных системах разработанного метода оптимального управления, включающего в себя построение предиктора для состояния и закон оптимального управления нестационарным объектом в отсутствие запаздывания.

Дальнейшие исследования предполагают углубленное изучение свойств систем с запаздыванием по управляющему воздействию, в особенности исследований свойства управляемости для линейных нестационарных объектов с запаздыванием по входному воздействию и возможности расширения предложенного метода на класс систем, не относящихся к классу BIBO.

Литература

1. Krstic M. Input Delay Compensation for Forward Complete and Strict-Feedforward Nonlinear Systems / Miroslav Krstic //Automatic Control. IEEETransactions on. 2010. 03. Vol. 55. Pp. 287–303.
2. State observers for reaction systems with improved convergence rates /Romeo Ortega, Bobtsov A., Dochain D., Nikolaev N.//Journal of Process Control. 2019. Vol. 83. Pp. 53–62.
3. Линейные оптимальные системы управления / Сиван Р. Квакернаак Х.М. Мир. 1977.

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

Артамонова Валерия

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

студент группы №К3343,

направление подготовки: 45.03.04 – Интеллектуальные

системы в гуманитарной сфере,

e-mail: lerartlera@gmail.com

Говоров Антон Игоревич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

старший преподаватель,

e-mail: antongovorov@gmail.com

УДК 004.021

**ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ В ПОВЕДЕНИИ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ О РЕЗУЛЬТАТАХ
ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ В МАССОВЫХ
ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН-КУРСАХ НА ПРИМЕРЕ LEARNSQL.RU**

В. Артамонова

Научный руководитель – ст. преподаватель А.И. Говоров

Работа выполнена в рамках темы НИР «Анализ результатов прохождения практических заданий в массовых открытых онлайн курсах на примере learnsql.ru».

Аннотация

В работе обосновывается значимость исследования данных о пользователях, обучающихся на массовых открытых онлайн-курсах, с целью выявления аномального поведения, под которым может пониматься в том числе плагиат. Рассмотрено применение алгоритмов машинного обучения – Isolation Forest и DBScan - для поиска аномалий в данных о результатах прохождения практических заданий пользователями онлайн-курса learnsql.ru. На основании полученных данных составлен паттерн поведения пользователя, в котором также были выявлены аномалии. Реализован полный алгоритм расчета процента аномального поведения пользователя.

Ключевые слова

Обработка данных, машинное обучение, выявление аномалий, массовые открытые онлайн-курсы, шаблон поведения.

Со всеобщим переходом на дистанционное обучение во многих странах мира массовые-открытые онлайн-курсы (МООК) стали одним из самых востребованных источников получения знаний в удаленном формате. В 2020 году, в марте, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации опубликовало список бесплатных онлайн-курсов, авторами которых являются ведущие ВУЗы страны, с целью эффективного подхода к осуществлению образовательного процесса с применением методов электронного обучения и дистанционных образовательных технологий [1]. Несмотря на стремительное развитие индустрии онлайн образования, МООК свойственны те же проблемы, которые были выявлены С.И. Колесниковым в своей работе еще в 2014 году и подтверждены исследованием А.Я. Ягнич в 2020 году:

- многократное выполнение заданий и тестов, что впоследствии может

неадекватно показывать прогресс пользователя на курсе,

- проблема с идентификацией и аутентификацией пользователя курса, сложность с определением выполнения задания конкретным студентом [2, 3].

Таким образом, ставится задача изучения поведения пользователей во время прохождения практических заданий на MOOK с целью разработки алгоритма выявления аномалий в полученных данных о результатах выполнения этих заданий.

Исследование проводилось на данных, полученных с онлайн-платформы learnsql.ru. LearnSQL – это открытый онлайн-курс с тренажером практических заданий для изучения языка запросов SQL. Система была апробирована в 2020 году 183 студентами Университета ИТМО в рамках изучения дисциплины «Базы данных». Данные с этой сессии онлайн-курса были получены в формате CSV-файлов и обрабатывались средствами языка Python и его библиотек Numpy, Pandas, Scikit-learn. Основным датафреймом, над которым проводился анализ, был «Статистика выполнения заданий». Пример нескольких записей из данного датафрейма представлен на рис. 1.

id	status	solution	user_course_id	date	task_id
1	1	select car.license_plate, garage.num_garage, g...	84	2020-05-18 18:42:48.595217+03	13
2	1	SELECT name, speed, damage FROM boss;	84	2020-05-18 19:21:59.957275+03	6
3	1	SELECT name, speed, damage FROM boss;	84	2020-05-20 02:06:08.779061+03	6
4	1	select full_name, position from workers;	86	2020-05-20 03:11:42.869269+03	4
5	1	select full_name, position from workers;	86	2020-05-20 12:17:13.31433+03	4

Рис. 1. Данные статистики ответов пользователей

«Статистика ответов пользователей» включает в себя следующие столбцы:

- id - идентификационный номер,
- status – статус ответа пользователя (1 – ответ правильный, 0 – ответ неправильный),
- solution – решение практического задания,
- user_course_id – идентификационный номер, связывающий выбранный пользователем курс с самим пользователем,
- date – дата и время отправки ответа на задание,
- task_id – идентификационный номер задания.

Для дальнейшей работы с данными были проведены стандартные манипуляции: очистка, предобработка, реорганизация. Так как в данных изначально дано только время отправки варианта решения практического задания, то возникла необходимость рассчитать время выполнения самого задания, для последующего обнаружения аномалий по этому признаку. Время выполнения задания считалось как разница между двумя соседними отправками ответов у каждого пользователя. Во избежание выбросов данных, имеющих большое значение данного признака, записи, превышающие рубеж в 3000 секунд, удалялись из датафрейма.

На основании имеющихся и вычисленных параметров был составлен паттерн поведения пользователя, который состоит из следующих признаков:

- количество сессий на курсе – сумма всех уникальных дат, когда пользователь выполнял задания,
- количество дней на курсе – разница в датах отправки первого и последнего задания,
- частота посещения курса – количество дней на курсе, деленное на количество сессий,

- среднее количество попыток на выполнение одного задания,
- минимальное количество попыток на выполнение одного задания,
- максимальное количество попыток на выполнение одного задания,
- время, затраченное на выполнение заданий – сумма всех значений времени выполнения задания,
- среднее время выполнения заданий,
- соотношение правильных и неправильных ответов – процент соответствующих ответов от общего количества записей,
- среднее количество ответов, отправленных в пределах одной сессии,
- минимальное количество ответов, отправленных за одну сессию,
- максимальное количество ответов, отправленных за одну сессию.

Пример датафрейма, полученного путем вычисления вышеописанных признаков на данных о результатах выполнения пользователями практических заданий представлен на рис. 2.

	user_id	attempt_mean	attempt_min	attempt_max	all_time	time_mean	per_true	per_false	solution_mean	solution_min	solution_max	session_count	all_days	frequency
0	86	1.500000	1	2	3153.0	525.500000	0.833333	0.166667	3.000	3	3	2	2	1.000000
1	90	1.067797	1	2	13745.0	232.966102	0.932203	0.067797	11.800	2	33	5	19	0.263158
2	91	2.142857	1	9	13531.0	161.083333	0.642857	0.357143	21.000	2	56	4	49	0.081633
3	87	4.235602	1	21	55121.0	288.591623	0.272251	0.727749	23.875	7	49	8	9	0.888889
4	88	1.557143	1	6	15871.0	226.728571	0.728571	0.271429	14.000	1	49	5	10	0.500000

Рис. 2. Данные о поведении пользователей

При подборе инструментов для обнаружения аномалий в данных были изучены предыдущие исследования, посвященные данной теме. В работе “Identifying Execution Anomalies for Data Intensive Workflows Using Lightweight ML Techniques” описывается сравнение трех алгоритмов, с помощью которых можно осуществлять поиск аномалий: K-Means, Naive Bayes, Decision Tree, и Isolation Forest. Несмотря на то, что в данном исследовании алгоритм Isolation Forest дал наименьшую точность (менее 50%), авторы отмечают, что этот подход будет полезен в реальных исследованиях на неразмеченных данных [4]. Другое исследование поиска аномалий в данных с применением методов машинного обучения “Optimal Machine Learning Algorithms for Cyber Threat Detection” рассматривает различные алгоритмы кластеризации для решения этой задачи: KMeans, DBSCAN, BIRCH. Алгоритм DBSCAN отмечен как самый быстрый в работе с большим набором многомерных данных, которые также являются неразмеченными [5].

Рассматриваемые в данной работе данные являются неразмеченными и многомерными: 13 признаков в “Паттерне поведения пользователя”, 4 - в “Статистике ответов пользователей”, следовательно, поиск аномалий следует осуществлять с использованием алгоритма Isolation Forest и алгоритма кластеризации DBSCAN.

Результат работы алгоритма Isolation Forest на датафрейме «Статистика ответов пользователей» представлен на рис. 3, из 19566 записей 5373 были отмечены как аномальные.

На рис. 4 представлен результат обнаружения аномалий алгоритмом Isolation Forest на датафрейме «Паттерн поведения пользователя», из 160 пользователей 60 имеют аномальное поведение.

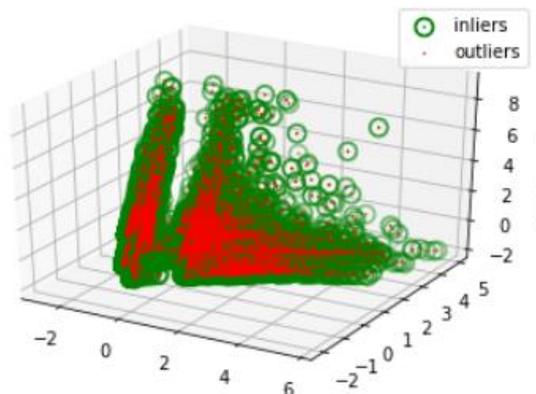


Рис. 3. График аномалий, обнаруженных в датафрейме «Статистика ответов пользователей» алгоритмом Isolation Forest

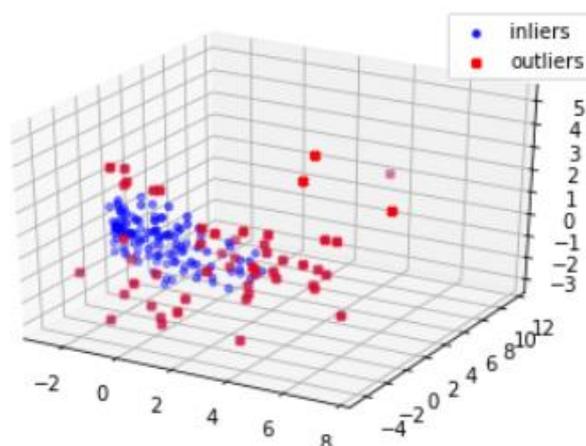


Рис. 4. График аномалий, обнаруженных в датафрейме «Паттерн поведения пользователей» алгоритмом Isolation Forest

Обработка датафреймов алгоритмом DBScan позволила выявить 1744 аномалии в «Статистике ответов пользователей» и 100 аномалий в «Паттерне поведения пользователя», визуализация одного из результатов отображена на рис. 5.

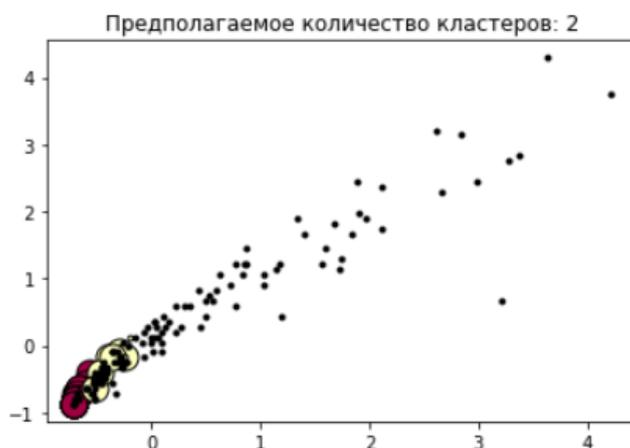


Рис. 5. Кластеризация паттерна поведения пользователей алгоритмом DBScan

Для визуализации распознанных аномалий использовался PCA – метод главных компонент. Этот подход позволил уменьшить размерность данных для их представления в пространстве с наименьшей потерей количества информации. В качестве осей на графиках выступают первые три главные компоненты для трехмерных графиков и первые две - для двумерного.

Обнаруженные аномалии позволяют вычислить процент аномальности поведения для каждого пользователя по нижепредставленной формуле:

$$abnormality_percentage = \frac{IF_DS+DBScan_DS+IF_UP+DBscan_UP}{4},$$

где *abnormality_percentage* – полный процент аномальности поведения пользователя; *IF_DS* – процент аномалий, обнаруженных алгоритмом Isolation Forest, по каждому пользователю в датафрейме «Статистика ответов пользователей»; *DBScan_DS* – процент аномалий, обнаруженных алгоритмом DBScan, по каждому пользователю в датафрейме «Статистика ответов пользователей»; *IF_UP* – метка аномалии алгоритма Isolation Forest по датафрейму «Паттерн поведения пользователя» (1 – запись является аномалией, в противном случае – 0); *DBScan_UP* - метка аномалии алгоритма DBScan по датафрейму «Паттерн поведения пользователя» (1 – запись является аномалией, в противном случае - 0).

В результате работы был реализован алгоритм вычисления процента вероятности аномальности поведения пользователя-обучающегося онлайн-курса на основании данных о результатах прохождения практических заданий, диаграмма которого представлена на рис. 6.

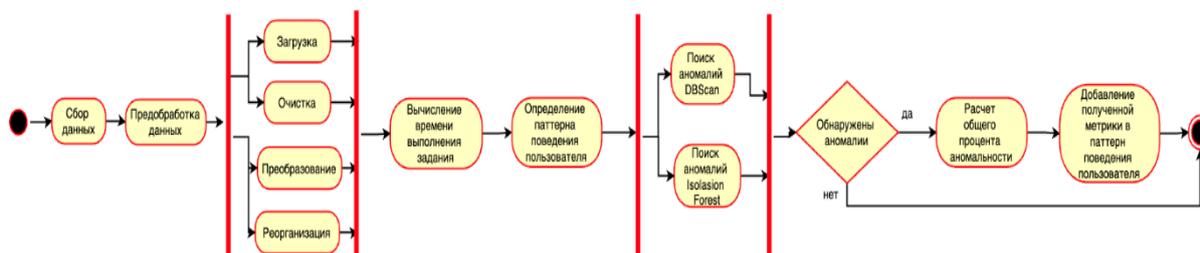


Рис. 6. Диаграмма деятельности процесса выявления аномального поведения

Полученный в результате работы алгоритма процент вероятности аномального поведения пользователя может интерпретироваться преподавателем на свое усмотрение, например, для обнаружения списывающих студентов.

В настоящее время алгоритм внедряется на платформу *learnsql.ru* с целью постоянного определения аномальности поведения пользователей на протяжении всего процесса прохождения онлайн-курса.

В дальнейших исследованиях планируется оптимизировать работу алгоритма для ускорения подсчета итогового процента аномального поведения пользователя и полноценного внедрить данный алгоритм в *learnsql.ru*.

Литература

1. Онлайн-образование (рынок России) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Онлайн-образование \(рынок России\)#cite_note-1](https://www.tadviser.ru/index.php/Онлайн-образование_(рынок_России)#cite_note-1) (дата обращения: 07.06.2021).
2. С.И. Колесников. «Роль массовых открытых онлайн-курсов в непрерывном высшем образовании» // Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития. 2014. N 6. С.242-245.

3. Ягнич А.Я. Возможности онлайн-курсов: сильные и слабые стороны // Colloquium-journal. 2020. N 19(62). С.147-150.
4. Wang C., Papadimitriou G., Kiran M., Mandal A. and Deelman E. "Identifying Execution Anomalies for Data Intensive Workflows Using Lightweight ML Techniques" 2020 IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC). 2020. pp. 1-7.
5. Farooq H.M. and Otaibi N.M. "Optimal Machine Learning Algorithms for Cyber Threat Detection," 2018 UKSim-AMSS 20th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim). 2018. pp. 32-37.

Кличук Илья Олегович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы № W3405,

направление подготовки: 16.03.03 – Холодильная, криогенная

техника и системы жизнеобеспечения,

e-mail: klichukilya@gmail.com

Зайцев Андрей Викторович

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

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

e-mail: avzaitsev@itmo.ru

УДК 538.941

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕФРИЖЕРАТОРА РАСТВОРЕНИЯ В СИСТЕМЕ
ОХЛАЖДЕНИЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА**

И.О. Кличук

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

Работа выполнена в рамках темы НИР №620149 «Усовершенствование ожижителя природного газа».

Аннотация

В работе рассмотрена низкотемпературная часть квантового компьютера, представляющая собой рефрижератор растворения. Приведен расчёт режимов работы, подробное описание установки, а также предложения по оптимизации общей энергоэффективности.

Ключевые слова

Квантовые вычисления, квантовый компьютер, рефрижератор растворения, охлаждение твердотельного квантового компьютера.

Полупроводниковая микроэлектроника подходит к своему физическому пределу, и производители интегральных схем идут на разного рода компромиссы и ухищрения для увеличения вычислительной мощности процессоров. Новой веткой в вычислительных технологиях являются квантовые компьютеры – вычислительные машины, в основе которых лежат кубиты, от способа реализации которых зависит принцип вычислений. Кубиты на основе SQUID обладают наибольшим соотношением точности вычислений к их количеству. С другой стороны, такой вид кубитов обладает ограничением в виде сверхнизких температур [1-4].

Низкотемпературным решением выступает рефрижератор растворения ^3He в ^4He непрерывного цикла. Данная установка обладает наибольшей холодопроизводительностью на данном температурном уровне и неограниченной продолжительностью работы, что позволяет проводить вычисления необходимо долгий период времени.

На рис. 1 представлена низкотемпературная часть установки квантового компьютера. Центральным элементом в ней является рефрижератор растворения, вокруг которого располагаются коаксиальные кабели, подводимые к квантовому

процессору, усилители сигнала, аттенюаторы. В самом низу располагается камера растворения, к которой присоединён квантовый процессор.

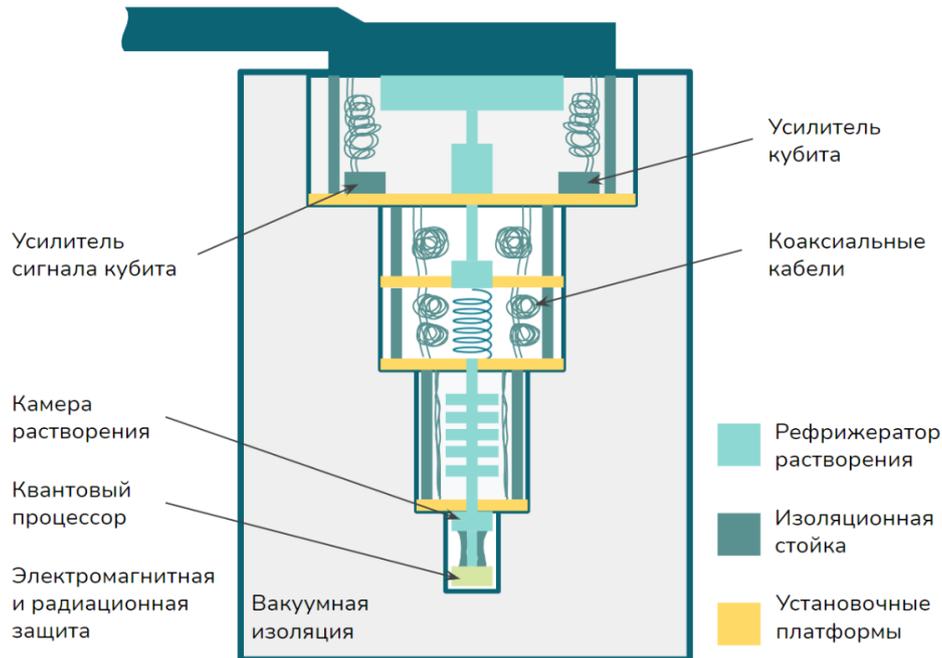


Рис. 1. Внутреннее устройство квантового компьютера

Главным холодопроизводящим элементом рефрижератора растворения (рис. 2) служит камера растворения, где происходит переход атомов ^3He из насыщенной фазы в менее насыщенную. Регулирование осуществляется в камере испарения, где можно задаться подводимой теплотой, меняя интенсивность испарения ^3He . Дальнейшая циркуляция гелия осуществляется роторным или диффузионным насосом за пределами установки.

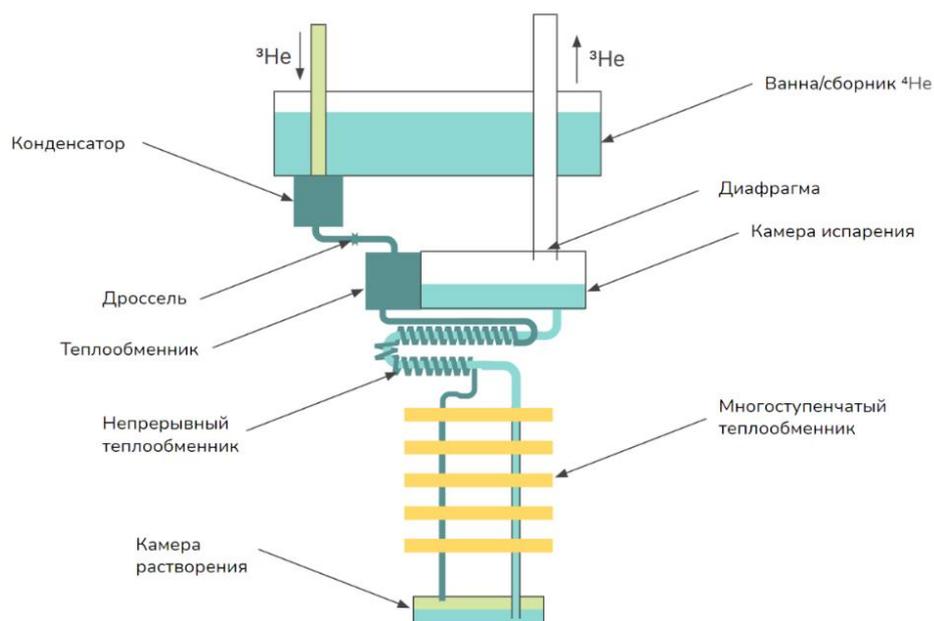


Рис. 2. Основные узлы рефрижератора растворения

На входе газообразный ^3He поступает на ожижение в конденсатор, предварительно отдавая тепло ванне с ^4He . Процесс также регулируется установленным после конденсатора дросселем. Далее ^3He проходит ряд теплообменников и попадает в камеру растворения. Трубка на входе установлена так, что в рабочем режиме ^3He сразу попадает в насыщенную фазу. В то время, как в камере испарения ^3He в виде паров покидает разбавленную фазу, находящиеся в камере растворения атомы ^3He преодолевают границу раздела фаз для поддержания равновесной концентрации разбавленной фазы, отбирая при этом теплоту из окружающей среды, а в случае применения в квантовом компьютере, от квантового процессора. Данный процесс осуществим ввиду конечной растворимости ^3He в ^4He . Минимальная равновесная концентрация составляет 6,4%. Движение гелия в верх по колонне до испарителя при этом осуществляется под действием осмотического давления (рис. 3).

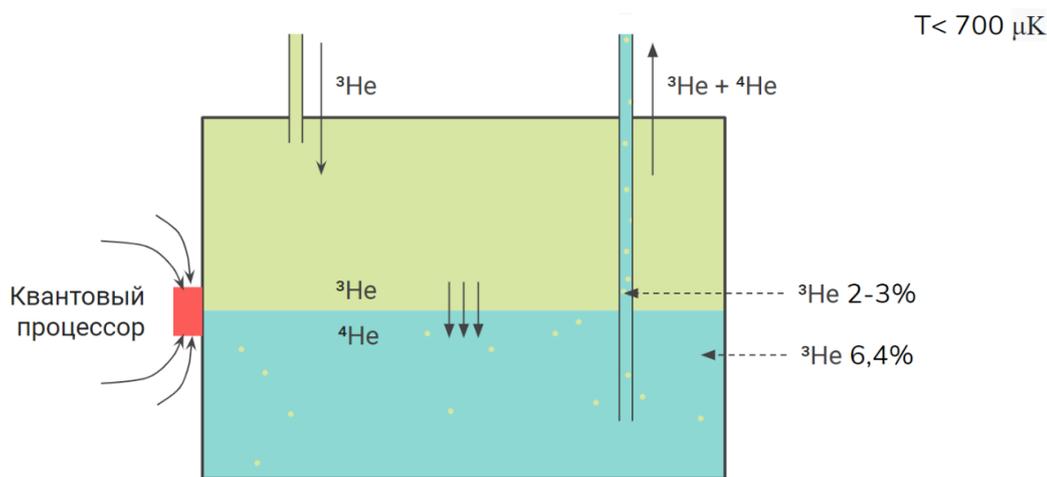


Рис. 3. Камера растворения

Холодопроизводительность процесса растворения, с учётом попадания сверхтекучей плёнки ^4He в концентрированную фазу:

$$\dot{Q}_M = x \dot{n} h_{3D}(T_M) - \frac{x_D(1-x)}{1-x_D} \dot{n} h_{3D}(T_N) - \frac{x-x_D}{1-x_D} \dot{n} h_3(T_N) \quad (1)$$

Вторым холодопроизводящим элементом рефрижератора растворения является камера испарения. Так как испарение ^3He затрачивает достаточно много энергии, данную холодопроизводительность (формула 2) можно использовать для охлаждения сопутствующей аппаратуры квантового компьютера: усилители, коаксиальные кабели, аттенюаторы.

$$\dot{Q}_S + \dot{n}_3 [h_3(T_B) - h_3(T_S)] = \dot{n}_3 L_{3D}(T_S, x_{DS}). \quad (2)$$

Камеру испарения можно назвать локальным криостатом на откачке паров ^3He . В сравнении (рис. 4) с рефрижератором растворения, такой криостат обладает гораздо большей холодопроизводительностью при температурах выше 0,4К, однако имеется ограничение в виде минимально достижимой температуры. Дальнейшее понижение температуры делает дальнейшую откачку невозможной ввиду увеличения упругости паров ^3He . Для рефрижератора растворения минимальная температура составляет 2 мК.

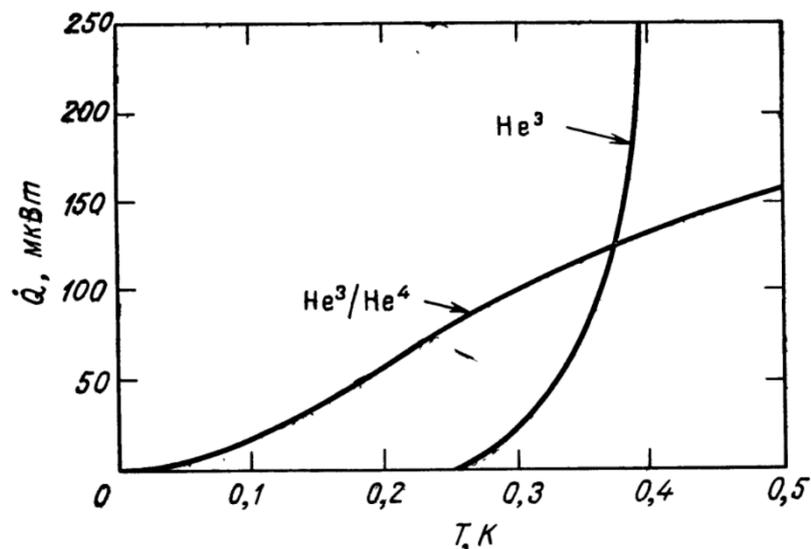


Рис. 4. Зависимости холодопроизводительности от температуры для криостата на откачке паров ^3He и рефрижератора растворения

В расчётной части была рассмотрена коммерческая установка компании Oxford Instruments под названием MX500, широко применяемая в квантовых компьютерах таких компаний, как Rigetti, D-Wave Systems, IBM.

В качестве рассматриваемых параметров выступала скорость циркуляции концентрированной фазы и введённый коэффициент качества теплообмена в теплообменниках.

Дальнейшие работы нацелены на решение проблем масштабирования, а также оптимизацию интегрированности обеих систем.

Литература

1. Lounasmaa O.V. Experimental Principles and methods below 1 K // 1977. 351 с
2. Krinner S., Storz S., Kurpiers P. et al. Engineering cryogenic setups for 100-qubit scale superconducting circuit systems // Научная статья. 2019. EPJ Quantum Technol. 6, 2.
3. Edwards D.O., Ebner C. The low temperature thermodynamic properties of superfluid solutions of ^3He in ^4He // Научная статья. 1970. Physics Reports 2. no.2. 77-154.
4. Есельсон Б.Н., Григорьев В.Н., Иванцов В.Г., Рудавский Э.Я., Саникидзе Д.Г., Сербин И.А. Растворы квантовых жидкостей ^3He – ^4He .

Кулин Никита Игоревич

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р3421,

направление подготовки: 09.03.04 – Нейротехнологии и программирование,

e-mail: kylin98@list.ru

Муравьев Сергей Борисович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

к.т.н., ассистент,

e-mail: smuravyov@itmo.ru

УДК 004.852

**СИСТЕМА ВЫБОРА И НАСТРОЙКИ АЛГОРИТМА
КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ
И МЕТОДОВ БАЙЕСОВСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Н.И. Кулин

Научный руководитель – к.т.н., ассистент С.Б. Муравьев

Аннотация

В данной работе предлагается новый метод работы, основанный на Auto-sklearn 1.0 и на предложенном методе выбора мета-признаков. Основная идея заключается в использовании оптимального набора мета-функций, что может значительно ускорить поиск лучшего алгоритма машинного обучения. В результате были получены оптимистичные результаты, превосходящие и конкурирующие с оригинальными версиями Auto-sklearn.

Ключевые слова

AutoML, машинное обучение, мета-обучение, классификация, байесовская оптимизация.

Проблема выбора и настройки алгоритмов является одной из актуальных проблем в области машинного обучения. В сообществе аналитиков данных наиболее распространенными решениями являются эмпирический отбор и классические методы такие, как поиск в сетку и случайный поиск, которые в целом неэффективны с точки зрения качества и времени. Эта проблема особенно актуальна в промышленных отраслях, работающих с большими объемами данных, где поиск неоптимальных конфигураций приводит к производственным издержкам [1]. Это побуждает автоматизировать поиск оптимальных алгоритмов, чем и занимается автоматическое машинное обучение (AutoML). AutoML используется для поиска лучших алгоритмов в задачах машинного обучения. Данная проблема также известна как комбинированный отбор и оптимизация гиперпараметров (CASH). С появлением различных фреймворков AutoML процессы решения задач машинного обучения были оптимизированы с точки зрения времени и эффективности, поэтому поиск лучших конфигураций "модель-гиперпараметр" стал более объективным и разумным. В данной статье рассматривается фреймворк Auto-sklearn, использующий подход байесовской оптимизации и метод мета-обучения [2]. Для нашей работы и экспериментов были взяты наборы данных для задач классификации. Цель данной статьи - продемонстрировать улучшение, которое конкурирует в поиске эффективных конфигураций по сравнению с оригинальными

версиями, отражая проблему Auto-sklearn 1.0 [3-5].

Auto-sklearn

Auto-sklearn – это один из современных фреймворков для выбора алгоритмов и оптимизации гиперпараметров. Одна из его версий основана на байесовской оптимизации и мета-обучении. Фреймворк имеет большое количество примеров и хорошую документацию, он доступен для задач классификации и регрессии, содержит множество алгоритмов для обработки данных, кодирования категориальных параметров и обработки пропущенных значений. Рабочая структура Auto-sklearn 1.0 показана на рис. 1.

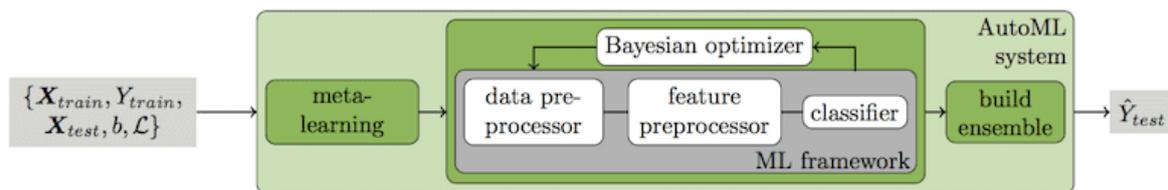


Рис. 1. Схема работы Auto-sklearn 1.0

Несмотря на хорошую производительность первой версии, разработчики фреймворка не были убеждены, что использование мета-обучения и SMAC дает лучшие и более быстрые результаты, поскольку некоторые мета-признаки неэффективны и сложны в вычислении. Поэтому была разработана новая версия, не использующая мета-обучение - Auto-sklearn 2.0. Вместо мета-признаков она имеет уникальный портфель лучших конфигураций в начале поиска. По результатам сравнения первой и второй версии Auto-sklearn 2.0 справился лучше по мере качества.

Однако нет подробной информации и исследований о том, какие мета-функции, по мнению разработчиков, являются проблемными. Этот факт побудил исследовать проблему. В итоге было обнаружено несколько проблем: во-первых, существуют сильно коррелированные и анти-коррелированные мета-признаки. Во-вторых, существуют мета-признаки с их логарифмическими аналогами. Эти мета-признаки приводят к ненужным вычислениям и излишнему расширению мета-базы. Мы выдвинули следующую гипотезу - набор мета-признаков в Auto-sklearn 1.0 не является оптимальным, поэтому фреймворк может не достичь лучшего решения за определенное время. Поэтому это может быть причиной того, что Auto-sklearn 2.0 преуспел в эксперименте, поставленном разработчиками, что сделало первую версию неконкурентоспособной. Первым предположением было найти набор мета-признаков, который позволяет достичь лучших результатов в отношении времени и качества. Для решения этой задачи надо найти оптимальное подмножество мета-признаков, которое работает лучше, чем исходный набор.

В эксперименте рассматривались различные подмножества мета-признаков, взятые из основного набора Auto-sklearn 1.0. Полный перебор комбинаций из 40 мета-признаков требует много времени и ресурсов. Поэтому мета-признаки были выбраны эмпирическим путем. Для эксперимента было выбрано девять различных наборов из них 5 были успешными. На рис. 2 показаны следующие результаты: предложенные наборы превосходят Auto-sklearn 1.0.

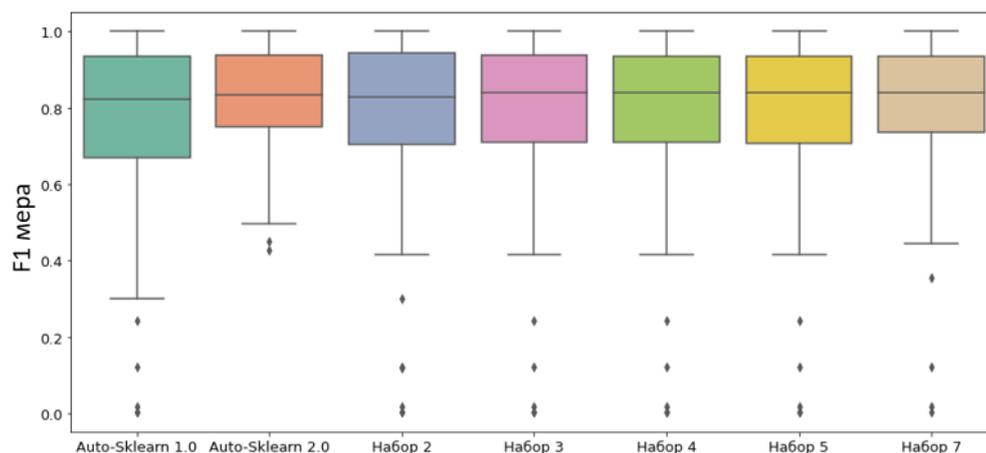


Рис. 2. Результаты предварительного эксперимента

В табл. 1 статистические тесты показали, что набор 7 значительно лучше первой версии, следовательно, это подтверждает гипотезу о том, что исходный набор Auto-sklearn 1.0 не является оптимальным. Также наборы работают быстрее, чем оригинальные версии. К сожалению, эти подмножества не превзошли Auto-sklearn 2.0.

Таблица 1

Результаты статистического теста предварительного эксперимента

Н ₀ : Нулевая гипотеза	Н ₁ : Альтернатива	T-статистика Уилкоксона	P-value
$F(2) = F(1.0)$	$F(2) > F(1.0)$	371.5	0.177
$F(3) = F(1.0)$	$F(3) > F(1.0)$	475.0	0.282
$F(4) = F(1.0)$	$F(4) > F(1.0)$	591.0	0.131
$F(5) = F(1.0)$	$F(5) > F(1.0)$	374.0	0.685
$F(7) = F(1.0)$	$F(7) > F(1.0)$	1148.0	0.043

В связи с предыдущим экспериментом была предложена следующая идея - добавить новые мета-признаки, которые не использовались ранее в Auto-sklearn 1.0. Для этого использовалась библиотека Rumfe, которая помогла создать начальный набор из 225 мета-признаков. Чтобы уменьшить это количество, был предложен новый метод отбора.

Вначале наборы данных разделяются на несколько кластеров или групп, руководствуясь несколькими критериями: во-первых, одна группа должна состоять как минимум из 25 наборов данных – это минимальное количество начальных конфигураций, во-вторых, разделение должно иметь максимальную меру силуэта. В общей сложности мы получили три группы. Затем метки групп были использованы в качестве целевых таргетов для модели случайного леса. Данная модель имеет функцию подсчета меры важности, которая определяет влияние признаков. Мы собрали мета-признаки, которые имеют хотя бы 1 процент важности. В итоге мы получили 28 мета-признаков, что меньше, чем в оригинальной версии Auto-sklearn 1.0. Это улучшение получило название Auto-sklearn 1.2.

Мы провели следующий эксперимент, в котором сравнили Auto-sklearn 1.0, 2.0 и нашу версию 1.2. Мы получили следующие результаты - новое улучшение работает лучше, чем Auto-sklearn 1.0 и конкурирует с Auto-sklearn 2.0, который не был достигнут предыдущими наборами. Также Auto-sklearn 1.2 быстрее по времени, чем оригинальные версии. Подробно результаты показаны в табл. 2 и рис. 3.

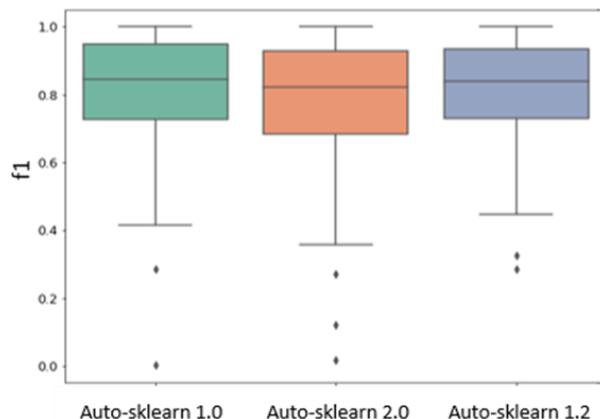


Рис. 3. Сравнение Auto-sklearn 2.0 с оригинальными версиями по F1-мере

Таблица 2

Результаты статистического теста предварительного эксперимента

Н ₀ : Нулевая гипотеза	Н ₁ : Альтернатива	Т-статистика Уилкоксона	P-value
$F(x_{1,2}) = F(x_{1,0})$	$F(x_{1,2}) > F(x_{1,0})$	585	0.047
$F(x_{1,2}) = F(x_{2,0})$	$F(x_{1,2}) > F(x_{2,0})$	1177	0.572
$F(x_{2,0}) = F(x_{1,0})$	$F(x_{2,0}) > F(x_{1,0})$	1335	0.071

В данной работе предлагается система, основанная на Auto-sklearn и на новом методе выбора мета-признаков. Результаты экспериментов показали превосходство и конкурентоспособность по сравнению с оригинальными версиями Auto-sklearn. В планах на будущее - превзойти Auto-sklearn 2.0 с точки зрения качества с помощью статистических тестов. Мы также показали важность отбора мета-признаков при поиске оптимальных алгоритмов.

Литература

1. Ebadi A. et al. How can automated machine learning help business data science teams? //2019 18th IEEE International Conference On Machine Learning And Applications (ICMLA). IEEE. 2019. С. 1186-1191.
2. Feurer M., Springenberg J., Hutter F. Initializing bayesian hyperparameter optimization via meta-learning //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2015. Т. 29. №. 1.
3. Feurer M. et al. Auto-sklearn: efficient and robust automated machine learning //Automated Machine Learning. Springer. Cham, 2019. С. 113-134.
4. Feurer M. et al. Auto-sklearn 2.0: The next generation //arXiv preprint arXiv:2007.04074.
5. Alcobaça E. et al. MFE: Towards reproducible meta-feature extraction //Journal of Machine Learning Research. 2020. Т. 21. №. 111. С. 1-5.

Ляховенко Юлия Александровна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N3449,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: lyakhovenko.kam@gmail.com

Виксин Илья Игоревич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: wixnin@mail.ru

УДК 004.942

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ СМАРТ-КОНТРАКТОВ**

Ю.А. Ляховенко

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.И. Виксин

Аннотация

В работе рассмотрено применение технологии смарт-контрактов в организации функционирования группы беспилотных транспортных средств. Внедрение такого метода автоматизации принятия решений как смарт-контракты в информационное взаимодействие элементов группы БТС позволяет снизить негативное влияние от появлений в информационном канале сообщений с нарушением содержательной целостности. Интеграция технологий смарт-контрактов и блокчейна в систему БТС предполагает автоматизацию принятия решений и контроля исполнения. Прозрачность применения, неизменяемость, самоисполнимость исключает допуск к информации системы третьих лиц, изменение условий договора. Были сформированы метрики, позволяющие оценить эффективность разработанной модели.

Ключевые слова

Кибер-физические системы, беспилотные транспортные средства, смарт-контракты, мультиагентные системы, содержательная целостность.

Пусть группа БТС состоит из n элементов: $A = \{a_0, \dots, a_n\}$ и имеет групповую цель $g \in G$, где G - множество целей группы. Для достижения групповой цели g группа БТС должна перейти из состояния S в состояние S' , которое соответствует цели группы.

Для достижения состояния S' группа БТС A должна воспользоваться некоторым алгоритмом alg . При этом, чтобы группа БТС смогла достичь своей цели g , т.е. использовать алгоритм alg , элементы системы должны быть способны осуществлять информационное взаимодействие. Тогда алгоритм перехода группы БТС из состояния S в желаемое состояние S' выглядит следующим образом:

$$alg = fun(E, A, Mes),$$

где E – состояние окружающей группу БТС среду, A – группа БТС, Mes – множество единиц информационного взаимодействия элементов группы БТС.

Пусть Mes' – множество информационных сообщений, информация в которых представлена с нарушением содержательной целостности. То есть $mes' \in Mes'$ – является сообщением с нарушенной содержательной целостностью. Тогда алгоритм достижения групповой цели g будет выглядеть следующим образом:

$$alg' = fun(E, A, Mes').$$

Так как $Mes' \neq Mes$, можно говорить о том, что при передаче информационных сообщений с нарушением содержательной целостности информации составленный алгоритм alg' не позволяет достичь желаемого состояния $S'[1]$. Тогда группа БТС A теряет свою работоспособность из-за невозможности достижения цели g .

Введем метрики

$$exec_{freqts} = \frac{|task_{completed}|}{|task_{all}|},$$

$$exec_{freqpl} = \frac{|plan_{completed}|}{|plan_{all}|},$$

показывающие соотношение выполненных задач $task_{completed}$ к общему числу задач $task_{all}$ группы БТС для достижения групповой цели и соотношение выполненных планов $plan_{completed}$ ко всем предложенным индивидуальным планам БТС $plan_{all}$. Задача считается выполненной $task_{completed}$, если ее выполнение приблизило группу БТС A к групповой цели g .

В рамках работы рассматривается система, реализующая стратегию коллективного управления. Суть этой стратегии заключается в отсутствии в системе центрального устройства управления, а также она предполагает наличие канала обмена информации между объектами группы [2].

Рассмотрим группу БТС, состоящую из n элементов: $A = \{a_0, \dots, a_n\}$. С точки зрения информационного взаимодействия будем говорить о гомогенности такой системы и выделим базовые свойства связи, характерные для всей группы БТС: передача, получение, преобразование, хранение.

Каждое БТС системы состоит из двух частей: системы управления и работа, т.е.

$$a_i = a_i^{inf} \cup a_i^{phy},$$

где a_i^{inf} – система управления БТС, а a_i^{phy} – роботы БТС. При этом система управления a_i^{inf} выполняют функции, связанные с управлением БТС, а роботы a_i^{phy} выполняют функции, позволяющие выполнить разработанный системой управления план.

Также каждое БТС описывается следующим множеством:

$$a_i = \{status_i, location_i, R_i\},$$

где $status_i = 0$, если агент занят, 1 - если агент свободен; $location_i$ – координаты агента; R_i - множество ресурсов агента $R_i = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$.

Между агентами существует канал связи: $\forall a_i, a_j \in A: i \neq j$ осуществляют ИВ, тогда, $\exists L_{ij}$ - устойчивый канал связи между a_i и a_j . На рисунке приведена структура децентрализованной системы группового управления группой БТС A .

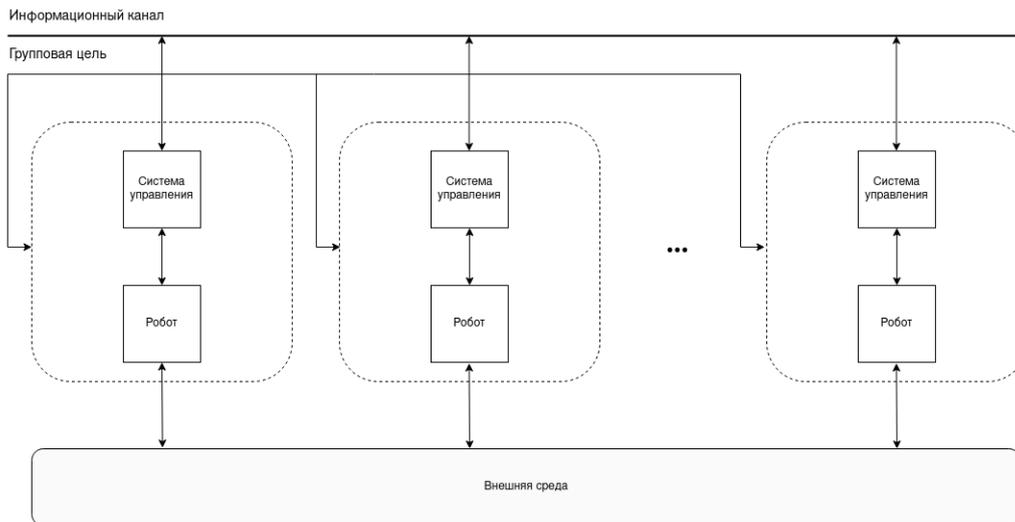


Рисунок. Распределенная система коллективного управления группой БТС

Каждый БТС может выполнять некоторые действия Act_{a_j} для достижения групповой цели. Действия БТС формируют множество действий: $Act_a = \{Act_{a_0}, \dots, Act_{a_l}\}$.

Каждая система управления a_i^{inf} отвечает за выбор действий Act_{a_i} роботов a_k^{phy} БТС a_i . Информация о действии Act_{a_i} , выбранным a_i^{inf} , сообщается всем остальным системам управления БТС группы a_j^{inf} ($j = \underline{1}, N, i \neq j$). На основании этой информации другие системы управления корректируют действия “своих” роботов для оптимизации достижения групповой цели.

Групповой целью БТС является выполнение некоторого плана $Plan_i$. Системы управления БТС группы преобразовывают этот план в некоторую функцию:

$$Plan_i = fun(A_i, Act_a, I, t_{en}).$$

Информация о нем поступает на Информационный канал L.

Из разработанного плана $Plan_i$ формируются индивидуальные планы для каждого БТС группы:

$$Plan_i = \{plan_0, \dots, plan_n\}.$$

$$plan_k = fun(a_k, Act_{a_k}, I, t_{en}).$$

Процесс выполнения каждого индивидуального плана разбит на несколько задач:

$$plan_k = \{ts_1, ts_2, \dots, ts_d\},$$

где $ts_j = fun(plan_i)$, $\sum ts_j = plan_i$. Это означает, что для выполнения всего плана должны быть выполнены все задачи.

В ходе достижения цели система управления БТС i отправляет информационное сообщение $inf_{i,j}^t$ роботу j БТС i , содержащее индивидуальный план, разбитый на задачи, обязательные к выполнению для БТС i в момент времени t . Множество информационных сообщений для всех роботов БТС i в момент времени t - Inf_i^t . Тогда,

Inf^t - множество всех сообщений от систем управления БТС группы всем роботам БТС группы в момент времени t :

$$Inf^t = \{Inf_0^t, \dots, Inf_{|A_{inf}|}^t\}.$$

Роботы БТС также отправляют информационные сообщения системам управления. Без знаний об окружающей среде, системы управления не могут провести оценку выполнения роботами поставленных задач, а также не могут составить оптимальным индивидуальный план. Для составления индивидуального плана и контроля его исполнением роботы должны отправлять системам управления следующие данные: информация с сенсоров робота, информация о выполнении плана, информация о состоянии ФУ: $status_i, location_i, R_i$, оставшееся время работы БТС t_{w_i} .

Пусть $phy_{i_j}^t$ - информационное сообщение от робота j БТС i системе управления БТС в момент времени t с информацией об окружающей среде, о выполнении плана и о состоянии БТС. Информация от всех роботов БТС i системам управления БТС есть множество $Phy_i^t = \{phy_{i_0}^t, \dots\}$. Тогда $Phy^t = \{Phy_0^t, \dots, Phy_{|A|}^t\}$.

Информационный канал группы БТС позволяет элементам группы обмениваться информацией о состоянии других БТС и знаниями об окружающей среде. Таким образом, группа БТС способна накапливать знания K , которые включают в себя информацию с сенсоров всех БТС группы, информацию о индивидуальных планах и процессе их выполнения и информацию о состоянии БТС:

$$K = \{K_{a_0}, \dots, K_{a_n}\},$$

где $K_{a_i} = \{k_{a_0}, \dots, k_{a_i}\}$ – знания, накопленные БТС i в ходе получения данных с сенсоров, а также информационного взаимодействия с другими БТС.

В ходе составления оптимального плана достижения цели каждое БТС решает задачу поиска решения максимального выполнения задач, поставленным перед группой БТС. Так любое БТС группы может оценить ресурсозатратность выполнения поставленных задач:

$$\underline{cost}_a = (cost_a(ts_0), \dots, cost_a(ts_s)),$$

где $cost_a(ts_j)$ – функция оценки затрачиваемых на выполнения задачи ts_j ресурсов БТС a определяется как $cost_a(ts_j)$.

В начальный момент времени t_0 группа БТС A начинает разработку группового плана $Plan_i$, состоящего из индивидуальных планов БТС $plan_k$. После этого по каналу связи происходит информационное взаимодействие систем управления всех БТС группы, во время которого происходит обмен K_{a_i} . Далее системы управления БТС дорабатывают свои индивидуальные планы и разбивают их на задачи.

В следующий момент времени системы управления БТС начинают информационное взаимодействие с роботами: отправляют тем информационные сообщения Inf_i^t роботам.

После обработки роботом j БТС i сообщения $inf_{i_j}^t$ робот приступает к выполнению поставленных задач БТС. В следующий и каждый последующий момент времени робот j БТС i отправляет информационное сообщение $phy_{i_j}^t$, пока не будет выполнен план. В это время система управления БТС обрабатывает полученные от робота знания K и отправляет их на канал связи для распространения другим БТС группы.

После выполнения индивидуального плана информация о проделанной БТС работе отправляется на информационный канал, где проверяется другими БТС группы.

Для модели функционирования группы БТС были выделены два типа смарт-контрактов: первый тип устанавливает отношения между БТС и остальными БТС группы при исполнении им индивидуального плана, второй тип организует взаимодействие систем управления и роботов БТС.

После разработки группой БТС плана $Plan_i$, как было сказано выше, он разбивается на индивидуальные планы для каждого БТС.

БТС группы a_k получает на выполнение индивидуальный план $plan_k$.

При получении такого плана между БТС a_k и остальными БТС группы составляется смарт-контракт:

$$Contract_i = fun(Car, plan_k, t_{en}),$$

где t_{en} – время, поставленное группой БТС на выполнение плана, т.е. максимально возможное время, Car – функция, определяющая доступный у БТС функционал и ресурсы:

$$Car = fun(a_k, Act_{a_k}, R_{a_k}, K_{a_k}, t_{wk}, status_k).$$

При этом нужно выделить некоторые условия выполнения смарт-контракта:

- $if\ cost_{a_k}(plan_k) > R_{a_k}: Contract_i = False;$
- $status_k = 0: Contract_i = False;$
- $if\ t_{wk} < t_{en}: Contract_i = False;$
- $K_{a_k} \in Car \geq K_{en} \in plan_k.$

Информация о составленном между БТС a_k и остальной группой БТС смарт-контракте отправляется в базу накопленных знаний группы БТС K , при этом

$$K(Contract_i) = K(Contract_i) * K(Contract_{i-1}),$$

т.е. знания о составленных контрактах образуют цепочку блоков, связанных друг с другом, т.е. начиная с первого блока, в хронологическом порядке добавляются последующие.

После получения индивидуального плана $plan_k$ система управления a_k^{inf} разбивает его на задачи:

$$plan_k = \{ts_1, ts_2, \dots, ts_d\}.$$

Для каждой задачи ts_j определена ее ресурсозатратность $cost_{a_k}(ts_j)$, максимально допустимое время на выполнение задачи t_{en} , а также требуемый функционал.

В следующий момент времени система управления БТС начинает информационное взаимодействие с роботами БТС, а именно отправляют тем информационные сообщения Inf_i^t роботам. В это же время между системой управления и каждым роботом составляется смарт-контракт на выполнение задачи ts_j :

$$contract_j = fun(a_{k_n}^{phy}, Act_{a_k}, R_{a_k}, t_{wk_n}, status_{a_k}, ts_j, t_{en}),$$

где a_{kn}^{phy} – n -ное робот БТС a_k , а t_{wkn} – оставшееся время работы этого робота. Также для каждого смарт-контракта между системой управления и роботами БТС должны быть определены условия выполнения:

- $if\ cost_{a_k}(ts_j) > R_{a_k}: contract_i = False;$
- $status_k = 0: contract_i = False;$
- $if\ Act_{en} > Act_{a_k}: contract_i = False;$
- $t_{wkn} > t_{en}.$

Информация о составленном между системой управления и роботом БТС смарт-контракте отправляется в базу накопленных знаний БТС a_k K_{a_i} . После информационного взаимодействия с другими БТС по информационному каналу информация о составленном смарт-контракте отправляется в базу знаний группы БТС K . При этом

$$K(contract_j) = K(contract_j) * K(contract_{j-1}),$$

т.е. знания о составленных контрактах также образуют хронологическую цепочку блоков, связанных друг с другом.

Разработка симулятора проводилась с использованием средств языка программирования Python 3.8.

Проведение оценки эффективности разработанной модели проводилось в два этапа: функционирование группы БТС без использования смарт-контрактов и функционирование группы БТС на основе смарт-контрактов. Считается, что механизмы, отвечающие за другие свойства циркулирующей в группе БТС информации работают корректно.

В таблице представлены значения метрик для каждого из протестированных методов.

Таблица

Значение метрик для модели взаимодействия без использования смарт-контрактов и для разработанного метода

Метод	Модель взаимодействия без использования смарт-контрактов	Разработанный метод
$exec_{freqts}$	0,67	0,93
$exec_{freqpl}$	0,68	0,84

Внедрение такого метода автоматизации принятия решений как смарт-контракты в информационное взаимодействие элементов группы БТС позволяет снизить негативное влияние от появлений в информационном канале сообщений с нарушением содержательной целостности. Интеграция технологий смарт-контрактов и блокчейна в систему БТС предполагает автоматизацию принятия решений и контроля исполнения. Прозрачность применения, неизменяемость, самоисполнимость исключает допуск к информации системы третьих лиц, изменение условий договора. Были сформированы метрики, позволяющие оценить эффективность разработанной модели.

Анализ результатов показал повышение эффективности работы группы БТС на 21%.

Перспективами для дальнейших исследований является совершенствование предложенного метода: добавление проверочных метрик для смарт-контрактов,

перевод времени из дискретного в непрерывное. В дальнейшем планируется подготовка предложенного метода для проведения экспериментов в реальных условиях.

Литература

1. Виксин И.И. Модели и методы обнаружения нарушений целостности информации в группах беспилотных транспортных средств: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.13.19 /Виксин Илья Игоревич. СПб. 2018. 207 с.
2. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: Физмалит 2009. 280 с.

Седов Денис Денисович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

физический факультет,

студент группы №Z3443,

направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика,

e-mail: denis.sedov@metalab.ifmo.ru

Иорш Иван Владимирович

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

физический факультет,

д.ф.-м.н., г.н.с.,

e-mail: i.iorsh@metalab.ifmo.ru

УДК 53.043

**КВАНТОВЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ
В ОПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

Д.Д. Седов

Научный руководитель – д.ф.-м.н., г.н.с. И.В. Иорш

Аннотация

В работе была рассмотрена оптомеханическая система, состоящая из массива колеблющихся кубитов, помещённых в оптические параболические ловушки в окрестности кирального электромагнитного волновода. Мы продемонстрировали, что рассматриваемая система соответствует обобщённой квантовой модели Раби, в которой наблюдается квантовый фазовый переход, сопровождаемый нарушением циклической симметрии и самоорганизацией атомного движения. Мы также показали, что в режиме ультрасильной связи в системе естественным образом возникают многокомпонентные состояния кота Шрёдингера, которые могут быть использованы для устойчивых к ошибкам квантовых вычислений.

Ключевые слова

Волноводная квантовая оптомеханика, режим ультрасильной связи, квантовый фазовый переход, циклическая симметрия.

Объект изучения работы тесным образом связан с одной из областей многочастичной квантовой оптики, в настоящее время привлекающей внимание теоретиков и экспериментаторов, – волноводной квантовой электродинамикой (ВКЭД) [1]. Она изучает одномерные массивы настоящих и искусственных атомов, связанных с общим протяжённым фотонным резервуаром. Развитию этой области способствовало появление разнообразных платформ, позволяющих реализовать подобный тип систем, включая сверхпроводящие кубиты, холодные атомы и полупроводниковые квантовые точки. Ключевой особенностью волноводных квантовых оптических систем являются возникающие в них дальнедействующие корреляции между кубитами, которые обмениваются распространяющимися по волноводу фотонами. Недавно также были предложены системы, основанные на кольцевых топологических волноводах, сочетающие дальнедействующие межкубитовые корреляции и квазиэрмитовость. Эти системы могут быть особенно полезны для имитации сильно коррелированных квантовых моделей, поскольку последние обычно эрмитовы.

Фактором, ограничивающим разнообразие квантовых многочастичных эффектов, наблюдаемых в ВКЭД, является относительно небольшая по сравнению с частотами переходов связь отдельных кубитов с фотонными модами. Это обстоятельство оставляет исследователей в области слабого взаимодействия света с веществом. В то же время достижение режима ультрасильной связи [2] сделало бы реализуемыми множество интересных квантовых феноменов, например, невакуумные скоррелированные основные состояния; более того, этот режим имеет применения в квантовой памяти, квантовой метрологии, а также в области манипуляции квантовым светом.

Квантовые фазовые переходы уже долгое время являются объектом пристального внимания физики конденсированного состояния. Эти переходы, в отличие от классических, происходят при нулевой температуре при изменении некоторого нетемпературного параметра. Экспериментально и теоретически было подтверждено, что они помогают объяснить многие эффекты.

В этой работе показано, что учёт механических степеней свободы атомов в киральной ВКЭД системе открывает новые возможности для необычной реализации режима ультрасильной связи и приводит к возникновению квантового фазового перехода.

Рассмотрим следующую систему, изображённую на рис. 1: N кубитов, двухуровневых систем, помещены в оптические гармонические ловушки над киральным кольцевым электромагнитным волноводом. Каждый кубит может поглощать и излучать волноводный фотон, испытывая отдачу, излучение в дальнее поле предполагается подавленным.

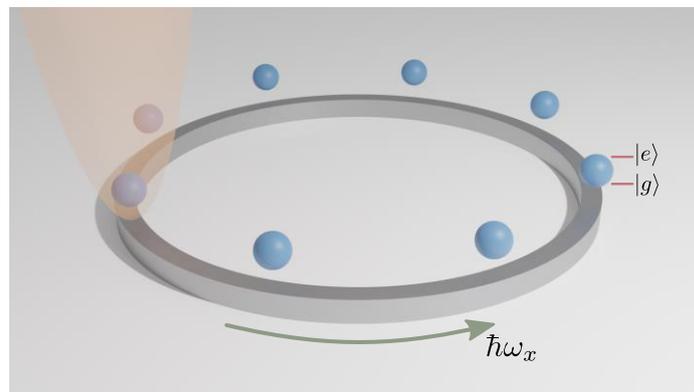


Рис. 1. Геометрия рассматриваемой системы: массив двухуровневых атомов, помещённых в окрестности кирального кольцевого волновода. Потенциал параболической ловушки показан как выделенный цветом участок для одного атома

Волноводные степени свободы в этой системе могут быть отделены с помощью преобразования Шриффера-Вольфа, которое приводит к эффективному гамильтониану, описывающему систему,

$$\hat{H}_{\text{eff}} = \sum_j \omega_x \hat{\sigma}_j^+ \hat{\sigma}_j + \sum_j \Omega \hat{a}_j^+ \hat{a}_j - \frac{\Gamma_0}{2} \sum_{k < j} \left[i \hat{\delta}_k^+ \hat{\sigma}_j e^{iqR\phi_{kj}} e^{i\eta(\hat{a}_k + \hat{a}_k^+ - \hat{a}_j - \hat{a}_j^+)} + \text{H. c.} \right],$$

где ω_x – резонансная частота кубита, Ω – частота колебаний кубитов, Γ_0 – эффективное обратное время жизни внутреннего возбуждения, равное g^2/v , g – величина взаимодействия волноводных мод с кубитами, v – скорость света в волноводе, η – константа оптомеханической связи (такое название будет оправдано далее),

определяемая отношением характерной амплитуды колебаний атомов к длине волны света с резонансной частотой кубита, $qR\phi_{kj}$ – фаза, которую приобретает фотон с резонансной частотой при движении между положениями равновесия атомов с номером j и k . $\hat{\sigma}_j^+, \hat{\sigma}_j^-$ – операторы, рождающие и уничтожающие возбуждения на j -ом кубите, \hat{a}_j^+, \hat{a}_j^- – фоновые операторы рождения и уничтожения колебаний j -ого кубита относительно его положения равновесия. Первое слагаемое в этом гамильтониане описывает энергию возбуждённых кубитов, второе ответственно за их колебательную энергию, а третье отвечает за перенос внутренних возбуждений с одного кубита на другой через волновод.

В работе мы показали, что этот эффективный гамильтониан в подпространстве с одним внутренним возбуждением в случае, когда атомы расположены эквидистантно относительно друг друга, $\phi_{i,i+1} = \phi$, с точностью до унитарного преобразования эквивалентен гамильтониану обобщённой квантовой модели Раби, описывающей взаимодействие $(N - 1)$ -ой бозонной моды с N -уровневой системы. Также мы получили, что для произвольного числа кубитов в системе есть циклическая симметрия порядка N .

Для $N = 2$ система оказалась эквивалентна стандартной квантовой модели Раби [3], которая описывает двухуровневую систему, помещённую в резонатор и взаимодействующую с одной модой электромагнитного поля оного. Поскольку эта модель хорошо изучена, в работе мы подробнее остановились на анализе системы с тремя кубитами, которая в матричном представлении для внутренних степеней свободы описывается следующим гамильтонианом

$$\hat{H}_{\text{eff}} = \Omega \hat{a}_{\text{cms}}^+ \hat{a}_{\text{cms}} + \Omega \left(\hat{a}_x^+ \hat{a}_x + \hat{a}_y^+ \hat{a}_y + \frac{2\eta^2}{3} \right) + \frac{\Omega\eta}{\sqrt{3}} \hat{p}_x \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} + i \frac{\Omega\eta}{\sqrt{3}} \hat{p}_y \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} - \frac{\sqrt{3}\Gamma_0}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где $\hat{a}_x = (2\hat{a}_3 - \hat{a}_1 - \hat{a}_2)/\sqrt{6}$, $\hat{a}_y = (\hat{a}_1 - \hat{a}_2)$, $\hat{p}_{x,y} = i(\hat{a}_{x,y}^+ - a_{x,y})/\sqrt{2}$, колебательная мода, связанная с движением центра масс, $\hat{a}_{\text{cms}} = (\hat{a}_1 + \hat{a}_2 + \hat{a}_3 + i\eta)/\sqrt{3}$ отщепляется, поэтому её в дальнейшем рассмотрении можно не учитывать.

Видно, что отношение величины взаимодействия колебательных мод с внутренними степенями свободы к частоте колебаний атомов определяется параметром η – величиной оптомеханической связи. Интересно, что область $\eta \sim 1$ экспериментально достижима, а значит, режим ультрасильной связи в подобной системе действительно можно считать релевантным.

Дополнительно отметим, что оператор \hat{R} , образующий циклическую группу Z_3 симметрии этого гамильтониана, равен

$$\hat{R} = e^{2\pi i \hat{L}_z / 3}, \quad \hat{L}_z = \hat{x} \hat{p}_y - \hat{y} \hat{p}_x, \quad \Lambda_{kl} = \delta_{kl} e^{2\pi i (l-1)/3}.$$

Анализ зависимости спектра полученного гамильтониана мы начали с классического описания энергии основного состояния. Классический предел, в сущности, является приближением среднего поля, заключающийся в замене бозонных полей на их средние значения:

$$\hat{a}_x \rightarrow \alpha_x = ip_x/\sqrt{2}, \quad \hat{a}_y \rightarrow \alpha_y = ip_y/\sqrt{2}.$$

Средние значения фоновых полей взяты комплексными, поскольку вещественная часть в данном случае влияет лишь на общий положительный сдвиг энергии.

В этом приближении найдя наименьшее собственное число матрицы гамильтониана, – обозначим его за $\epsilon_G(p_x, p_y)$ – а затем минимизировав его относительно переменных p_x, p_y , можно найти энергию основного состояния ϵ_G в классическом пределе. Мы продемонстрировали, что минимум функции $\epsilon_G(p_x, p_y)$ в полярных координатах достигается при $\cos 3\varphi = -1$, и при фиксированном значении Γ_0/Ω функция $\epsilon_G(p)$, зависящая уже лишь от длины импульса $p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$, имеет разное число минимумов в зависимости от величины оптомеханической связи. Либо у неё есть только один минимум в нуле, либо два минимума: в начале координат и в $p \neq 0$, либо только ненулевой минимум. Это означает, что в системе в классическом пределе есть квантовый фазовый переход, характеризующийся параметром порядка равно длине импульса. И поскольку существует область значений оптомеханической связи η , в которой есть минимумы и в $p = 0$, и в $p \neq 0$, то есть две фазы сосуществуют, это КФП первого рода.

Мы приводим две энергетические поверхности основного состояния $\epsilon_G(p_x, p_y)$ для $\Gamma_0/\Omega = 2.5$. На рис. 2 (а) представлена цветовая карта энергетической поверхности основного состояния при $\eta = 0.5$, в области значений оптомеханического взаимодействия до фазового перехода, на рис. 3 (b) проиллюстрирована аналогичная карта при $\eta = 2$. Три появляющихся ненулевых минимума (рис. 3 (b)) расположены на плоскости (p_x, p_y) в вершинах равностороннего треугольника, равноудалённых от начала координат, что является следствием наличия циклической группы симметрии третьего порядка в нашей системе.

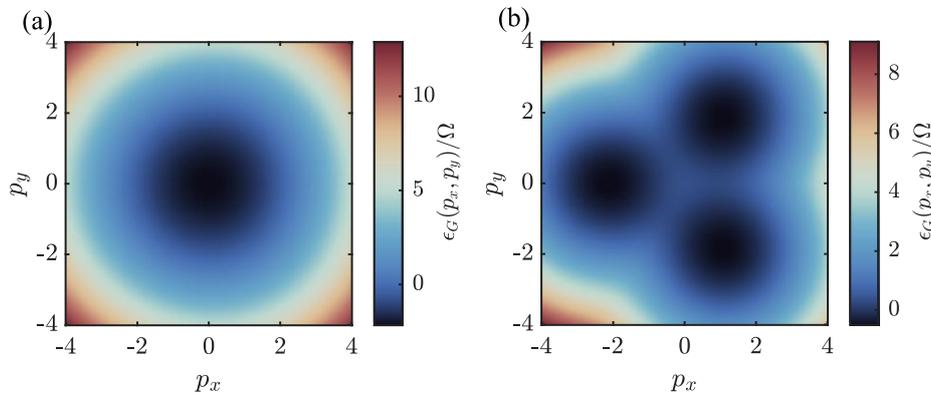


Рис. 2. Энергетические поверхности энергии основного состояния в классическом приближении для (a) $\eta = 0.5$ и (b) $\eta = 2$; $\Gamma_0/\Omega = 2.5$

Далее мы подробнее остановились на квазиклассическом описании в области значений η после КФП, наблюдаемого в классическом пределе. Трём минимумам на энергетической поверхности мы сопоставили квантовые состояния, являющиеся прямым произведением кубитного состояния и колебательных когерентных состояний

$$|l\rangle = A_l \otimes |\alpha_x = ip_c/\sqrt{2} \cos \varphi_l\rangle \otimes |\alpha_y = ip_c/\sqrt{2} \sin \varphi_l\rangle,$$

где $l = 0, 1, 2$, $\varphi_l = \pi + 2\pi l/3$, $\hat{a}_{x,y}|\alpha_{x,y}\rangle = \alpha_{x,y}$, p_c – длина импульса в точке минимума энергетической поверхности, A_l – собственные векторы матрица гамильтониана в рассмотренном ранее приближении среднего поля с $(p_x, p_y) = (p_c \cos \varphi_l, p_c \sin \varphi_l)$. Отметим, что эти состояния связаны друг с другом посредством оператора симметрии \hat{R} : $|1\rangle = \hat{R}|0\rangle, |2\rangle = \hat{R}|1\rangle$.

Чтобы найти энергии основного и двух возбуждённых состояний в линейной оболочке состояний $|l\rangle$, можно решить обобщённую задачу на поиск собственных значений и собственных состояний гамильтониана. Однако эти состояния можно сконструировать, воспользовавшись симметрией задачи. Согласно теореме Вигнера, собственные состояния гамильтониана преобразуются по неприводимым представлениям, входящим в состав приводимого представления группы симметрии задачи, при этом кратность вырождения равна размерностям неприводимых представлений. Поскольку все неприводимые представления циклической группы одномерны, для нахождения квазиклассических аппроксимаций достаточно составить линейные комбинации $|l\rangle$, являющиеся собственными состояниями оператора \hat{R}

$$|\Psi_m\rangle = \sum_{k=0}^2 e^{2\pi i k m} \hat{R}^k |0\rangle, \quad m = 0, 1, 2. \quad (1)$$

На рис. 3 приведено сравнение энергий первых трёх состояний, полученных путём численной диагонализации и с помощью квазиклассического приближения. Видно, что квазиклассическое описание для основного и двух возбуждённых состояний, а также использованный анзац (1) начинают хорошо аппроксимировать квантовый результат в области ультрасильной оптомеханической связи $\eta > 1$, в которой характерное число колебательных возбуждений становится большим.

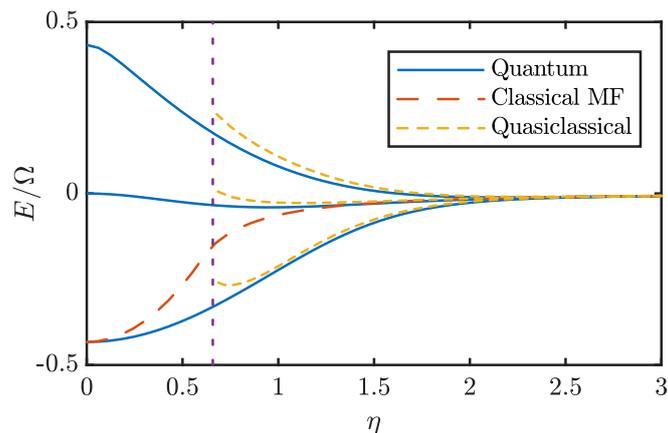


Рис. 3. Сравнение результатов: Quantum – зависимость энергий, полученных в результате численной диагонализации с усечёнными фоновыми подпространствами; Classical MF – энергия основного состояния в классическом пределе; Quasiclassical – энергии первых трёх состояний, найденные квазиклассически; дополнительно вертикальной штрихованной линией показана величина критического значения оптомеханической связи, при котором происходит КФП в классическом пределе

Три состояния (1) являются аналогом треугольных состояний кота Шрёдингера. Несмотря на то, что такие состояния обычно считаются чрезвычайно хрупкими по отношению к декогеренции, недавно было обнаружено, что такие двухкомпонентные состояния, появляющиеся в режиме ультрасильной связи в стандартной квантовой модели Раби, устойчивы к декогеренции и могут быть использованы для реализации квантовых вентилях высокой точности [4]. Таким образом, состояния (1), как трёхкомпонентные обобщения состояний кота Шрёдингера, появляющиеся в режиме ультрасильной оптомеханической связи, вероятно, будут достаточно стабильны и, как следствие, могут быть использованы для квантовых вычислений.

Ранее мы показали, что в системе с тремя кубитами в классическом пределе происходит КФП. В теоретических работах было продемонстрировано, что в

стандартной квантовой модели Раби классический предел, в котором наблюдается КФП второго рода, можно рассматривать как термодинамический предел, при котором $\Omega/\Gamma_0 \rightarrow 0$, – этот предел иногда называют пределом классического осциллятора [5]. Поскольку в нашем случае константа взаимодействия бозонных мод с внутренними степенями свободы зависит от фоновой частоты, для изучения этого предела полезно переопределить энергетические константы следующим образом: $\eta\Omega = \eta'$ положим независимой переменной, а также переопределим $\Gamma_0 = \xi\omega$, $\Omega = \omega/\xi$. Тогда изучаемый предел достигается при $\xi \rightarrow \infty$.

На рис. 4 представлена зависимость производной энергии основного состояния от η'/ω при разных ξ . Видно, что с увеличением ξ зависимость, полученная путём численной диагонализации эффективного гамильтониана с усечением фоновых пространств, стремится к аналогичной зависимости классического предела. В окрестности некоторого критического значения η'_c при возрастании ξ производная становится всё более и более крутой, так что при $\xi \rightarrow \infty$ следует ожидать появления разрыва в $\partial\epsilon_G/\partial\eta'$, что является индикатором квантового фазового перехода первого рода.

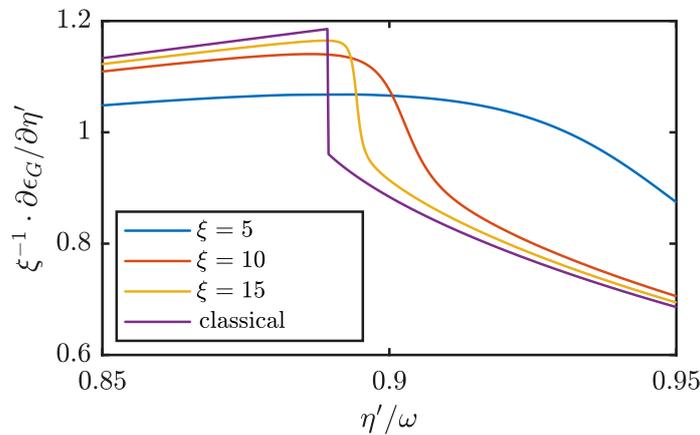


Рис. 4. Зависимость нормированной производной энергии основного состояния $\xi^{-1} \cdot \partial\epsilon_G/\partial\eta'$, полученной в результате численной диагонализации гамильтониана с усечёнными фоновыми пространствами, от η'/ω для различных значений параметра ξ . На рисунке также для сравнения приведена аналогичная зависимость для классического предела

Отметим, что мы дополнительно изучили, как с увеличением ξ изменяются средние значения квадратов импульсов атомов и корреляторы $\langle \hat{p}_i \hat{p}_j \rangle$, \hat{p}_i – оператор импульса i -ого атома. Оказалось, что в пределе $\xi \rightarrow \infty$ эти величины испытывает скачок в точке η'_c , соответствующей КФП, следовательно, КФП сопровождается самоорганизацией атомного движения.

В работе также было рассмотрено приближение среднего поля для нескольких значений $N > 3$; мы получили, что в этом приближении первая производная энергии основного состояния по силе оптомеханического взаимодействия терпит разрыв при некотором η . Этот факт позволяет предположить, что КФП, сопровождаемый нарушением симметрии, в классическом пределе является общим свойством рассматриваемой системы.

Таким образом, квантовый учёт механических степеней свободы в киральной системе ВКЭД открывает путь к наблюдению интересных квантовых эффектов, связанных с экспериментально достижимым ультрасильным оптомеханическим взаимодействием, а также с квантовыми фазовыми переходами, сопровождаемыми нарушением циклической симметрии и самоорганизацией атомного движения. Мы

показали, что в режиме ультрасильной связи основное состояние представляет из себя многокомпонентного кота Шрёдингера, который, вероятно, устойчив к декогеренции.

Литература

1. Colloquium: Quantum matter built from nanoscopic lattices of atoms and photons / D. E. Chang [и др.] // // Rev. Mod. Phys. 2018. Авг. Т.90. вып. 3. С. 031002. DOI: 10.1103/RevModPhys.90.031002.
2. Ultrastrong coupling between light and matter / A. F. Kockum [и др.] // Nature Reviews Physics. 2019. Янв. Т. 1, № 1. С. 19–40. DOI: 10. 1038/s4225401800062.
3. Rabi I. I. Space Quantization in a Gyating Magnetic Field // Phys. Rev. 1937. Апр. Т. 51. вып. 8. С. 652–654.
4. Nataf P., Ciuti C. Protected Quantum Computation with Multiple Resonators in Ultrastrong Coupling Circuit QED // Phys. Rev. Lett. 2011. Нояб. Т. 107, вып. 19. С. 190402.
5. Probing the dynamics of a superradiant quantum phase transition with a single trapped ion / R. Puebla [и др.] // Physical Review Letters. 2017. Т. 118, № 7. С. 073001.

Хлынов Руслан Дмитриевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В3405,

направление подготовки: 12.03.02 – Опотехника,

e-mail: super.ryslan3@yandex.ru, ruslan384ruslan3@gmail.com

Рыжова Виктория Александровна

Год рождения: 1966

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

к.т.н., доцент,

e-mail: victoria_ryz@mail.ru

УДК 681.784

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ГЕМАТОКРИТА

Р.Д. Хлынов

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

Аннотация

Статья посвящена разработке и исследованию оптико-электронной системы контроля уровня гематокрита крови на основе анализа поляризационных характеристик рассеянного под углом когерентного излучения от образца. Обосновывается выбор поляризационного метода для исследования форменных элементов крови через ногтевую пластинку. Для возможности его технической реализации рассматриваются принципы взаимодействия оптического излучения с биотканью, а также проводится физическое моделирование, по результатам которого предлагается поляризационная система для непрерывного контроля уровня гематокрита *in vivo*, состоящая из передающего блока и четырехканального приемного блока.

Ключевые слова

Уровень гематокрита, неинвазивное исследование крови, ногтевое ложе мизинца, спектральные коэффициенты, оптическое зондирование, поляризационная система, вектор Стокса.

Введение

В настоящее время современная медицинская диагностика ряда заболеваний основана на лабораторно-инструментальных инвазивных исследованиях микрофизических показателей крови человека таких как гематокрит, гемоглобин и количество форменных элементов (эритроцитов). Наиболее значимым из них является гематокрит, который дает представление о соотношении между эритроцитами и плазмой в общем объеме крови. Его мониторинг позволяет выявить соматические отклонения от нормы, свидетельствующие о наличии сердечно-сосудистых заболеваний у пациента, таких как: анемия, гемодилуция, эритремия, дегидратация.

Инвазивное исследование гематокрита обеспечивает высокую точность результатов исследования (погрешность 1%), но обладает рядом недостатков: длительная обработка и малая информативность результатов, невозможность автоматизации и непрерывного контроля, невозможность использования в

чрезвычайных ситуациях, во время операций, а также для своевременного и самостоятельного обнаружения доклинических форм сердечно-сосудистых заболеваний пациентами, с целью предотвращения развития тяжелых осложнений заболеваний артерий и вен и выявления таких заболеваний как инфаркт, инсульт на ранней стадии.

Поэтому перспективным направлением в медицинской сфере является разработка и внедрение оптико-электронных приборов и систем для измерения и мониторинга уровня гематокрита *in vivo*, что существенно расширит возможности неинвазивной глюкометрии. Использование общепринятых инвазивных методов в качестве калибровки систем на основе методов активной поляриметрии, основанных на регистрации изменения анизотропного состояния крови, позволит существенно повысить точность неинвазивного измерения уровня гематокрита крови. В связи с этим актуальным является развитие поляризационно-оптических методов исследования анизотропных свойств крови применительно к решению задачи контроля уровня гематокрита.

Выбор метода исследования

На основе исследования и сравнительного анализа неинвазивных методов мониторинга параметров крови было показано, что клиническое применение электронных методов, основанных на контроле электрической проводимости крови или параметров пульсовой волны, имеет ограничения, связанные с длительным процессом измерений, относительно высокими погрешностями, существенной зависимостью результата от индивидуальных особенностей кожи, возраста и пола пациента [1].

Результаты аналитического обзора оптико-электронных методов исследования крови подтвердили перспективность их использования для разработки на их основе систем контроля уровня гематокрита. Детальный анализ преимуществ и недостатков оптико-электронных методов контроля форменных элементов крови позволил отдать предпочтение поляризационным методам на основе визуализации результатов низкокогерентной интерферометрии.

Выбор метода обоснован достаточно полной качественной и количественной картиной распределения интенсивности света после взаимодействия с биотканью, что позволяет реализовать стратегию использования анизотропных свойств крови для ее диагностики. При этом отсутствие прямых аналогов отражает перспективность реализации нового способа контроля уровня гематокрита на основе активной поляриметрии с визуализацией распределений параметров рассеянного объектом излучения.

Теоретические вопросы

Исследуемая поляризационная система предназначена для мониторинга уровня гематокрита крови, которая представляет собой мутную анизотропную среду по отношению к распространяющемуся в ней оптическому излучению. Оптика цельной крови определяется свойствами эритроцитов и плазмы. При этом влиянием на распространение излучения остальных форменных элементов, учитывая их ничтожную концентрацию, можно пренебречь.

При изменении уровня гематокрита изменяются спектральные коэффициенты рассеяния (μ_s , приведенный μ'_s , фактор анизотропии рассеяния g) и поглощения (μ_a) цельной крови [1]. Рассеяние оптического излучения связано с изменением концентрации эритроцитов (основных центров рассеяния), поглощение – с изменением относительного объема плазмы.

При зондировании крови поляризованным светом можно определить распределение параметров вектора Стокса частично-поляризованного выходного

излучения. При этом поляризованная составляющая будет обусловлена поглощающими свойствами крови и будет характеризовать ее анизотропные свойства, а неполяризованная составляющая будет обусловлена рассеивающими свойствами крови, ведущими к деполаризации входного излучения. Таким образом, была выдвинута гипотеза о поляризационном контроле уровня гематокрита на основе определения соотношения между поглощенной и рассеянной составляющими излучения в крови.

Оптическое зондирование крови для контроля уровня гематокрита поляризационным методом *in vivo* целесообразно проводить, используя ногтевое ложе пальцев рук, которое предоставляет самый доступный и короткий путь к капиллярному кровотоку для оптических инструментов. С учетом существенных отличий в спектрах комбинационного рассеяния ногтей левого и правого мизинцев рук у пациентов, больных ишемической болезнью сердца или стенокардией [2], исследование уровня гематокрита поляризационным методом необходимо производить на ногтевом ложе мизинца левой руки человека.

В связи с тем, что непрерывное зондирование крови инфракрасным излучением приводит к ожогам и существенно влияет на структуру крови человека [3], спектр источника оптического излучения для контроля уровня гематокрита должен составлять 0,63–0,68 мкм. Таким образом, в качестве источников излучения можно использовать гелий-неоновые лазеры (He-Ne) или лазерные модули с максимумами спектральной плотности энергетической светимости, приходящимися на указанный диапазон длин волн.

Экспериментальное исследование

Для проверки гипотезы о возможности контроля уровня гематокрита поляризационным методом на основе анализа анизотропных свойств крови, было выполнено физическое моделирование системы и проведено предварительное экспериментальное исследование.

Целью эксперимента являлось измерение изменений параметров состояния поляризации излучения, рассеянного под углом исследуемым биообразцом, по сравнению с параметрами исходного, зондирующего объект излучения, на основе анализа пространственных распределений параметров вектора Стокса.

Экспериментальная установка (рис. 1) была сформирована по схеме Стокс-поляриметра на основе последовательного изменения параметров поляризационных элементов конечное число раз.

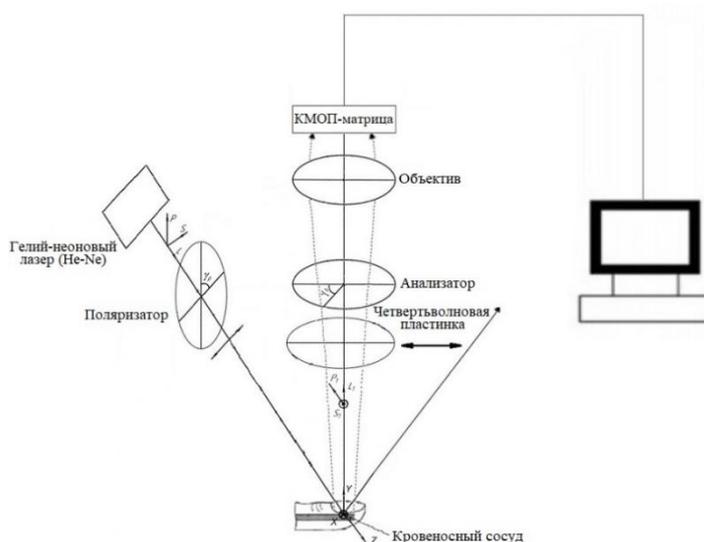


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Схема основана на анализе распределений интенсивностей рассеянного биообразцом излучения на матричном поле фотоприемного устройства при шести состояниях поляризационных фильтров приемного канала визуализации. Согласно методике измерения параметров вектора Стокса было записано шесть файлов I_{0° , I_{90° , I_{45° , I_{-45° , I_r , I_l , соответственно каждый из которых содержит информацию о распределении интенсивности излучения в плоскости изображения [4]. Расчет параметров вектора Стокса выполнялся по формуле [4]:

$$S = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{0^\circ} + I_{90^\circ} \\ I_{0^\circ} - I_{90^\circ} \\ I_{45^\circ} - I_{-45^\circ} \\ I_r - I_l \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Рассчитанные распределения параметров вектора Стокса позволяют провести комплексный поляризационный анализ выходящего из системы пучка лучей, а также остаточную степень поляризации входного излучения. Она определяется по формуле [4]:

$$P = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0}. \quad (2)$$

Азимут α и эллиптичность β выходного излучения вычисляются соответственно по формулам (3) и (4) [4]:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \arctg \left(\frac{S_2}{S_1} \right); \quad (3)$$

$$\beta = \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \cdot \arcsin \left[\frac{S_3}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}} \right] \right). \quad (4)$$

Настроив и отъюстировав систему так, чтобы все оптические элементы были расположены на оптической оси, был проведен эксперимент на ногтевой пластинке мизинца левой руки человека, находящегося на предметном столике.

В результате эксперимента были получены пространственные распределения параметров вектора Стокса, а также степени поляризации выходного излучения, которая характеризует соотношение между поляризованной и неполяризованной составляющими излучения для трех состояний организма, гарантированно отличающихся разным уровнем гематокрита. Применительно к поляризованной составляющей выходного излучения были получены распределения параметров состояния поляризации (азимута и эллиптичности).

Таким образом, были выявлены существенные отличия поляризационных характеристик рассеянного объектом излучения для разных состояний организма, что подтверждает гипотезу о возможности использования поляризационного метода для контроля уровня гематокрита.

Разработка поляризационной системы

Для выбора структурной схемы поляризационной системы для контроля уровня гематокрита были рассмотрены различные варианты построения схем реализации:

- схемы с последовательным изменением параметров поляризационных

элементов, с применением вращающегося элемента или изменения параметров поляризационных элементов конечное число раз;

– схемы с пространственным разделением входного излучения, падающего на вход прибора по апертуре;

– схемы с разделением интенсивности входного излучения, падающего на вход прибора по амплитуде без вращающихся элементов.

Для использования поляризационной системы в чрезвычайных ситуациях для решения задач медицины катастроф ее отличительными особенностями должны быть возможность автоматизации, высокое быстродействие и одновременное измерение полного набора параметров вектора Стокса и параметров состояния поляризации излучения. В связи с этим поляризационная система должна формироваться по схеме поляриметров третьего типа. В качестве схемы-аналога для предлагаемой системы был выбран визуальный четырехканальный Стокс-поляриметр, позволяющий визуализировать распределения параметров состояний поляризации рассеянного под углом излучения [5].

Передающий блок поляризационной системы содержит элементы, формирующие заданное состояние поляризации зондирующего биоткань излучения (рис. 2): источник когерентного оптического излучения 1; поляризатор 2; четвертьволновая пластинка 3. Приемный блок содержит оптические элементы (объектив 4; светоделительный кубик 5; полуволновая пластинка 6; светоделительный поляризационный кубик 7, 13; четвертьволновая пластинка 12; компенсационный блок 8, 10, 14, 16) для формирования четырех независимых каналов и получения в каждом из них распределение интенсивности на матричном приемнике оптического излучения (9, 11, 15, 17). Дальнейшая совместная обработка цифровых изображений и снятие видеоконтента происходит в электронной блоке обработки сигналов (цифровом процессоре 18). Для визуализации результатов используется устройство отображения информации (персональный компьютер 19).

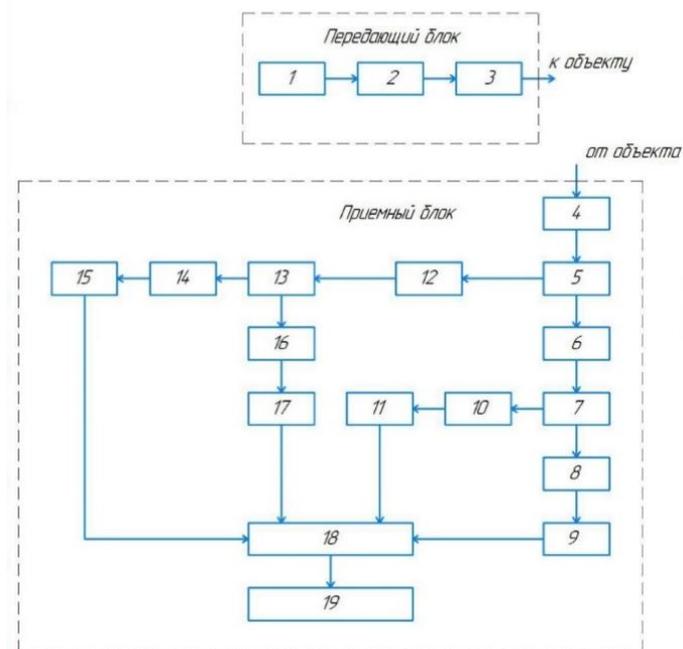


Рис. 2. Структурная схема четырехканального Стокс-поляриметра [5]

В качестве источника когерентного оптического излучения используется малоомощный лазерный модуль с длиной волны $0,635 \pm 0,005$ мкм и мощностью 1 мВт и

высокой степенью направленности излучения, который не приводит к изменениям структуры крови и удовлетворяет требованиям зондирования крови через ногтевую пластинку. Выбор многоэлементных приемников оптического излучения обусловлен необходимостью анализа структуры подповерхностных сред, а не рельефа поверхности.

Определив выходной электрический сигнал i_m , где $m = 0,1,2,3$ с каждого матричного приемника оптического излучения, который представляет собой линейную комбинацию четырех параметров вектора Стокса (формула 5) находится вектор тока, в котором каждая строка приборной матрицы A соответствует первой строке матрицы Мюллера отдельного канала, описывающей действие оптических элементов каждого из каналов системы в отдельности, и связан с параметрами выходного вектора Стокса S рассеянного излучения по формуле 6. Определив матрицы Мюллера и подставив их первые строки в приборную матрицу системы получили следующее:

$$\begin{aligned} i_0 &= (a_{00} \cdot S_0) + (a_{01} \cdot S_1) + (a_{02} \cdot S_2) + (a_{03} \cdot S_3) \\ i_1 &= (a_{10} \cdot S_0) + (a_{11} \cdot S_1) + (a_{12} \cdot S_2) + (a_{13} \cdot S_3) \\ i_2 &= (a_{20} \cdot S_0) + (a_{21} \cdot S_1) + (a_{22} \cdot S_2) + (a_{23} \cdot S_3) \\ i_3 &= (a_{30} \cdot S_0) + (a_{31} \cdot S_1) + (a_{32} \cdot S_2) + (a_{33} \cdot S_3) \end{aligned} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{30} & a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$I = \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = A \cdot S = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,15 & 0,20 & 0,00 \\ 0,25 & 0,15 & -0,20 & 0,00 \\ 0,25 & -0,15 & 0,00 & -0,20 \\ 0,25 & -0,15 & 0,00 & 0,20 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Таким образом, вектор Стокса может быть восстановлен из измеренных оптических сигналов путем нахождения вырожденной приборной матрицы:

$$S = A^{-1} \cdot I = \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 1,67 & 1,67 & -1,67 & -1,67 \\ 2,50 & -2,50 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & -2,50 & 2,50 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

В результате получена идеальная приборная матрица для разработанной поляризационной системы. При физической реализации поляризационной системы требуется проводить калибровку для формирования реальной приборной матрицы, которая будет использована в алгоритме восстановления вектора Стокса.

Заключение

Результатом исследовательской части выпускной квалификационной работы является реализация физической модели поляризационного зондирования крови через ногтевую структуру мизинца, позволяющая выявить состояния организма с различным уровнем гематокрита на основе визуализации и сравнительного анализа поляризационных свойств биотканей. Результатом научного проекта является разработанная поляризационная система для неинвазивного контроля уровня гематокрита, отличающаяся тем, что пациенту облучают лазерным излучением ногтевую пластинку мизинца левой руки и, измеряя интенсивности рассеянного под углом излучения, вычисляют вектор Стокса, по которому определяют гематокрит путем сопоставления результатов с калибровочными кривыми, которые предварительно получают эмпирическим путем. Отличительной особенностью поляризационной системы является приемный блок, сформированный таким образом, что длина оптического пути рассеянного образцом излучения от приемной оптической

системы до чувствительных площадок матричных приемников каждого канала одинакова. При этом все четыре изображения кружка рассеяния излучения с поверхностью образца имеют одинаковое увеличение и одинаковую частотно-контрастную характеристику для каждого канала по всему полю зрения матрицы, что позволяет регистрировать изображения без искажений.

Литература

1. Хлынов Р.Д., Рыжова В.А. Методы исследования форменных элементов крови // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2020. Т. 4. С. 98-104. Электронное издание [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://research.itmo.ru/file/stat/194/almanakh_tom_4_2020.pdf. (дата обращения: 24.06.2021).
2. Крутиков В.Н. и другие. Способ диагностики ишемической болезни сердца. Патент RU 2595483, 2016.
3. Yakunin A.N., Avetisyan Yu.A., Bykov A.A., Tuchin V.V. About influence of nanoparticle size and laser pulse duration on biotissue's damage, Saratov Fall Meeting (SFM'15), International Symposium on Optics and Biophotonics III (Conference on Internet Biophotonics VIII), Saratov, Russia, September 22-25. 2015.
4. Azzam R.M.A. and De A. Optimal beam splitters for division-of-amplitude photopolarimeter. Journal of the Optical Society of America A Vol. 20, Issue 5, pp. 955–958 (2003). <https://doi.org/10.1364/JOSAA.20.000955>. (дата обращения: 24.06.2021).
5. Хлынов Р.Д., Рыжова В.А. Разработка поляризационной системы для контроля уровня гематокрита//Сборник тезисов докладов X конгресса молодых ученых (ОНЛАЙН формат). Электронное издание [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/7305> - 2021. (дата обращения: 24.06.2021).

Щур Александр Григорьевич

Год рождения: 1993

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

студент группы № L3417,

направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии,

e-mail: Lyneolin@gmail.com

Алоджанц Александр Павлович

Университет ИТМО,

Год рождения: 1969

институт перспективных систем передачи данных,

д.ф.-м.н., профессор,

e-mail: alexander AP@list.ru

УДК 519.711.7

**ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ТОПОЛОГИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ
МИКРОРЕЗОНАТОРАХ С ДВУХУРОВНЕВЫМИ СИСТЕМАМИ**

А.Г. Щур

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор А.П. Алоджанц

Аннотация

В работе предложена теоретическая модель сложной сети связанных микрорезонаторов с двухуровневыми системами. Описан гамильтониан модели, получена система динамических уравнений для операторов при решении уравнения Гейзенберга. Проведен анализ решения системы в пределе поляритонного лазера и получено условие лазерной генерации для безмасштабной сетевой архитектуры.

Ключевые слова

Лазерная сеть, сложные системы, топология, безмасштабная архитектура, моделирование.

Концепции сетей и графов занимают центральное место в науке о сложных системах. Бесчисленные примеры систем, в которых нерегулярная связь частей играет центральную роль в динамике и свойствах самой системы, в настоящее время интенсивно обсуждаются в научной литературе. Функционирование электрических сетей и их отказов, роль топологии в синхронизации, пространственных и квантовых сетях может быть довольно сложно изучить в реальных системах и даже в контролируемых лабораторных условиях [1]. Эти разные по своей природе системы, очень похожи с точки зрения топологии сети и могут быть описаны моделями и подходами статистической физики, что позволяет раскрыть динамику процессов, происходящих в различных сетевых структурах.

Лазерные системы исторически использовались в качестве модельных для многих когерентных систем из нелинейной динамики, статистической физики, физики конденсированного состояния, социальных наук [2] и могли бы стать подходящими кандидатами для такого исследования. Для обеспечения богатства и сложности, необходимых для описания конкретных статистических и / или динамических проблем в теории сетей, в работе [3] предложили использовать недавно представленную лазерную сеть (LANER).

Эта система представляет собой активную оптическую сеть, связность которой характеризуется неким статистическим распределением, и которая способна к лазерной генерации. Такая система позволяет масштабировать более стандартные геометрии лазера, от воплощения более простых конфигураций с одним усилением, до сильно связанных схем с несколькими усилениями.

В данной работе предложена теоретическая модель лазерной сети, позволяющая описать условия возникновения лазерной генерации, а также динамику параметров при введении сетевой архитектуры. Модель построена на связанных микрорезонаторах с двухуровневыми системами.

Оптоэлектронные устройства на основе оптических микрорезонаторов, локализирующие фотоны и электроны, составляют базу компактных, энергетически выгодных и высокоскоростных оптических схем нового поколения [4]. Выбирая форму, размер или состав материала микрорезонатора, его можно настроить для поддержки спектра оптических электромагнитных мод с требуемой частотой излучения и поляризацией. Кроме того, новые конструкции микрорезонаторов открывают очень сложные фундаментальные научные приложения, выходящие за рамки технологий оптоэлектронных устройств. К примеру, в квантово-оптических устройствах, микрорезонаторы могут вынуждать атомы или квантовые точки испускать спонтанные фотоны в желаемом направлении [5] или обеспечивать среду, в которой преодолеваются диссипативные механизмы, такие как спонтанное излучение, что делает возможным квантовое запутывание электромагнитного поля и вещества [6]. Двухуровневые системы являются удобными для численного моделирования и с достаточной точностью описывают поведение квантовых точек и спиновых систем.

Предложенная модель состоит из ансамбля N двухуровневых систем (ДУС), взаимодействующих друг с другом посредством обмена энергией. Данное взаимодействие определяется топологической сетевой архитектурой, которая представляется в виде графа с нетривиальными (специфическими) свойствами, вытекающими из топологии, распределения степени узлов и других характеристик. Схема модели изображена на рис. 1.

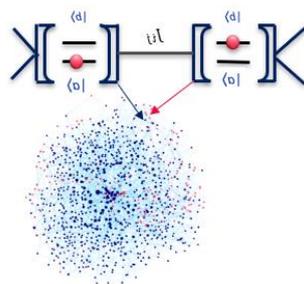


Рис. 1. Схема топологической лазерной сети

Полагаем, что одиночная ДУС допускает наличие основного (невозбужденного) $|a\rangle$ и возбужденное $|b\rangle$ состояния, характеризующиеся бозе-операторами рождения (уничтожения) $a^\dagger(a)$ и $b^\dagger(b)$ соответственно на основном и возбужденном состояниях ДУС. Важно отметить, что в данной работе используется подход отожденной сети, который предполагает взвешенную, полносвязную модель графа. Связность k определяет, насколько легко добраться из одной точки сети в другую и характеризуется числом связей одного узла с другими узлами сети. Коэффициент J_{ij} характеризует силу связи соседних узлов и определяется следующим образом:

$$J_{ij} = J p_{ij} = J \frac{k_i k_j}{N \langle k \rangle},$$

где J – произвольная константа, определяющая силу связи;

p_{ij} – вероятность образования связи между двумя узлами;

$\langle k \rangle$ – средняя связность сети;

k_i, k_j – связности i -го и j -го узлов.

Полный гамильтониан рассматриваемой системы имеет вид:

$$H = -\sum [J_{ij} f_i^\dagger f_j + H.C] + \omega_a \sum f_i^\dagger f_i + \frac{1}{2} \omega_0 \sum (b_i^\dagger b_i - a_i^\dagger a_i) + \chi \sum (b_i^\dagger a_i f_i + H.C),$$

где ω_a и ω_0 – частоты фотонной и ДУС моды соответственно, $f (f^\dagger)$ – бозе оператор рождения (уничтожения) фотонов в i -м резонаторе, χ – параметр, характеризующий силу взаимодействия поля и ДУС.

Здесь первое слагаемое характеризуют связь между различными микрорезонаторами с ДУС. Второе описывает наличие поля в i -м резонаторе. Третье и четвертое слагаемое в гамильтониане описывают ДУС и ее взаимодействие с полем в i -м резонаторе.

В данной работе рассматривалась безмасштабная архитектура сети, которая наиболее часто встречается в реальной жизни. По такой архитектуре построен интернет и множество других сетей. Безмасштабная архитектура характеризуется высоким количеством хабов и определяется степенным распределением:

$$p(k) = \frac{(\beta - 1) k_{min}^{\beta-1}}{k^\beta},$$

где β – показатель степени; k_{min} – минимальная связность сети.

В теории сетей для описания статистических свойств используются параметр $\zeta = \frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle}$.

Зависимость параметра ζ и средней связности $\langle k \rangle$ безмасштабной сети от показателя степени β представлена на рис. 2.

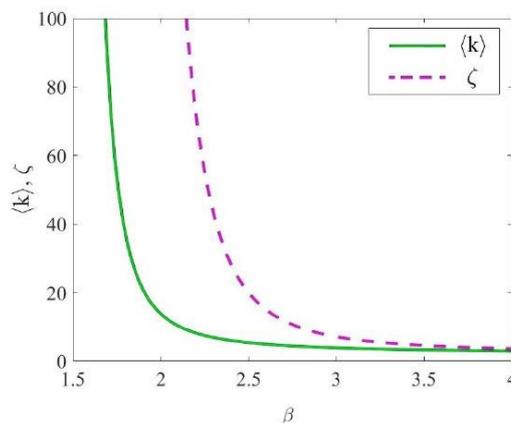


Рис. 2. Зависимости статистических параметров для безмасштабной сети

Для описания динамики системы использовался подход Гейзенберга, при решении уравнения $i\frac{\partial f}{\partial t} = [f, H]$, была получена система динамических уравнений для операторов уничтожения фотонной моды f , поляризации p и инверсии населенности S_z рассматриваемой системы в приближении среднего поля. Это предполагает то, что поле во всей сети когерентно.

Также в модели были учтены диссипационные потери. Полученная система уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} i\dot{f}_i &= -\sum J_{ij}f_j + (\omega_{a1} - i\gamma_{ph})f_i + \chi p_i \\ i\dot{p}_i &= (\omega_0 - i\gamma_{\perp})p_i - \chi S_{zi}f_i \\ i\dot{S}_{zi} &= i\gamma_{\parallel}(S_{z0} - S_{zi}) + 2\chi(p_i^{\dagger}f_i - p_i f_i^{\dagger}) \end{aligned} \quad , \quad (1)$$

где $p_i = b_i^{\dagger}a_i$ оператор поляризации i -й ДУС, $S_{zi} = b_i^{\dagger}b_i - a_i^{\dagger}a_i$ – оператор инверсии населенности i -й ДУС. γ_{ph} описывает потери в микрорезонаторах, γ_{\perp} определяет декогеренцию ДУС, γ_{\parallel} характеризует релаксацию с верхнего уровня ДУС.

В рамках данной работы было получено решение в пределе поляритонного лазера. В этом пределе лишь небольшое количество ДУС находится в возбужденном состоянии, диссипации и эффекты декогеренции существенно не меняют разность населенности. Поэтому полагаем инверсию $S_{zi} \approx -1$. Тогда система уравнений (1) упрощается до следующего вида:

$$\begin{aligned} i\dot{f}_{li} &= -\sum J_{ij}f_j + \Omega_a f_i + \chi p_i \\ i\dot{p}_i &= \Omega_0 p_i + \chi f_{li} \end{aligned} \quad , \quad (2)$$

Сильное взаимодействие света и вещества в резонаторе приводит к расщеплению термов ДУС и фотона на два поляритонных состояния верхнюю (UP) и нижнюю (DP) поляритонные ветви, образуя квазичастицу поляритон. На рис. 3 изображен пример дисперсионной зависимости поляритонов при различных разностях между частотами поля и ДУС, еще называемой отстройкой.

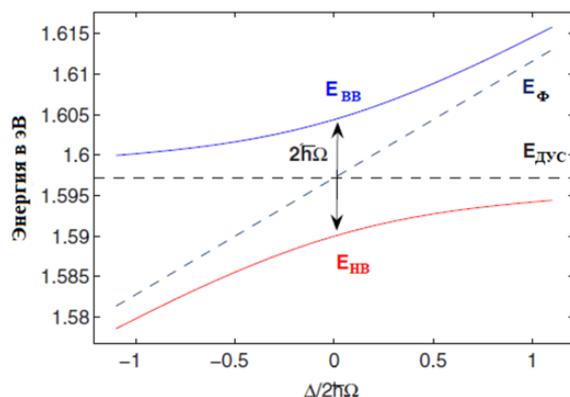


Рис. 3. Зависимость энергии поляритонов от расстройки Δ [7].

Энергия взаимодействия $\hbar\Omega$ в условиях точного резонанса ДУС $E_{ДУС}$ и фотонной моды E_ϕ получила название расщепления Раби. Необходимым условие существования поляритона является наличие сильной связи между ДУС и фотоном, таким образом, период осцилляций Раби $\tau = \frac{1}{\Omega}$ должен быть во много раз меньше времени релаксации ДУС и меньше времени жизни фотонной моды в резонаторе.

Были найдены стационарные решения системы уравнений (2) для поляризации и фотонного поля в следующем виде: $f_i(t) = f_i e^{-iEt}$ и $p_i(t) = p_i e^{-iEt}$.

В итоге было получено решение для энергии верхней и нижней поляритонных ветвей:

$$E_{UP,DP} = \frac{J\zeta - (\omega_0 + \omega_a) + i(\gamma_{ph} + \gamma_\perp) \pm \sqrt{(\Delta + i(\gamma_\perp - \gamma_{ph}) - J\zeta)^2 + 4\chi^2}}{2},$$

где $\Delta = \omega_a - \omega_0$ - частотная отстройка между фотонной модой и ДУС;

$J\zeta$ фазовый сдвиг, обусловленный статистическими свойствами сетевой структуры.

Из-за того, что потери фотонов в микрорезонаторах значительно превышают процессы декогеренции ДУС $\gamma_{ph} \gg \gamma_\perp$, приняли общие потери как фотонные.

Порог лазерной генерации будет соответствовать условию, при котором вещественная часть подкоренного выражения для энергии будет равна нулю.

$$(\Delta - J\zeta)^2 + 4\chi^2 - \gamma^2 = 0$$

Таким образом, критические потери выше которых генерация не наблюдается, определяются следующим выражением:

$$\gamma_c = \sqrt{(\Delta - J\zeta)^2 + 4\chi^2}.$$

При точном резонансе частоты поля и ДУС будут равны, при этом отстройка $\Delta = 0$ тогда условие лазерной генерации выглядит следующим образом:

$$J\zeta > \sqrt{\gamma^2 - 4\chi^2}.$$

На рис. 4 изображены зависимости вещественной (А) и мнимой (Б) части энергии поляритонов от параметра сети $J\zeta$ для различных потерь γ при параметре $\chi = 2$.

Отсюда можно сделать следующие выводы: введение сетевой архитектуры снижает порог генерации. С ростом потерь γ величина расщепления Раби уменьшается, и в итоге энергетическая щель исчезает, и генерация не наблюдается. Изменяя параметр отстройки либо статистический фазовый сдвиг $J\zeta$, можно регулировать величину расщепления Раби и потери для каждой поляритонной ветви. При увеличении потерь в верхних поляритонах, потери в нижних уменьшаются. При больших значениях параметра $J\zeta$, даже в присутствии диссипаций, расщепление не наблюдается, таким образом сеть практически не вносит вклад в динамику системы.

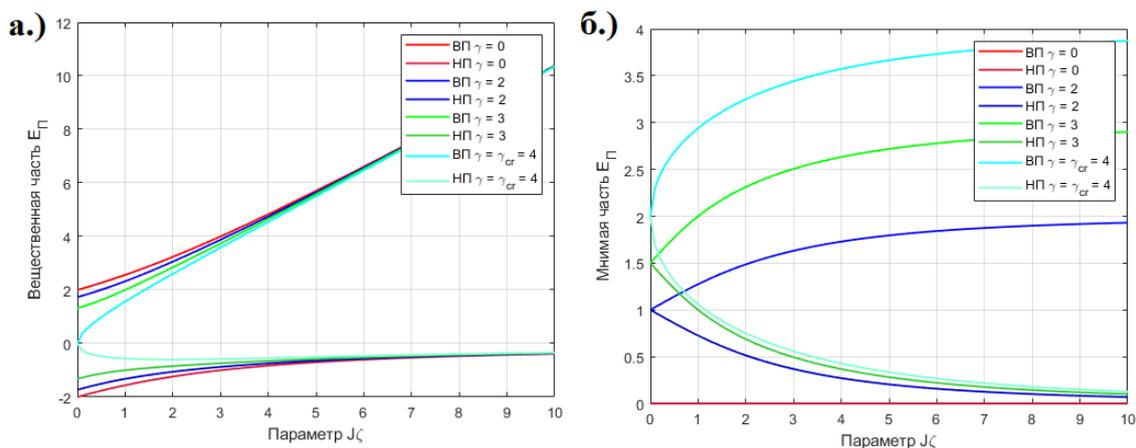


Рис. 4. Зависимость энергии поляритонов от фазового сдвига $J\zeta$ для различных коэффициентов потерь.

Литература

1. Barabási A.-L. NETWORK SCIENCE. Personal Introduction. 2015.
2. Khrennikov A. Social laser model: From color revolutions to Brexit and election of Donald Trump // Kybernetes. 2018. Vol. 47.
3. Lepri S., Trono C., Giacomelli G. Complex Active Optical Networks as a New Laser Concept // Phys. Rev. Lett. American Physical Society, 2017. Vol. 118, № 12. P. 123901.
4. Benson T. et al. MICRO-OPTICAL RESONATORS FOR MICROLASERS AND INTEGRATED OPTOELECTRONICS. 2005. P. 39–70.
5. Wang H. et al. On-Demand Semiconductor Source of Entangled Photons Which Simultaneously Has High Fidelity, Efficiency, and Indistinguishability // Phys. Rev. Lett. 2019. Vol. 122, № 113602.
6. Raimond J.M., Brune M., Haroche S. Colloquium: Manipulating quantum entanglement with atoms and photons in a cavity // Rev. Mod. Phys. 2001. Vol. 73, № 3. P. 565–582.
7. Deng H., Haug H., Yamamoto Y. Exciton-polariton Bose-Einstein condensation // Rev. Mod. Phys. 2010. Vol. 82, № 2. P. 1489–1537.

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

Багрова Полина Антоновна

Год рождения: 2001

Университет ИТМО,

факультет среднего профессионального образования,

студент группы №У2431,

направление подготовки: 09.02.07 – Информационные системы и программирование,

e-mail: polya.bagrowa@yandex.ru

Говорова Марина Михайловна

Год рождения: 1965

Университет ИТМО,

факультет среднего профессионального образования,

преподаватель,

e-mail: maran77@mail.ru

УДК 364.044.4, 004.42

**РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ «ЦСРИДИ НЕВСКОГО РАЙОНА»**

П.А. Багрова

Научный руководитель – преподаватель М.М. Говорова

Аннотация

В работе рассматривается веб-приложение для Центра социальной реабилитации инвалидов и детей-инвалидов (ЦСРИДИ) Невского района Санкт-Петербурга, которое позволит оперативно составлять и редактировать расписание работы с получателем социальных услуг, вести учет этих услуг, обеспечивая тем самым удобные коммуникации как для клиентов, так и для сотрудников центра, и позволит уменьшить количество нереализованных социальных услуг.

Ключевые слова

Веб-приложение, инвалиды, центр реабилитации, организация записи, DjangoREST framework.

В центре социальной реабилитации инвалидов и детей-инвалидов (ЦСРИДИ) Невского района Санкт-Петербурга [1] на данный момент получают услуги 1700 человек. Запись клиентов на услуги осуществляют специалисты по социальной работе, на каждого из которых приходится примерно 100 человек. В связи с большим количеством человек создаются очереди к специалистам, также людям с нарушениями опорно-двигательного аппарата и с нарушением зрения затруднительно каждый раз подходить к специалисту. Фактически увеличивается время работы с получателями социальных услуг со стороны центра реабилитации.

Информационные ресурсы, которые позволяют автоматизировать процесс получения услуг, являются неотъемлемой частью современного мира. Также они позволяют создать доступную среду для всех членов общества, в том числе и для инвалидов, на что и направлена государственная программа «Доступная среда».

Совместно с ЦСРИДИ было решено создать веб-приложение и впоследствии мобильное приложение для учета социальных услуг для людей с инвалидностью и ОВЗ, клиентов центра. Актуальность проекта подтверждается интересом со стороны целевой группы ЦСРИДИ, эффективностью аналогичной меры, которая работает в Москве и заинтересованностью ЦСРИДИ в его реализации.

Были проведены анализ предметной области, исследование о востребованности разработки среди целевой группы, в ходе которого было выявлено, что клиенты ЦСРИДИ заинтересованы в разработке как веб-сервиса, так и мобильного приложения, также определен средний возраст целевой аудитории – 36 лет.

Для выявления актуальности разработки и необходимых функций проведено сравнение аналогичных решений.

Основной функцией приложения является запись на занятие и ее отмена. В результате поиска аналогичных решений были выбраны следующие прямые аналоги. Представленные в таблице. Выбор основан на рейтинге Play Market.

Таблица

Сравнение прямых аналогов

Наименование аналогов →	Медицина онлайн	Запись к врачу онлайн – Добробут	Запись к врачу. Кузбасс	Запись к врачу в СПб
Функция ↓				
Авторизация	Нет	Да	Нет	Да
Преобразование текста в речь	Нет	Нет	Нет	Нет
Выбор даты, времени записи из предложенных	Да	Да	Да	Да
Отмена записи	Да	Да	Да	Да
Перенос записи	Нет	Да	Нет	Нет
Просмотр прошедших записей	Да	Да	Нет	Нет
Просмотр предстоящих записей	Да	Да	Да	Да
Напоминание о предстоящей записи	Нет	Да	Да	Да

На основе анализа предметной области были выявлены следующие функциональные возможности в разрабатываемых приложениях:

- авторизация;
- хранение и просмотр расписания занятий;
- запись на занятие;
- отмена записей;
- просмотр предстоящих записей пользователя;
- просмотр прошедших записей пользователя;
- напоминание о записи;
- голосовой вывод для слабовидящих и незрячих;
- версия для слабовидящих;
- формирование маршрута по зданию.

Для моделирования поведения пользователей в системе была использована методология UML [2] – общецелевой язык визуального моделирования, разработанный для спецификации, визуализации, проектирования и документирования компонентов программного обеспечения и бизнес-процессов. Диаграмма вариантов использования представлена на рис. 1.

Веб-приложение – приложение, в котором клиентом выступает браузер, а сервером – веб-сервер [3]. В разработанном приложении используется трехзвенная архитектура, при которой сервер делится на две части: первая обрабатывает клиентские запросы, а вторая часть обращается к базе данных (рис. 2).

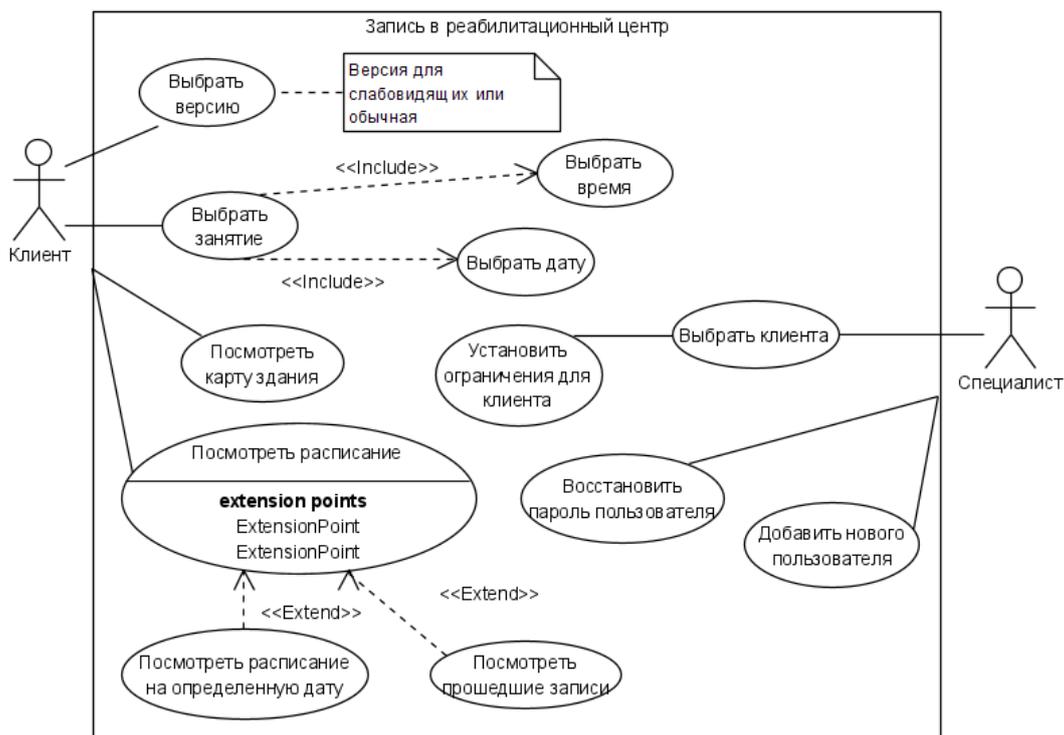


Рис. 1. Поведение пользователей системы

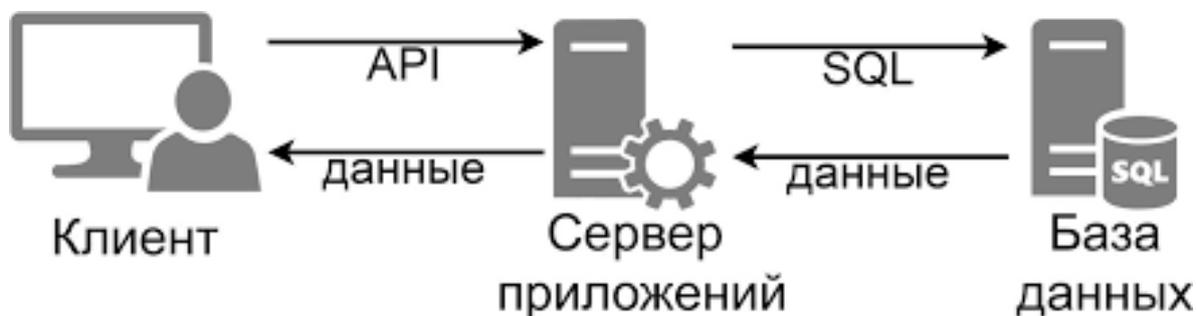


Рис. 2. Трехзвенная архитектура клиент-серверного приложения

Система реализована в виде веб-приложения. Для информационного обеспечения системы использована технология реляционных баз данных. Для авторизации и аутентификации пользователей использована технология JWT. С целью разграничения внутреннего представления информации от способов ее представления для проектирования программы используется шаблон MVC. Для взаимодействия сайта с сервером был разработан интерфейс взаимодействия – API. В качестве формата выходных данных использован JSON.

Серверная часть написана на языке программирования Python, так как приложение не требует значительных вычислительных операций, который обладает более простым синтаксисом и легок для понимания по сравнению с другими языками программирования.

Для разработки клиентской (визуальной) части веб-приложения использован HTML (язык разметки), CSS (каскадные таблицы стилей) и JavaScript, а именно фреймворк Vue.js.

Веб-приложения на Python разрабатываются с помощью фреймворка

DjangoREST. В работе использована СУБД PostgreSQL.

После разработки приложение была произведена оптимизация кода в части представления данных из БД. На протяжении разработки осуществлялось тестирование модулей методом белого ящика: была проверена работа серверных запросов в базу данных, откорректирован маршрутизатор баз данных, так как необходимо обращение к двум базам данных.

Разработанное веб-приложение является Intranet-системой и работает в интерактивном и диалоговом режимах. Система будет размещена на ресурсе заказчика (ЦСРИДИ Невского района).

По завершении работы разработано веб-приложение для Центра социальной реабилитации инвалидов и детей-инвалидов Невского района Санкт-Петербурга. В ходе работы была проанализирована предметная область, поведение системы и данные, необходимые для работы системы. По полученным данным были сформированы требования к системе, на основании которых система была детально спроектирована, и составлено техническое задание. Затем были выбраны технологии для реализации и разработаны серверная и клиентская части приложения для ЦСРИДИ Невского района. Система была протестирована для выявления ошибок и их исправления. В дальнейшем планируется дополнение функционала навигации по зданию и разработка мобильного приложения с голосовым выводом для слабовидящих и слепых.

Литература

1. Отделения центра «Чудновского» [Электронный ресурс] // СПб ГБУСОН «Центр социальной реабилитации инвалидов и детей-инвалидов Невского района: [сайт], 2020. URL: <http://csridi.ru> (дата обращения 14.10.2020)
2. Леоненков А.В. Самоучитель UML 2-е издание. СПб: БХВ-Петербург, 2004. 432с. (дата обращения: 09.12.2020).
3. Архитектура клиент-сервер. Курс лекций «Тестирование программного обеспечения» [Электронный ресурс] // GitBook – инструмент для разработчиков для создания документации [сайт], 2020. URL: <https://sergeygavaga.gitbooks.io/kurs-lektsii-testirovanie-programnogo-obespecheni/content/lektsiya-6-ch1-arhitektura-klient-server.html> (дата обращения: 12.02.2021)

Дедович Александра Михайловна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М3403,

направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: amdedovich@yandex.ru

Хвастунов Александр Павлович

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

доцент (квалификационная категория «доцент практики»),

e-mail: alexandrhvastunov@gmail.com

УДК 004.4'23

**РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛА ПЛАГИНА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ
ЯЗЫКА MATLAB В IDE НА ОСНОВЕ INTELLIJ PLATFORM**

А.М. Дедович

Научный руководитель – доцент А.П. Хвастунов

Работа выполнена в рамках темы ВКР «Доработка плагина для поддержки языка Matlab в IDE на основе IntelliJ Platform».

Аннотация

В работе реализованы модификации плагина, обеспечивающего поддержку языка программирования MATLAB в интегрированных средах разработки, основанных на IntelliJ Platform. Была разработана функциональность, расширяющая возможности существующего резолвинга, а также введены новые инспекции и рефакторинги программного кода.

Ключевые слова

Плагин, интегрированная среда разработки, MATLAB, статический анализ кода, рефакторинг.

Трудно представить современный процесс разработки программного обеспечения без использования интегрированной среды разработки (IDE). IDE предоставляет сразу комплекс средств для создания, редактирования, компилирования и отладки программного кода.

Своя среда разработки имеется и для языка программирования MATLAB, которую предоставляет компания “Matworks”, являющаяся создателем языка. В целом MATLAB является одним из лучших языков программирования, предназначенного специально для математических и технических вычислений [1]. Но его среда имеет коммерческий характер, что ограничивает ее функционал только тем, что предоставит производитель. Кроме того, существует широкое разнообразие интегрированных сред разработки, поддерживающих сразу несколько языков и как следствие разработчики могут иметь свою любимую IDE, в которой для них наиболее комфортно работать. Одними из таких популярных интегрированных сред разработки являются IDE, основанные на IntelliJ Platform, например, IntelliJ IDEA, PyCharm, PhpStorm. Поэтому был создан плагин, обеспечивающий поддержку языка MATLAB в таких средах и целью работы было расширить функционал данного плагина.

Основные возможности плагина, которые реализовывались в данной работе:

- резолвинги – поиск объявлений элементов языка в коде;
- инспекции – инструменты статического анализа кода для выявления возможных проблем;
- рефакторинги – небольшие преобразования кода, с целью его улучшения, не меняющие смысл написанной программы.

Главной структурой при разработке всех этих функций является PSI (Program Structure Interface) – слой в платформе IntelliJ, который отвечает за анализ файлов и создание синтаксической и семантической модели кода [2]. PSI строится платформой на основе дерева абстрактного синтаксиса, полученного в результате парсинга программы.

Некоторые типы PSI-элементов соответствуют объявлениям в языке Матлаб и одной из реализуемых доработок является поиск объявлений следующих элементов:

- классов и функций;
- глобальных переменных;
- свойств и методов классов.

Резолвинг для остальных элементов уже был, но он осуществлял поиск только в текущем файле, а ключевая особенность резолвинга перечисленных выше элементов заключается в необходимости осуществлять поиск в нескольких файлах проекта. Самый простой способ сделать это – обойти все PSI-деревья каждого файла. Но так как такой вариант будет работать медленно, то лучшим решением стало использование индексирующего фреймворка IntelliJ Platform. Платформа поддерживает разные типы индексов, но для данной задачи в качестве наиболее подходящих были выбраны индексы, на основе стабов, так как они сразу возвращают запрашиваемый элемент. Дерево стабов представляет собой подмножество PSI дерева, сохраненное в компактном бинарном формате [3]. Для оптимальной работы такое дерево должно содержать только те элементы, которые необходимо находить в других файлах, то есть в случае с языком MATLAB – глобальные переменные, классы и функции. Для каждого PSI-элемента, соответствующего одному из этих объявлений, реализована программная архитектура, представленная на рис. 1, где в качестве примера используется элемент объявления класса.

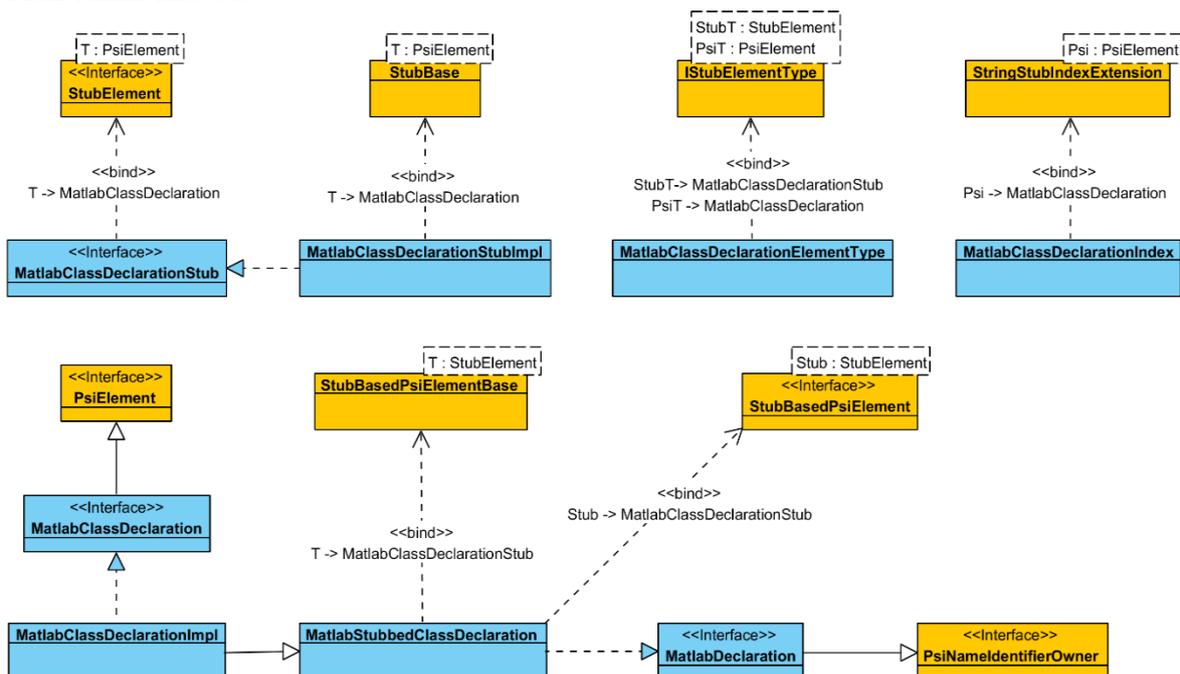


Рис. 1. Диаграмма классов элемента, соответствующего объявлению класса в MATLAB

На изображенной диаграмме классы, выделенные желтым, предоставляются платформой, а синим – реализованные в данной работе. Это отражает основную идею, на которой построена реализация функций плагинов для IntelliJ Platform, заключающаяся том, что многие функции IDE состоят из зависящих и независящих от языка частей. Соответственно плагин должен реализовать только специфичные для языка части, что происходит путем имплементации предоставляемых платформой интерфейсов. Поэтому программная архитектура реализованных инспекций и рефакторингов соответствует диаграмме на рис. 2.

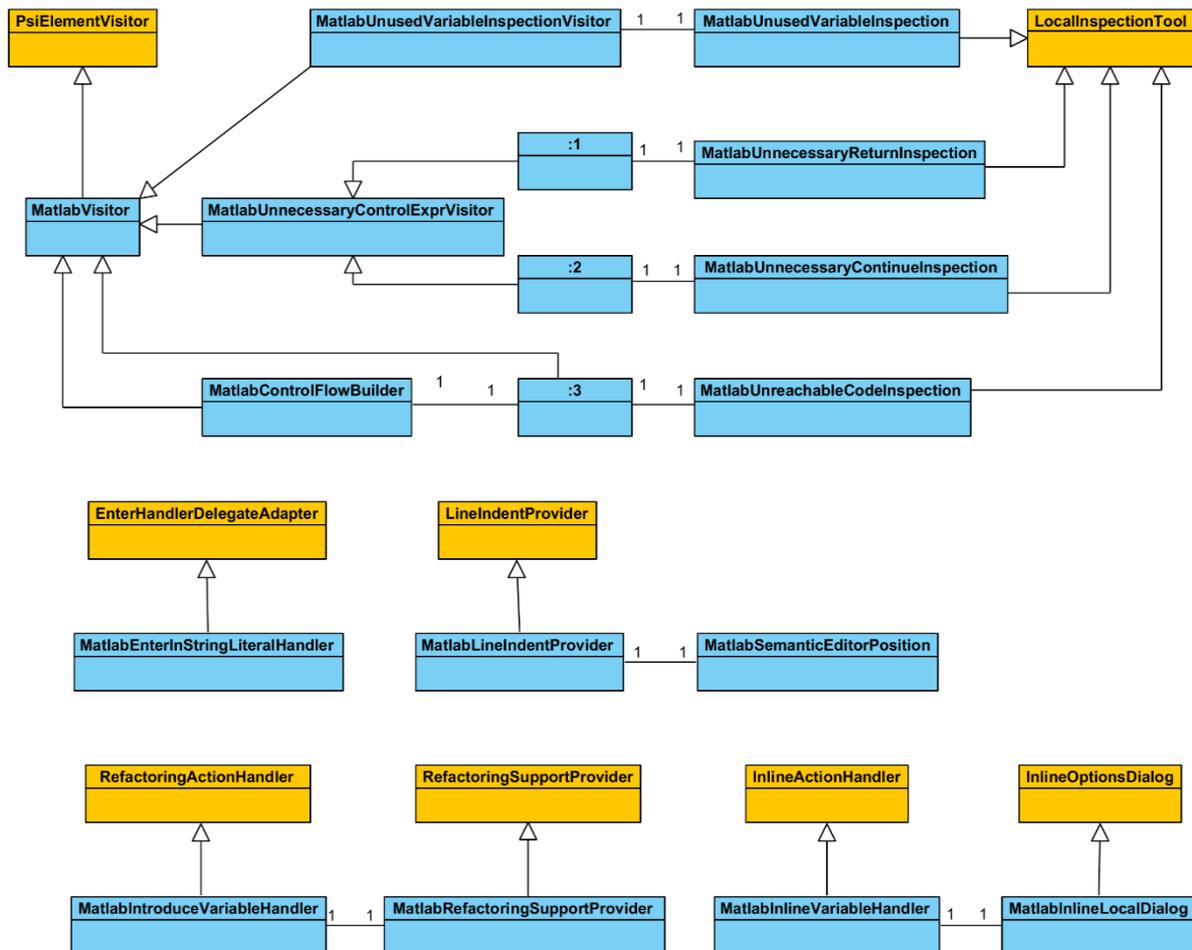


Рис.2. Диаграмма классов инспекций и рефакторингов

Верхняя часть диаграммы описывает инспекции. Всего было реализовано четыре инспекции, каждая из которых осуществляла поиск следующих проблем:

- неиспользуемые переменные и параметры функций;
- лишние выражения return;
- лишние выражения continue;
- недостижимый код.

Все инспекции использует в своей основе паттерн проектирования визитор, который обходит всё PSI-дерево и обрабатывает возможные проблемные элементы.

В случае с поиском неиспользуемых переменных и параметров таковыми являются выражения присваивания и объявления входных и выходных параметров в функциях. Для каждого такого элемента необходимо проверить наличие других элементов, ссылающихся на текущий и при отсутствии таковых предложить пользователю удалить неиспользуемый элемент.

Если говорить о поиске лишних выражений, то `return` всегда лишней в конце функций и в конце файлов, а `continue` – в конце циклов, поэтому у этих инспекций есть общий класс, который занимается поиском последних конструкций в блоке, а непосредственно наследники настраивают его под нужные конструкции и блоки.

Следующая инспекция – поиск недостижимого кода. Для её реализации необходимо строить граф потока управления (`control flow graph`) программы, содержащейся в анализируемом файле. Этот граф отображает все возможные пути исполнения программы. Примеры графов для основных конструкций в языке MATLAB представлены на рис. 3.

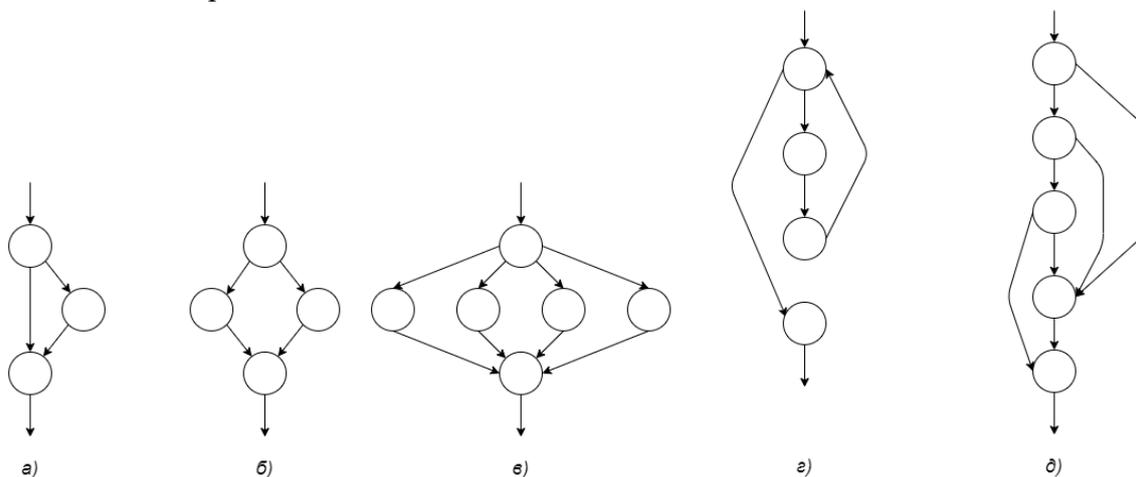


Рис. 3. Примеры графа потока управления для конструкций в языке MATLAB:
а) if блок, б) if-else блок, в) switch блок, г) цикл, д) try-catch блок

Представленные графы могут быть модифицированы – в них могут быть добавлены или удалены некоторые ребра. Это происходит, во-первых, когда в коде есть такие управляющие выражения как `break`, `continue` и `return`. А во-вторых, когда в условии if-блока или while-блока находится константное значение. Для проверки подобных условий были написаны вспомогательные методы, которые рассчитывают выражения, состоящие из литералов, и приводят полученный результат к булеву типу. В соответствии с полученным результатом в вершине с условием один или другой уже невозможный переход в графе удаляется. После того как весь граф потока управления построен, необходимо его обойти и инструкции, соответствующие вершинам, в которых нет пути или в которые есть пути, но только из недостижимых вершин, отметить, как недостижимые.

Последней группой добавляемых функций являются рефакторинги. В данной работе были поддержаны следующие возможности IDE:

- автоматическая табуляция;
- обработка переноса строки внутри строкового литерала;
- `inline` переменных;
- `extract` переменных.

Одной из самых ожидаемых функций IDE является автоматическая табуляция. По умолчанию платформа везде добавляет отступ равный тому, что был на предыдущей строке. Но при старте и завершении логического блока его необходимо изменять. Для этого в плагине реализован итератор по токенам файла, который может в том числе находить начало текущего блока. На основе этой информации, а также анализе окружающих элементов, уже пересчитывается нужный отступ.

Другой полезной функцией является обработка переноса строки внутри строковых литералов. Она представляет собой обработчик на нажатие `enter`. Этот обработчик проверяет текущее положение каретки, и если она находится внутри

строкового литерала, то плагин разбивает его на два и оборачивает в метод конкатенации. Подобная функция оказывается очень удобна, когда строка получилась слишком длинной.

Также важными рефакторингами являются inline и extract переменных. Inline подставляет значение переменной в местах её использования. Extract же, наоборот, извлекает часть выражения в отдельную переменную. Для реализации обоих этих рефакторингов необходимо проанализировать текущее PSI-дерево, проверить можно ли выполнить операцию и при необходимости уточнить у пользователя над какими элементами совершать действие. Далее преобразовать текст файла так, чтобы получился корректный и правильно отформатированный код, а также проверить приоритеты операций в обрабатываемых выражениях и при необходимости убрать или добавить скобки.

Таким образом, в результате работы была реализована новая функциональность плагина для поддержки языка MATLAB в IDE на основе IntelliJ Platform. Было расширено множество элементов, чей резолвинг поддерживается, к тому же поиск объявлений стал осуществляться во всех файлах проекта. Также в плагине появилось несколько первых инспекций и в дальнейшем можно увеличивать их набор. Кроме того, были добавлены новые рефакторинги, в том числе такая ожидаемая функция как автоматическое добавление отступов, при этом в будущем можно будет поддерживать форматирование всего файла сразу.

Итого было реализовано много функций, что сделало работу в плагине более приятной и удобной. Это отражается на ежемесячном количестве скачиваний, которое с момента релиза обновленной версии увеличилось более чем в полтора раза.

Литература

1. MATLAB vs. Python: Top Reasons to Choose MATLAB [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/matlab/matlab-vs-python.html> (дата обращения: 01.07.2021)
2. Program Structure Interface (PSI) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://plugins.jetbrains.com/docs/intellij/psi.html> (дата обращения: 01.07.2021).
3. Stub Indexes [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://plugins.jetbrains.com/docs/intellij/stub-indexes> (дата обращения: 01.07.2021).

Жмудь Кира Викторовна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

студент группы №W3460,

направление подготовки: 14.03.01. – Информационные технологии в энергетике,

e-mail: kzmud@mail.ru

Захарова Виктория Юрьевна

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет энергетики и экотехнологий,

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

e-mail: vizakharova@itmo.ru

УДК 697

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ С АККУМУЛЯТОРАМИ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ

К.В. Жмудь

Научный руководитель – к.т.н. В.Ю. Захарова

Аннотация

В процессе работы рассмотрены конструкции аккумуляторов, их назначение и принципы работы, проведены обзор и сравнение математических моделей для расчета полного времени зарядки аккумулятора холода. Далее выбрана наиболее подходящая для расчета математическая модель и проведен расчет времени зарядки аккумуляторов холода. Разработана компьютерная модель на основе данных с экспериментального стенда и проведены численные расчеты времени заморозки. В конце проведена оценка адекватности результатов расчета после сравнения их с экспериментальными данными и результатами численных расчетов, после чего сделан вывод о возможности расчета времени зарядки аккумулятора с помощью исследуемой математической модели.

Ключевые слова

Аккумуляторы холода, расчет, сравнение, фазовый переход, время зарядки, математическая модель.

Мировой спрос на энергии продолжает расти, из-за чего вопросы энергоэффективности и энергосбережения становятся всё более важными и востребованными в различных отраслях. Одна из активно изучающихся и развивающихся областей – это аккумуляторы холода.

Аккумуляторы тепловой энергии нужны для накопления и хранения энергии с последующим её использованием с целью уменьшения нагрузки на системы горячего водоснабжения и отопления или систем охлаждения, кондиционирования и вентиляции. Поскольку потребности в отоплении и охлаждении составляют 45% от общего потребления энергии в зданиях, использование технологий, связанных с аккумуляцией тепловой энергии, представляет большой интерес и потенциал [1]. Аккумулятор холода с фазовым переходом является одним из видов аккумуляторов тепловой энергии. Основной особенностью таких аккумуляторов является то, что аккумуляция холода там происходит не только за счет теплоемкости, но и за счет теплоты фазового перехода, что обеспечивает высокую объемную и массовую плотность хранения тепловой энергии таких аккумуляторов [2]. Кроме того,

использование аккумуляторов холода в системе с возобновляемыми источниками энергии или тепловыми насосами имеет большой потенциал, так как решает проблему непостоянства энергии, поступающей от таких источников.

Зарядка аккумулятора холода – это период фазового перехода рабочей жидкости в процессе теплообмена с хладагентом. Для увеличения эффективности всей системы необходимо, чтоб аккумулятор холода успевал зарядиться в непиковые часы работы. Из-за различных геометрических размеров системы и аккумулятора, а также теплофизических свойств теплоносителя и вещества с фазовым переходом значения времени может сильно различаться, поэтому для проектировки системы кондиционирования с аккумулятором холода необходимо учитывать влияние данных факторов на процесс зарядки.

В основе математического моделирования процесса фазового перехода лежит классическая задача Стефана – нелинейная задача о фазовом плавлении или затвердевании вещества с подвижной границей твердое тело-жидкость. Существуют различные численные решения задачи Стефана для двумерных и трехмерных случаев, где учитывается конвекция и теплота фазового перехода. Аналитическое решение задача Стефана существуют для частных случаев.

Цель данной выпускной квалификационной работы – подбор наиболее подходящей математической модели для расчета времени зарядки аккумулятора холода. Для выполнения данной цели были поставлены несколько задач: проведение сравнительного анализа математических моделей расчета времени заморозки аккумулятора холода, проведение расчета времени зарядки аккумулятора с помощью наиболее подходящей для этого математической модели, и последующая оценка адекватности результатов путем сравнения их с экспериментальными данными и результатами численных расчетов.

Экспериментальное определение времени зарядки

В процессе работы рассматриваются два экспериментальных исследования, связанных с аккумуляторами холода:

1. В первом эксперименте, который выполнен студентами ИТМО в рамках НИР, исследуется время зарядки и разрядки аккумуляторов холода в виде колб с рабочей жидкостью. Эксперимент реализован на стенде, который представлен на рис. 1, в качестве теплоносителя используется емкость водный раствор пропиленгликоля 40%, в качестве рабочей жидкости в аккумуляторе холода используется н-тетрадекан [3]. Внутренний радиус колб составляет 32 мм, они наполнены тетрадеканом при начальной температуре 25°C. Для минимизации воздействия окружающей среды на рабочую жидкость, горловина колбы заполнена поролоном и находится над уровнем теплоносителя.

2. Во втором эксперименте, взятом из статьи [4], исследовано влияние на различные характеристики аккумулятора таких характеристик системы как размер сферической капсулы, величина расхода и температура теплоносителя. Для данной работы в этом исследовании интересны результаты измерения времени полной зарядки. В статье в качестве аккумулятора холода используются сферические капсулы, наполненные на 80% от объема водой. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 2. Главным интересом среди результатов этой работы является значения времени заморозки аккумулятора холода, полученные в процессе исследований.

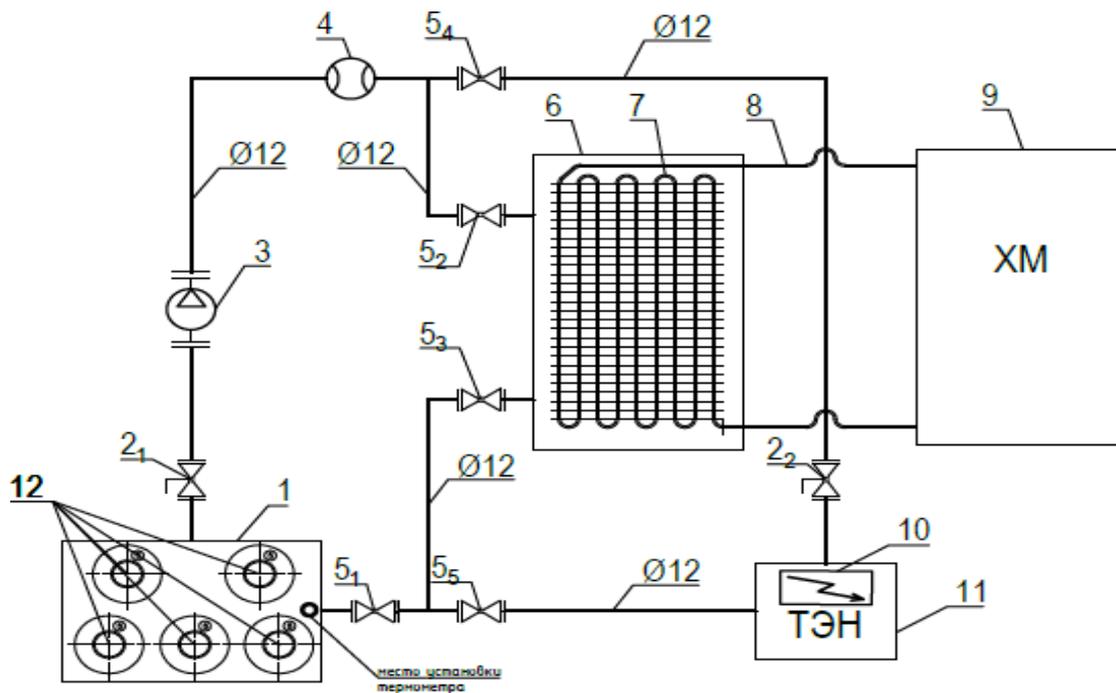


Рис. 1. Экспериментальный стенд,
 где 1 – емкость для размещения колб с н-тетрадеканом;
 2₁₋₂ – балансировочные клапаны; 3 – насос; 4 – расходомер; 5₁₋₅ - краны шаровые;
 6 – емкость с испарителем холодильной машины; 7 – испаритель холодильной машины;
 8 – трубопровод хладагента; 9 – холодильная машина; 10 – водонагреватель; 11 – емкость
 водонагревателя; 12 – колбы с веществом с фазовым переходом

1. Бак для зарядки
2. Бак для разрядки
3. Сферическая капсула
4. Компрессор
5. Конденсатор
6. Дроссельный вентиль
7. Испаритель
8. Нагревающий отсек
9. Насос
10. Ручная задвижка
11. Теплоноситель
12. Расходомер
13. Ноутбук
14. Термопара
15. Контроллер температуры
16. Датчик температур
17. АС контроллер заряда
18. Токоизмерительные клещи

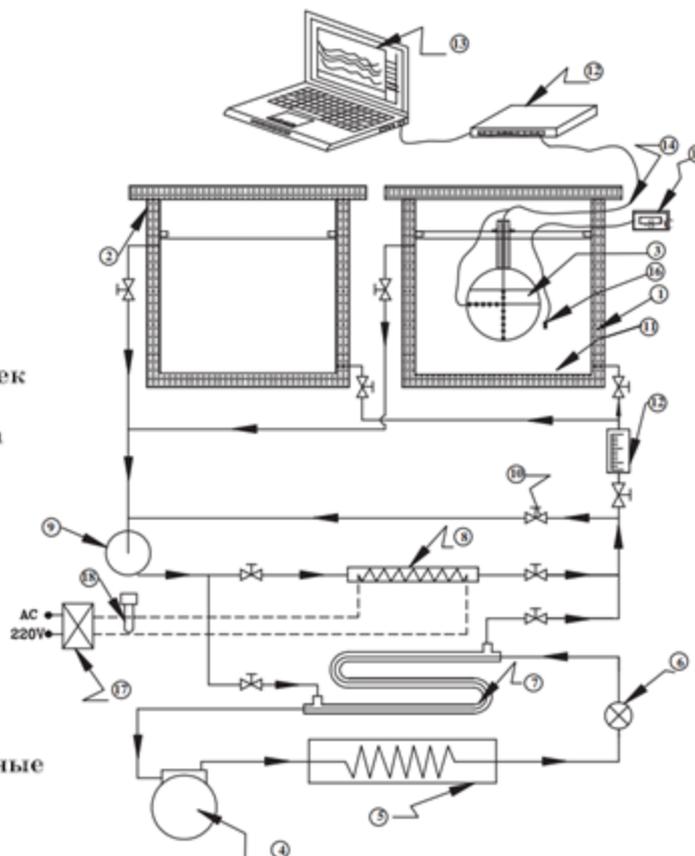


Рис. 2. Схема экспериментального стенда [4]

Выбор математической модели

В ходе работы рассмотрено несколько аналитических решений задачи Стефана для расчета времени полной кристаллизации сферы жидкости. После сравнения рассмотренных математических моделей выбрана наиболее подходящая модель для расчета зарядки аккумулятора холода.

В ходе экспериментов в диссертации [5] по теме «Экспериментальное моделирование процессов тепломассообмена при испарении, кристаллизации капельных зародышей града» определена формула для нахождения полного времени затвердевания капель в безразмерной форме:

$$F_0 = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{Sf}\right) \cdot \left(1 + \frac{c\Delta T}{L}\right),$$

где $F_0 = \frac{\lambda \cdot \tau}{\rho \cdot c \cdot R^2}$ – критерий Фурье; $Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda}$ – критерий Био; $Sf = \frac{c \cdot (T_{\phi} - T_{cp})}{L}$ – критерий Стефана; $\left(1 + \frac{c\Delta T}{L}\right)$ – комплекс, учитывающий переохлаждение капли перед затвердеванием.

Для определения полного времени затвердевания уравнение можно записать в виде:

$$\tau = \frac{\rho \cdot c \cdot R^2}{6\lambda} \cdot \left(1 + \frac{2\lambda}{\alpha \cdot R}\right) \cdot \left(1 + \frac{L}{c \cdot (T_{\phi} - T_{cp})}\right) \cdot \left(1 + \frac{c\Delta T}{L}\right), \quad (1)$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³; c – удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К); R – радиус капли, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); L – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг; T_{ϕ} – температура фазового перехода, °С; T_{cp} – температура теплоносителя, °С; ΔT – температура переохлаждения капли перед затвердеванием.

Недостатком этой математической модели является то, что в работе рассматриваются капли мелкого диаметра (~3 – 4 мм). Несмотря на данный недостаток, для расчета полного времени заморозки предлагается использовать формулу (1), где $\left(1 + \frac{c\Delta T}{L}\right) = 1$, так как переохлаждение сферы жидкости не происходит.

Подготовка исходных данных

Для использования выбранной математической модели необходимо привести исходные данные экспериментов к нужному виду:

1. Для расчета на основе эксперимента №1 модель колбы упрощена до сферы н-тетрадекана, помещенной в среду с температурой -6 °С. Коэффициент теплоотдачи $\alpha=300$ Вт/(м²·К) между колбой и теплоносителем определен путём численных расчетов. Увеличение площади теплообмена в процессе упрощения формы колбы с жидкостью до сферы жидкости было скомпенсировано путем уменьшения коэффициента теплоотдачи до 277 Вт/(м²·К).

2. В процессе расчета на основе эксперимента №2 сферическая капсула была упрощена до сферы воды в среде с температурой -8 °С, между которыми происходит теплообмен с коэффициентом теплоотдачи $\alpha = 364$ Вт/(м²·К), который был определен из результатов численного расчета в программе ANSYS Fluent. В эксперименте колба была наполнена на 80%, поэтому радиус сферы был уменьшен с 21 мм до 19 мм. Также при упрощении модели колбы с жидкостью до сферы жидкости другого радиуса произошло увеличение площади теплообмена – это было скомпенсировано путем уменьшения коэффициента теплоотдачи до 318 Вт/(м²·К).

Исходные данные для расчетов, которые включают в себя геометрические параметры колбы, свойства тетрадекана и условия системы, указаны в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные расчета

№ Расчета	λ , Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	R, мм	α , Вт/(м ² ·К)	c, Дж/(кг·К)	T _{ср} , °С	T _ф , °С	L, кДж/кг
1	0,145	762	32	277	2'198	-6	6,1	215
2	0,574	999	19	318	4200	-8	0	330

Численный расчет

Дополнительно проведен численный расчет времени зарядки на основе эксперимента №1 путем моделирования процесса зарядки в ANSYS Fluent. В процессе компьютерного моделирования процесса рассматривается осесимметричная модель колбы с тетрадеканом, горловина которой наполнена поролоном для минимизации воздействия окружающей среды на рабочую жидкость. Была создана структурированная сетка с шагом 0,0005 метров (рис. 3). Рассматривается модель колбы с тетрадеканом, горловина которой наполнена поролоном. Теплообмен между колбой с тетрадеканом и теплоносителем (водный раствор пропиленгликоля 40%) происходит с коэффициентом теплоотдачи $\alpha=300$ Вт/(м²·К), между горловиной, которая находится над уровнем теплоносителя, и средой – теплообмен при комнатной температуре 20 °С, $\alpha=15$ Вт/(м²·К).

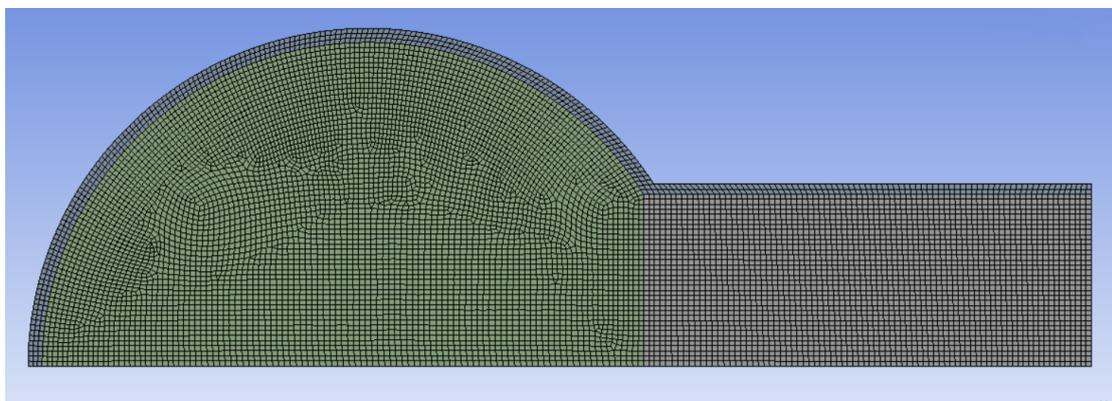


Рис. 3. Модель колбы с тетрадеканом

Результаты расчетов и экспериментов

Сравнение результатов аналитических расчетов и экспериментов представлено в табл. 2. Результаты расчета №1 хорошо согласовываются с результатами экспериментов. Высокая, по сравнению с расчетом №1, относительная погрешность расчета №2 объясняется высокой неопределенностью входных данных.

Таблица 2

Оценка адекватности результатов расчета

№ Расчета	$\tau_{\text{расч}}$, час	$\tau_{\text{эксп}}$, час	Абсолютная погрешность, час	Относительная погрешность, %
1	5,13	4,50	0,63	14,0
2	1,52	1,17	0,35	29,9

В результате численного расчета на основе эксперимента №1 время полной зарядки аккумулятора оказалось равным 5,25 часа (рис. 4). Этот результат оказался близок к расчетному времени, полученному в аналитическом расчете №1. Как и результат аналитического расчета, данный результат хорошо согласовывается с результатом эксперимента №1, который составляет 4,5 часа.

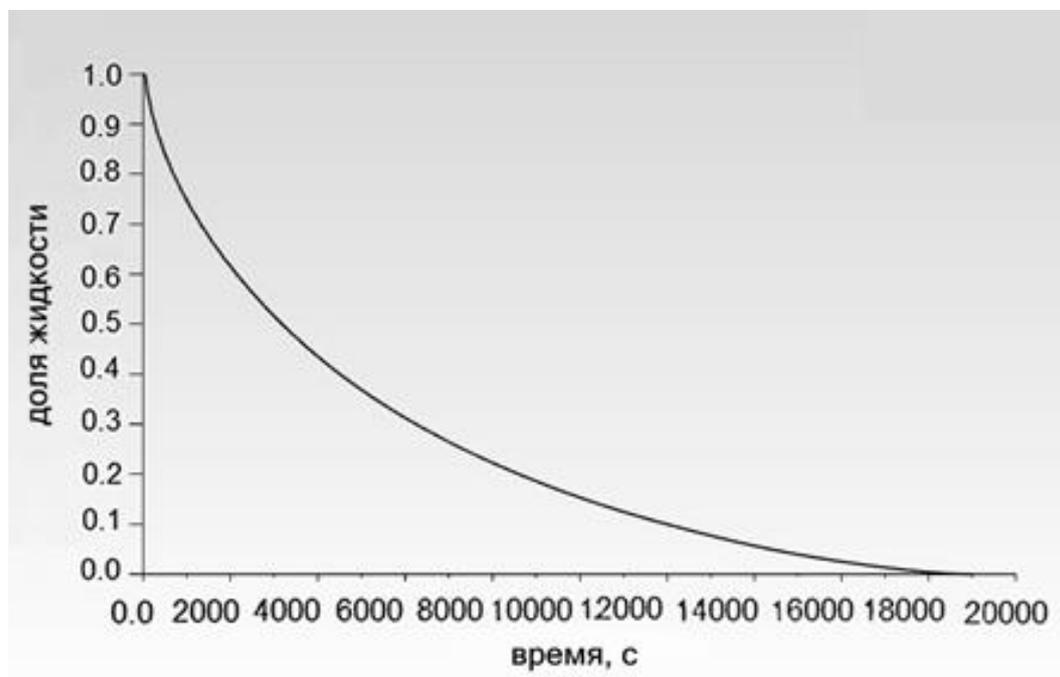


Рис. 4. Изменение доли жидкости в процессе зарядки

Выводы

Такая характеристика аккумулятора тепловой энергии как время полной зарядки является крайне важной для эффективного использования аккумулятора в системе хладоснабжения, поэтому оценка времени зарядки является одной из крайне необходимых задач при проектировании системы с использованием аккумулятора холода.

В итоге проделанной работы установлено, что математическая модель, описываемая уравнением (1), может быть использована для оценки времени полной зарядки аккумуляторов холода. Данный вывод подтверждается как результатами проведенных экспериментов с аккумуляторами холода, так и результатами численного расчета путем компьютерного моделирования в программе ANSYS Fluent.

Литература

1. Energy Storage Technology Roadmap 2014 Technical Annex (International Energy Agency).
2. Nazir, H., Batool, M., Bolivar Osorio, F. J., Isaza-Ruiz, M., Xu, X., Vignarooban, K., ... Kannan, A. M. Recent developments in phase change materials for energy storage applications: A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019. Vol. 129. 491–523.
3. Zakharova V., Kuznetsov P., Kalimzhanov D., Baranenko A.V. Experimental and numerical study of non-stationary solid-liquid phase transitions of n-tetradecane // *E3S Web of Conferences* - 2020, Vol. 178, pp. 01048

4. Балкарова С. Б., Экспериментальное моделирование процессов тепломассообмена при испарении, кристаллизации капельных зародышей града [Текст] : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 29.09.04. / Балкарова Светлана Борисовна; Кабардино-Балкарский Государственный университет им. Х.М. Бербекова. – Нальчик, 2004. – 126 с.
5. ElGhnam, R. I., Abdelaziz, R. A., Sakr, M. H., & Abdelrhman, H. E. An experimental study of freezing and melting of water inside spherical capsules used in thermal energy storage systems. *Ain Shams Engineering Journal*. 2012. Vol. 3(1). 33–48.

Закоулов Илья Сергеевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,
факультет инфокоммуникационных технологий,
студент группы К3440,
направление подготовки: 09.03.02 – Информационные
системы и технологии,
e-mail: zakoulov.ilya@ya.ru

Говоров Антон Игоревич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,
факультет инфокоммуникационных технологий,
ст. преподаватель,
e-mail: antongovorov@gmail.com

УДК 004.41

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ
ПРОВЕДЕНИЯ ГОРОДСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ**

И.С. Закоулов

Научный руководитель – ст. преподаватель А.И. Говоров

Аннотация

В работе рассмотрено проектирование системы проведения мероприятий по городскому ориентированию, в которых могут принимать участие одновременно несколько команд. Описана разработка системы, которая включает в себя мобильное Android приложение для участников, backend приложение для хранения и обработки данных и панель администратора для создания и редактирования соревнований. Проведена апробация системы с привлечением реальных пользователей.

Ключевые слова

Мобильное приложение, веб приложение, Android, Django, Vue, городское ориентирование.

Городское ориентирование – это одно из новых направлений активного отдыха. Данный вид спорта дает возможность по-другому взглянуть на город, узнать историю знакомых улиц. Краеведы и городские активисты находят уникальные и необычные места в каждом районе и придумывают к ним загадки, а участники соревнуются на время в поисках заданных пунктов.

Проведение городского ориентирования без использования информационных технологий обычно происходит при помощи специальных комплектов материалов, таких как карта города, маршрутные листы и бланки с загадками. В таком случае, участникам сразу доступны все задания, и они могут сами выбирать траекторию прохождения заданий. При этом, правильность ответов на задания проверяется уже в момент окончания соревнования. Данный подход не позволяет фиксировать точное время выполнения заданий.

На данный момент существует несколько аналогов, специализированных на проведении мероприятий по городскому ориентированию, которые представлены в сравнительной таблице.

Аналоги специализирующиеся на проведении мероприятий по городскому ориентированию

Аналог	Наличие информационной платформы для проведения соревнований	Соревнование для нескольких команд
«Бегущий город» [1]	нет	да
«Следопыт» [2]	нет	да
«Мир квестов» [3]	да	нет

Из таблицы можно увидеть, что аналогов, которые проводят соревнования одновременно для нескольких команд с использованием специальной информационной платформы, которая бы упростила проведение таких соревнований, на данный момент не существует.

В связи с этим было принято решение разработать информационную систему, состоящую из мобильного Android приложения для участников, backend приложения для хранения и обработки данных и панели администратора для создания и редактирования соревнований, а также произвести апробацию системы с привлечением реальных пользователей. Ознакомиться с архитектурой разрабатываемой системы можно на рис. 1.

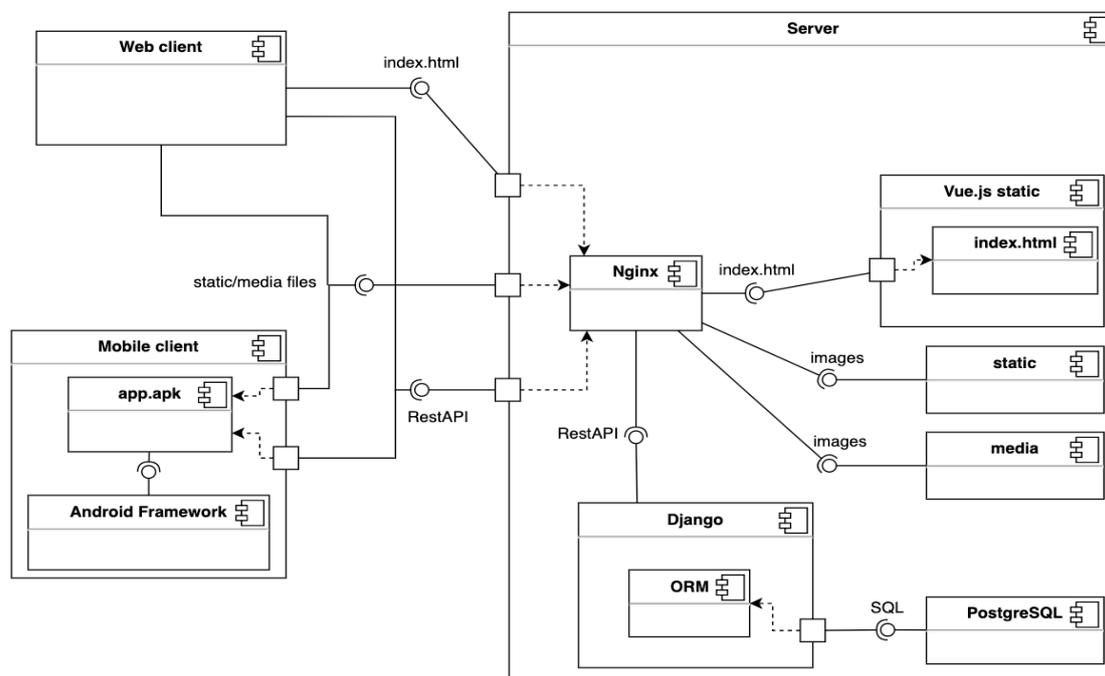


Рис. 1. Диаграмма компонентов разрабатываемой системы

После проведения опроса организаторов соревнований по городскому ориентированию к разрабатываемой системе были вынесены следующие требования:

- 1) создание и редактирование соревнований,
- 2) добавление нескольких вариантов ответов к заданию,
- 3) возможность участникам брать подсказки на задания за штрафное время,

- 4) возможность сразу нескольким командам-участникам присоединиться к соревнованию для одновременного прохождения,
- 5) просмотр результатов прохождения соревнования по каждой команде,
- 6) единый стиль и дизайн, которые будут использоваться в мобильном приложении и панели администратора,
- 7) в приложении должен отображаться счетчик времени, которое команда затратила на текущее задание и соревнование в целом.

Исходя из полученных требований к системе было выделено 6 сущностей, которые изображены на рис. 2.

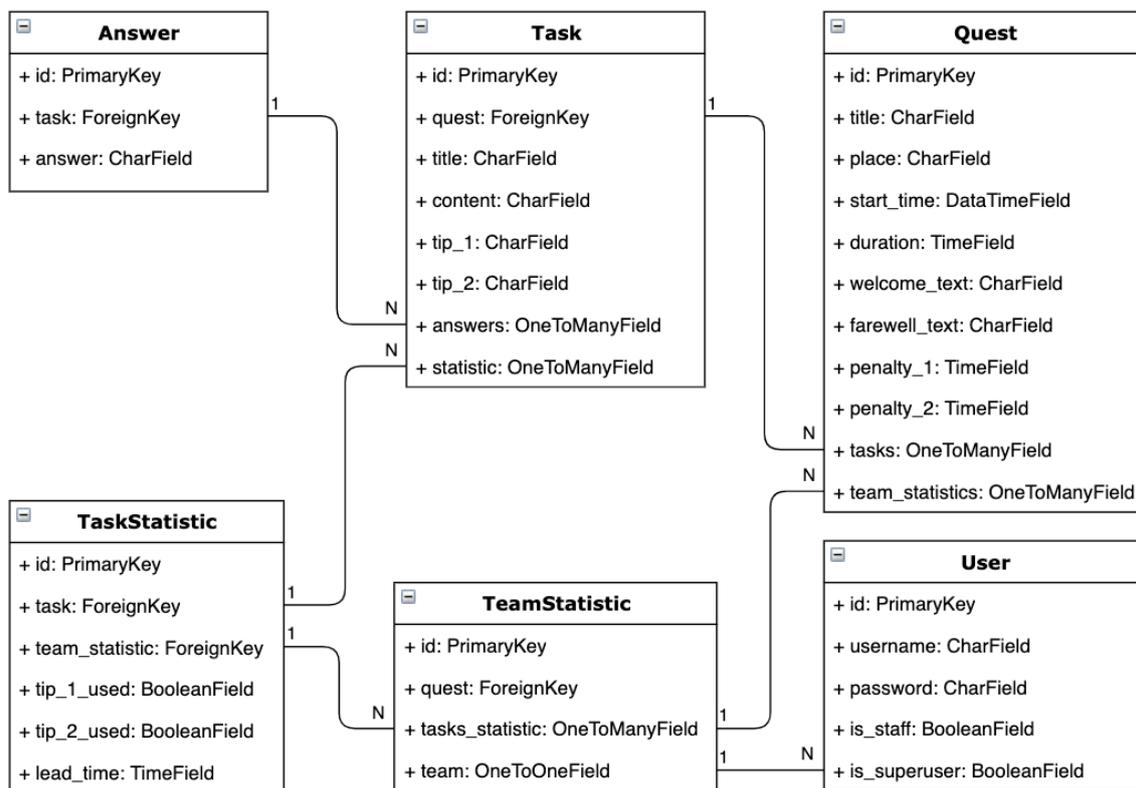


Рис. 2. Модель базы данных

Backend приложение реализовано на языке Python с использованием Django REST framework. В качестве базы данных используется PostgreSQL. Взаимодействие остальных компонентов системы с backend приложением происходит посредством запросов, составленных при помощи архитектурного стиля взаимодействия REST API.

Панель администратора реализована на языке JavaScript с использованием фреймворков Vue.js и Vuetify.js, последний из которых позволяет создавать веб-приложения в стиле Material Design. Панель администратора содержит несколько страниц, которые позволяют создавать и редактировать соревнования, создавать новые команды и просматривать результаты прохождения соревнования.

Клиентское приложение под платформу Android реализовано на языке Kotlin с использованием MVI архитектуры и подхода Single Activity. Приложение позволяет участникам авторизоваться в системе, используя логин и пароль, которые им сообщает организатор соревнования. После авторизации участники могут присоединиться к любому идущему или запланированному соревнованию. В процессе прохождения соревнования, участник видит текущее задание и может ввести на него ответ, а также воспользоваться одной из двух подсказок за штрафное время.

Автоматизация развертывания панели администратора и backend приложения была реализована при помощи Docker compose и Nginx. Для этого было создано 4 docker контейнера: *backend*, *frontend*, *nginx* и *database*, которые содержат Django приложение, Vue.js static, Nginx и PostgreSQL соответственно.

Апробация системы была произведена [4] при помощи Дома молодежи «Форпост» [5]. В ходе апробации было проведено 4 соревнования, в которых суммарно приняло участие 22 команды. Участниками и организаторами соревнований был выявлен ряд проблем, таких как автоматическое открытие подсказок, пропадание текущего задания в Android приложении и проблема с добавлением логотипа квеста в панели управления. Данные проблемы были успешно исправлены, и не были обнаружены при дальнейших испытаниях системы.

В ходе работы было рассмотрено проектирование системы проведения соревнований по городскому ориентированию, ее разработка и дальнейшая апробация с привлечением реальных пользователей. Разработанная система, в виде Android приложения, backend приложения и панели администратора показала свое преимущество в использовании в сравнении с проведением соревнований без специализированной платформы, поскольку данная система автоматизировала выдачу заданий, подсказок и проверку правильности ответов, а также позволила фиксировать точное время прохождения контрольных пунктов соревнования, для дальнейшего определения победителей.

В дальнейшей разработке системы планируется добавить возможность проведения отдельных соревнований для велосипедистов, добавление видео или аудио дорожки к заданиям и показ статистики прохождения непосредственно в самом приложении.

Литература

1. Бегущий город [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.runcity.org/ru/events/> (дата обращения: 01.07.2020).
2. Следопыт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sledopyt-moscow.ru/> (дата обращения: 01.07.2020).
3. Мир квестов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spb.mirkvestov.ru/categories/city-quests> (дата обращения: 01.07.2020).
4. ИТМО.NEWS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.itmo.ru/ru/news/8978/> (дата обращения: 01.07.2020).
5. Дом молодежи «Форпост» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dm-forpost.com/> (дата обращения: 01.07.2020).

Кинцель Никита Борисович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р3472,

направление подготовки: 44.03.04 – Профессиональное обучение,

e-mail: nikita.kintsel@yandex.ru

Мамутова Людмила Артемьевна

Год рождения: 1951

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

тьютор,

e-mail: mamutoval@mail.ru

УДК 742, 004.92, 378.16, 374.1

**РАЗРАБОТКА ОНЛАЙН-КУРСА
«ОСНОВЫ ЛИНЕЙНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ»**

Н.Б. Кинцель

Научный руководитель – тьютор Л.А. Мамутова

Работа выполнена в рамках инициативного проекта выпускной квалификационной работы «Разработка онлайн-курса «Основы линейной перспективы».

Аннотация

В работе описаны разработка и содержание онлайн-курса с открытым доступом «Основы линейной перспективы». В онлайн-курсе рассматриваются теоретические основы и правила построения линейной перспективы точек и прямых, приводятся примеры и вопросы для самоконтроля усвоения теоретического материала. Отличительной особенностью созданного онлайн-курса является подача обучающего материала в форме анимационных видеороликов с голосовым сопровождением.

Ключевые слова

Дистанционное обучение, электронный учебный продукт, теоретические основы линейной перспективы, анимационные видеоролики, учебные материалы.

В настоящее время востребованы и активно развиваются дистанционные формы обучения, в том числе онлайн-курсы. Под термином «онлайн-курс» понимается «вид электронного обучения, то есть организованный целенаправленный образовательный процесс, построенный на основе педагогических принципов, реализуемый на основе технических средств современных информационных технологий и представляющий собой логически и структурно завершённую учебную единицу, методически обеспеченную уникальной совокупностью систематизированных электронных средств обучения и контроля» [1]. Онлайн-обучение имеет ряд преимуществ перед традиционными видами обучения: возможность повторения при самостоятельном обучении, возможность просматривать учебный материал в удобном темпе и в удобное время, возможность обучения в дистанционном и смешанном формате.

Проведённый информационный поиск показал, что среди существующих онлайн-ресурсов нет онлайн-курса по теоретическим основам линейной перспективы, который бы имел необходимое содержание для понимания учащимися основ линейной перспективы. Так на видеохостинге YouTube размещены отдельные ролики, как

правило, в форме записи автора, иллюстрирующего свои слова рисунками, выполняемыми вручную по ходу урока. При этом большинство авторов, ограничивается только алгоритмом построения перспективы куба. Также представлены и серии из нескольких роликов, в которых показаны построения конкретных объектов. Как в отдельных роликах, так и в сериях, не объясняются теоретические основы, на которых базируются правила и алгоритмы построения линейной перспективы. Чаще всего правила не формулируются, а лишь делается упоминание о существовании таких правил, при этом некоторые авторы допускают неточности терминологии и ошибки построений. Для специалистов художественного профиля одним из основополагающих навыков является умение грамотно отображать пространственные объекты на плоскости, требующее знания не только алгоритмов построения, но и понимание теоретических основ. Поэтому разработка онлайн-курса «Основы линейной перспективы» является актуальной, а разработанный курс будет полезен студентам, изучающим дисциплины «Живопись», «Рисунок и пластическая анатомия» и «Архитектурная графика» и т.п.

Структура онлайн-курса и последовательность тем соответствуют учебному материалу, изложенному в учебнике М.Н. Макаровой [2]. Отличительной особенностью созданного онлайн-курса является подача обучающего материала в форме анимационных видеороликов (рис. 1). Такой подход является средством «в полной мере реализующим принцип наглядности педагогического дизайна электронных учебных продуктов» [3].

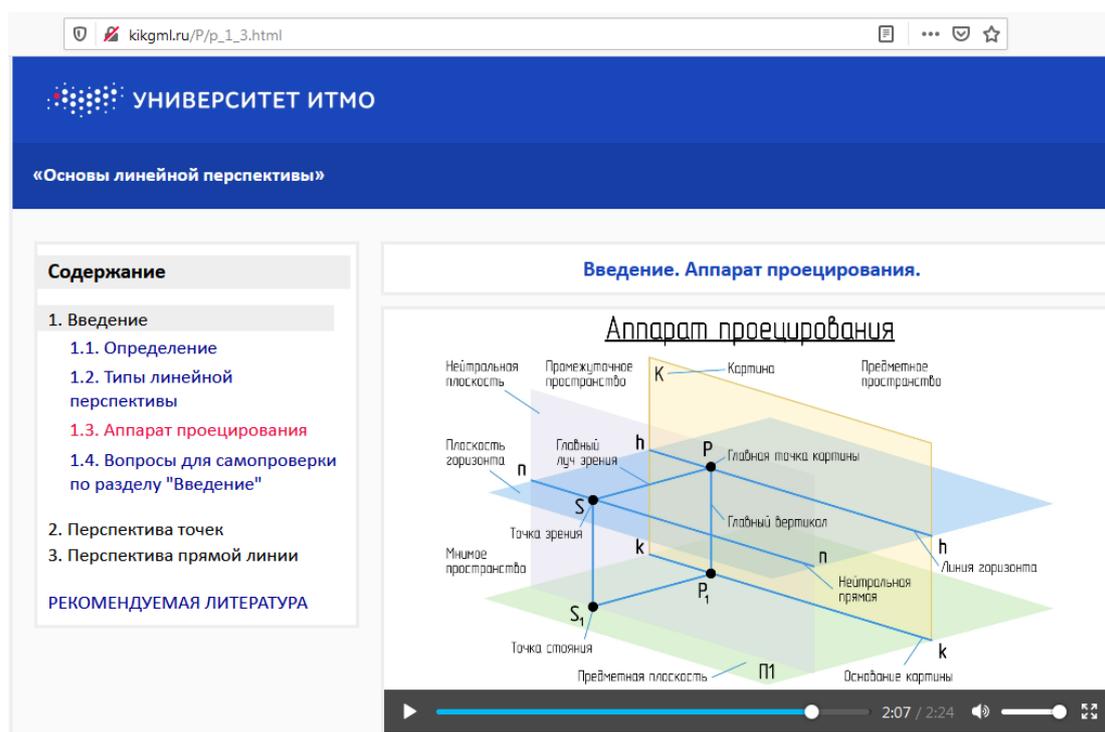


Рис. 1. Видеоролик на странице онлайн курса

Выбранный способ представления учебного материала в виде анимации в отличие от традиционной записи процесса вычерчивания «вживую» позволяет предварительно выверить и создать чертежи чисто и без ошибок. Это исключает необходимость воспроизведения процесса исправления неточностей в ходе дальнейшего многократного использования учебных материалов онлайн-курса. Кроме того, чертежи, необходимые для демонстрации принципа получения перспективных проекций, содержат множество линий, точек и обозначений (рис. 2), которые необходимо

разместить на рабочем поле так, чтобы чертеж был понятен, поэтому предварительная выверка элементов чертежей позволяет сделать качественные чертежи, удобные для восприятия, как при первом просмотре, так и при повторении учебного материала.

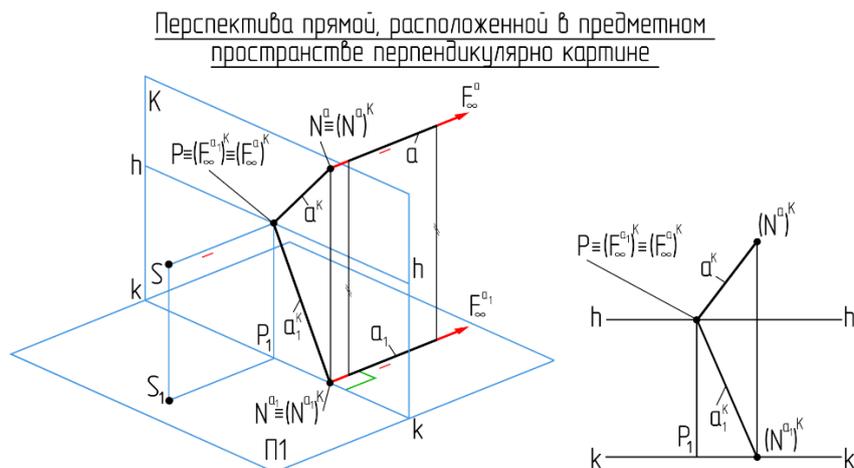


Рис. 2. Пример чертежа из видеоролика

Еще один фактор, существенно влияющий на улучшение восприятия учебных материалов, это точное согласование видеоряда и голосового сопровождения в обучающих видео. Поэтому в ходе разработки онлайн-курса текст, предназначенный для озвучивания видеороликов, создавался отдельно и заранее. При этом выполнялась проверка полноты и правильности изложения учебного материала с привлечением преподавателей, специалистов по линейной перспективе, также осуществлялась стилистическая проверка текста.

Параллельно с написанием текста для голосового сопровождения разрабатывались эскизы, на которых размечалось композиционное решение основных кадров, выполнялись раскадровки (рис. 3).

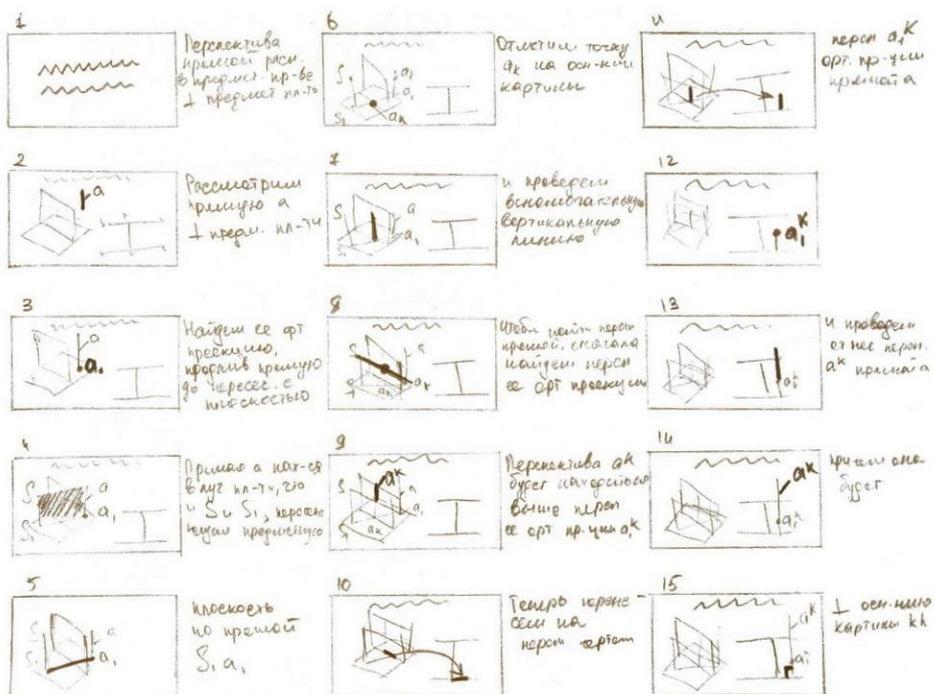


Рис. 3. Пример раскадровки

Создание раскадровки – трудоемкий, но обязательный этап при создании анимированного видеоролика. Раскадровка выполняется одновременно с написанием сценария и определяет порядок появления элементов в кадре и анимации необходимых эффектов, с которыми объекты появляются или движутся. Создание раскадровки позволяет сэкономить время при производстве видеороликов, так как дает возможность предварительно оценить композиционное решение кадра, расставить необходимые визуальные акценты и проконтролировать последовательность изложения учебного материала.

В созданном онлайн-курсе кроме видеороликов учебный материал представлен также текстом, изображениями финальных кадров видеороликов, иллюстрациями, заимствованными из свободных источников, и иллюстрациями картин художников, дополненных примерами перспективы рассматриваемых точек или прямых (рис. 4).

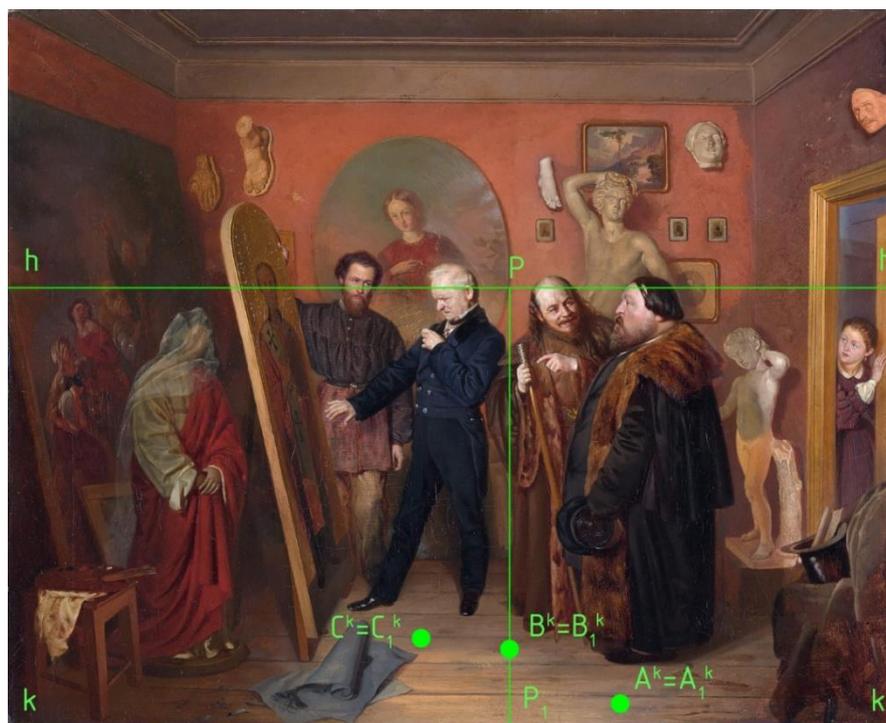


Рис. 4. Иллюстрация, дополненная примерами перспективы точек

В разработанном онлайн-курсе после разделов и подразделов для самопроверки предусмотрены контрольные вопросы закрытого типа с множественным выбором и проверкой ответов. Как отмечено в [4] «тестирование позволяет объективно оценивать полученные в результате освоения онлайн-курса знания, способствует улучшению организации и повышению качества учебной деятельности» и является эффективным методом проведения рефлексивно-оценочной части педагогического процесса, в особенности как инструмент дистанционного контроля знаний. В общей сложности разработано 100 контрольных вопросов.

Финальным этапом разработки онлайн-курса являлась верстка html-страниц, которые содержат обучающий материал. Предварительно были созданы компоновки титульной страницы и страниц с обучающим материалом. Необходимость создания отдельных компоновок обусловлена тем, что при верстке страниц должно быть точно определено положение функциональных зон интерфейса. Для осуществления навигации по темам онлайн-курса было реализовано меню, содержащее ссылки на html-страницы с обучающим материалом и опирающееся на разработанную ранее структуру онлайн-курса.

После заполнения страниц учебным материалом также проверялась работа кнопки «Наверх», позволяющей вернуться к началу страницы. Необходимость данной кнопки была обусловлена тем, что длина страниц с большим количеством обучающего материала превышает три экрана и, как следствие, требует от пользователя долгой прокрутки к началу страницы.

По завершении наполнения всех страниц обучающими материалами, онлайн-курс был загружен на сервер и выложен в открытый доступ на сайте kikgml.ru. После загрузки проверялось отображение страниц онлайн-курса в браузерах: Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera, Internet Explorer, Netscape, Safari, Microsoft Edge и Atom. При просмотре значительных отличий в отображении страниц отмечено не было.

Онлайн курс создан с учетом требований и рекомендаций по разработке онлайн-курсов платформы «Открытое образование» [5].

Для разработки использованы: программы Figma, Movavi Video Editor Plus, графический редактор Paint.NET и текстовый редактор Brackets.

Общее количество файлов онлайн-курса составило 101. Из них 31 html-страница, 22 из которых содержат обучающие видеоролики, остальные файлы – это иллюстрации финальных кадров видеороликов, иллюстрации из свободных источников и иллюстрации картин художников, дополненные примерами перспектив точек и прямых. Онлайн-курс полностью готов к внедрению в обучающий процесс указанных ранее дисциплин, а также может быть использован как самостоятельная учебная единица для самообразования.

Итого, в ходе работы создан онлайн-курс с открытым доступом «Основы линейной перспективы», в котором рассматриваются теоретические основы и правила построения линейной перспективы точек и прямых, приводятся примеры и вопросы для самоконтроля усвоения теоретического материала. Учебные материалы, включенные в онлайн-курс, содержат все элементы, необходимые для понимания и освоения теоретических основ линейной перспективы. Подача обучающего материала реализована преимущественно в форме анимационных роликов с голосовым сопровождением, что гарантирует удобство восприятия учебных материалов и возможность их многократного использования в ходе дистанционного обучения.

Литература

1. Гречушкина Н.В. Онлайн-курс: определение и классификация // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. №6. С. 125-134.
2. Макарова, М.Н. Перспектива: Учебник для высшей школы.- 4-е изд. М: Академический Проект 2020. - 477 с.
3. Исаев И.Ф., Клепикова А.Г. Технология педагогического дизайна в разработке электронных учебных материалов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-pedagogicheskogo-dizayna-v-razrabotke-elektronnyh-uchebnyh-materialov> (дата обращения 10.03.2021).
4. Попов А.В. Тестирование как метод контроля качества знаний студентов // Труды Санкт-Петербургского государственного институт культуры. 2013. С. 283–285.
5. Требования и рекомендации по разработке онлайн-курсов, публикуемых на национальной платформе открытого образования. URL: [hhhttps://cdn.openedu.ru/f1367c/npoed_rules_1.1.pdf](https://cdn.openedu.ru/f1367c/npoed_rules_1.1.pdf) (дата обращения: 18.04.2021).

Рожков Денис Алексеевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В3432,

направление подготовки: 16.03.01 – Световая инженерия,

e-mail: denis.rohkow@gmail.com

Гурович Андрей Маркович

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

к.т.н.,

e-mail: gk@ittspb.com

УДК 543.27.-8

**РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО
ДАТЧИКА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ С ОПОРНЫМ КАНАЛОМ
И СИНХРОННЫМ ДЕТЕКТОРОМ**

Д.А. Рожков

Научный руководитель – к.т.н. А.М. Гурович

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой дистанционного ИК-газоанализатора для детектирования горючих углеводородов, таких как метан, а также представлена разработанная оптическая схема дистанционного газоанализатора. В рамках работы также разработан макет прибора, для которого были получены расчетные и экспериментальные данные, показывающие основные характеристики дистанционного ИК-датчика.

Ключевые слова

Средний ИК-диапазон, дистанционный газоанализатор, горючий газ, метан, опорный канал, энергетическая оценка оптического датчика.

В настоящее время существует обширная классификация приборов для газового анализа. Для детектирования метана чаще всего применяются три вида газоанализаторов: полупроводниковый, пламенно-ионизационный и инфракрасный.

Основными особенностями ИК-газоанализатора являются высокая селективность и долговременная стабильность, что позволяет эффективно контролировать концентрацию веществ в газовых смесях. При этом возможны различные конструктивные исполнения датчика, однако на практике чаще всего применяются оптико-электронного газоанализаторы, портативные лазерные детекторы, волоконные датчики, однако разработка лазерных и волоконно-оптических газоанализаторов предполагает использование дорогостоящих компонентов, в отличие от оптико-электронных.

Возможно два варианта исполнения оптико-электронного ИК-газоанализатора. Первый вариант предполагает детектирование при контакте с веществом и чаще всего представляет собой камеру с источником и приемником оптического излучения. При попадании анализируемого газа внутрь камеры, часть излучения поглощается, благодаря чему возможно сделать вывод о количестве вещества в смеси. Использование такого датчика возможно только в местах возможных утечек.

Второй вариант позволяет проводить измерения дистанционно, так как на оптическом пути между источником и приемником излучения устанавливаются оптические компоненты, создающие параллельный пучок излучения, проходящий через анализируемый объем.

Для детектирования горючих газов применяют источники и приемники с рабочей длиной волны в среднем ИК-диапазоне, так как большинство веществ имеет полосы поглощения в этом диапазоне. Метан в ИК-области имеет четыре заметные полосы поглощения: 1,65 мкм, 2,3 мкм, 3,3 мкм, 7,66 мкм (рис. 1) [1, 2].

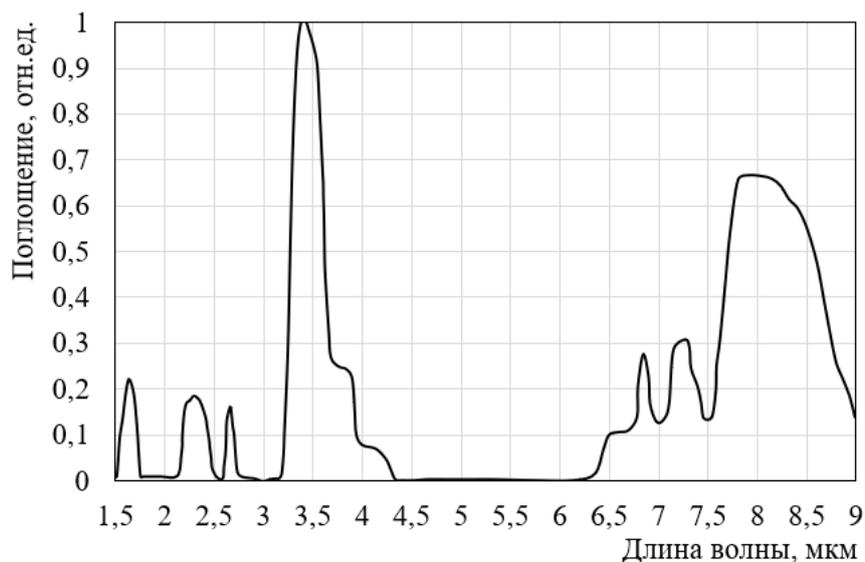


Рис. 1. Спектр поглощения метана в средней ИК-области

Использование диапазона от 3,0 до 3,5 мкм обладает рядом преимуществ для детектирования метана, благодаря самому большому значению коэффициента поглощения, небольшому фону солнечного излучения и минимальному влиянию атмосферных газов при детектировании.

В настоящее время существуют ИК-газоанализаторы для дистанционного детектирования, работающие на длинах волн 1,65 и 2,3 мкм [3, 4]. Появление отечественных источников и приемников с рабочей длиной волны 3,3 мкм позволяет разрабатывать приборы, способные обеспечить более высокую точность при детектировании.

В качестве источника излучения измерительного канала был выбран светодиод Lms34LED-CG производителя LED Microsensor NT LLC, так как в импульсном режиме оптическая мощность источника достигает 2 мВт, при этом угол расхождения излучения равен 15°.

Для использования синхронного детектирования, а также для решения задачи по определению концентрации метана, исключения ложных срабатываний и повышению точности измерений необходимо использование дополнительного источника в качестве опорного. Так как длина волны излучения источника опорного канала должна быть близкой к длине волны измерительного, возможно применение светодиода Lms43LED-CG, работающего в области длины волны 4,3 мкм.

Для снижения оптических потерь возможно использование одного приемника, при этом излучение измерительного и опорного каналов поочередно. В таком случае в качестве приемника возможно использование фотодиода Lms43PD-05-CG.

Для определения структуры прибора была разработана функциональная схема прибора (рис. 2).

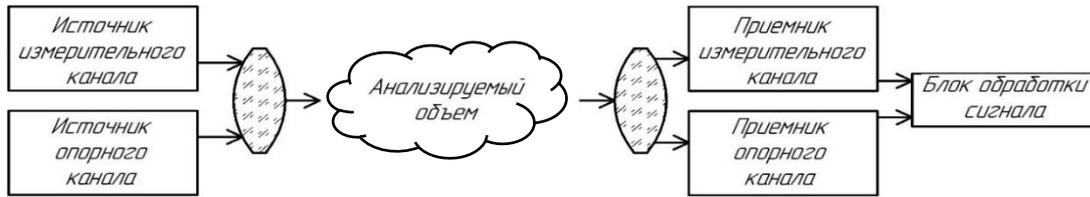


Рис. 2. Схема функциональная дистанционного ИК-газоанализатора с опорным каналом

Так как для работа прибора предполагает дистанционный газовый анализ, необходимо применение оптических компонентов для создания параллельного пучка лучей для обоих каналов в анализируемом объеме. Для проектирования оптической системы необходимо разработать оптическую схему, которая включает в себя информацию о входящих компонентах, а также их расположение относительно друг друга. На рис. 3 представлена схема оптическая принципиальная.

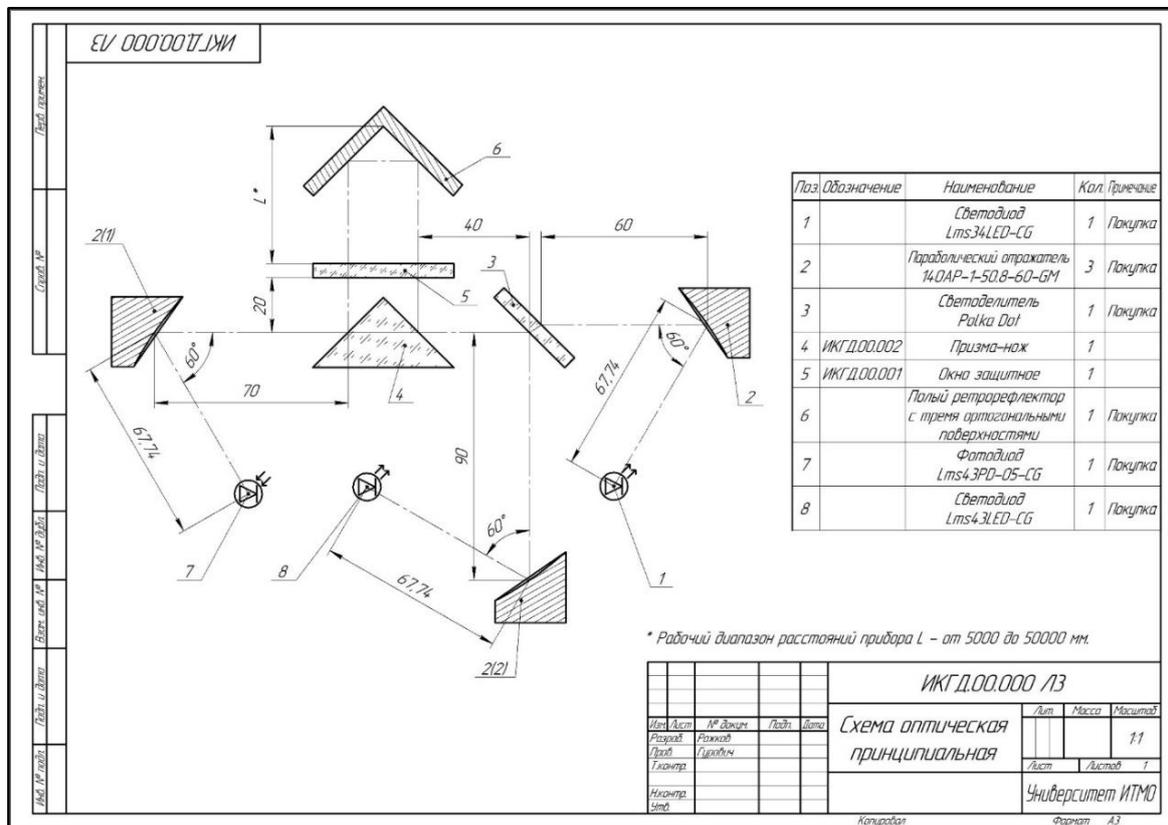


Рис. 3. Схема оптическая принципиальная дистанционного ИК-газоанализатора

Прибор представляет собой модуль, на удалении от которого устанавливается угловой отражатель, при этом анализируемый объем находится между модулем и угловым отражателем, что позволяет значительно увеличить чувствительность, так как излучение дважды проходит через газовую смесь.

Для разделения входного и выходного необходимо использование двух зеркал, расположенных под углом вплотную друг к другу. Для упрощения конструкции возможно использование призмы AP-90 с зеркальным покрытием на гранях. Также использование призмы позволяет значительно упростить процесс юстировки прибора. Создание параллельного пучка и фокусировки излучения на приемнике возможно с помощью параболических отражателей 14OAP-1-50.8-60-GM. Для согласования

направлений излучений измерительного и опорного светодиода возможно использование светодетектора Polka Dot CaF_2 производителя Thorlabs. На приборе также необходима установка защитного окна, прозрачного в рабочем спектральном диапазоне. В качестве материала для средней ИК области возможно использование фторида бария (BaF_2).

На количество энергии на фотодиоде при прохождении через оптическую систему в большей степени будут влиять потери на апертуре, рассеяние в параллельном пучке и потери на оптических компонентах.

Для разработанной оптической системы потери на апертуре $K_A = 0,42$. Расчетные потери на оптических компонентах для измерительного и опорного каналов равны соответственно $K_{abs_{и}} = 0,36$, $K_{abs_{о}} = 0,37$. Потери при рассеянии в параллельном пучке зависят от дистанции между прибором и уголковым отражателем (рис. 3). График зависимости представлен на рис. 4.

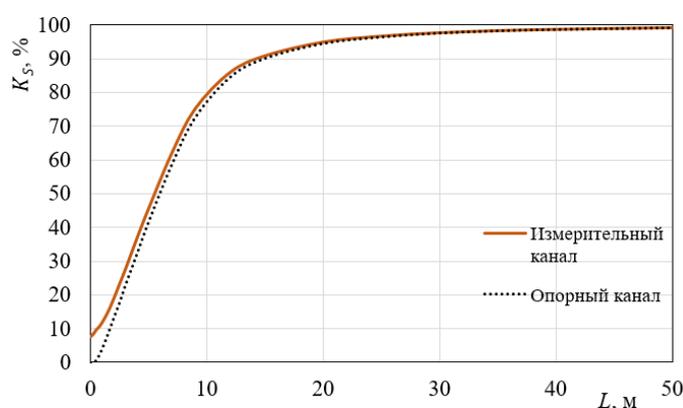


Рис. 4. Графики зависимости потерь при рассеянии K_S от расстояния между прибором и уголковым отражателем L для опорного и измерительного канала

Оценить величину оптической мощности на фотодиоде можно с помощью формулы (1), при этом значение мощности будет зависеть от расстояния между прибором и уголковым отражателем. График зависимости представлен на рис. 5.

$$P_0 = P_{LED} \cdot K_A \cdot K_S \cdot K_{abs} \quad (1)$$

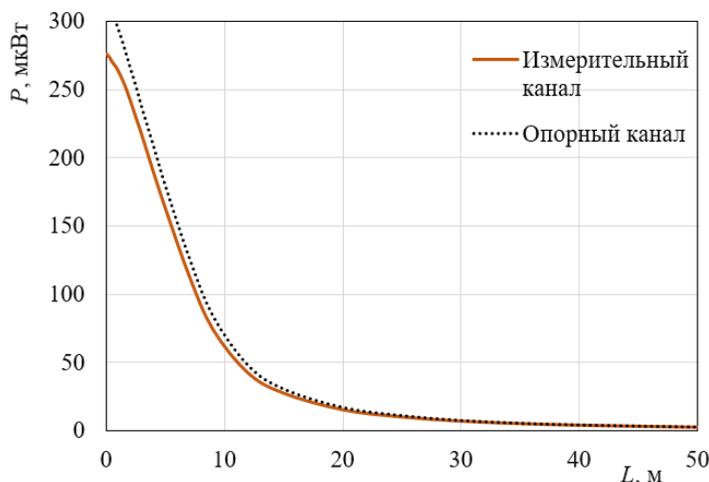


Рис. 5. Графики зависимости оптической мощности P на фотодиоде от расстояния между прибором и уголковым отражателем L для опорного и измерительного канала

Из графиков (рис. 5) известно, что величина оптической мощности на расстоянии между газоанализатором и угловым 50 метров равна примерно 2,8 мкВт при отсутствии метана, что позволяет проводить измерения с высокой точностью. Также важной особенностью прибора является то, что излучение проходит дважды через анализируемый объем, что также позволяет значительно увеличить точность при измерениях.

Для оценки характеристик ИК-газоанализатора был разработан макет прибора [5]. В качестве источника и приемника были использованы светодиод Lms34LED-CG и фотодиод Lms40PD-05-CG, работающие в спектральном диапазоне от 3,0 до 3,5 мкм.

Схема оптическая функциональная макета прибора представлена на рис. 6.

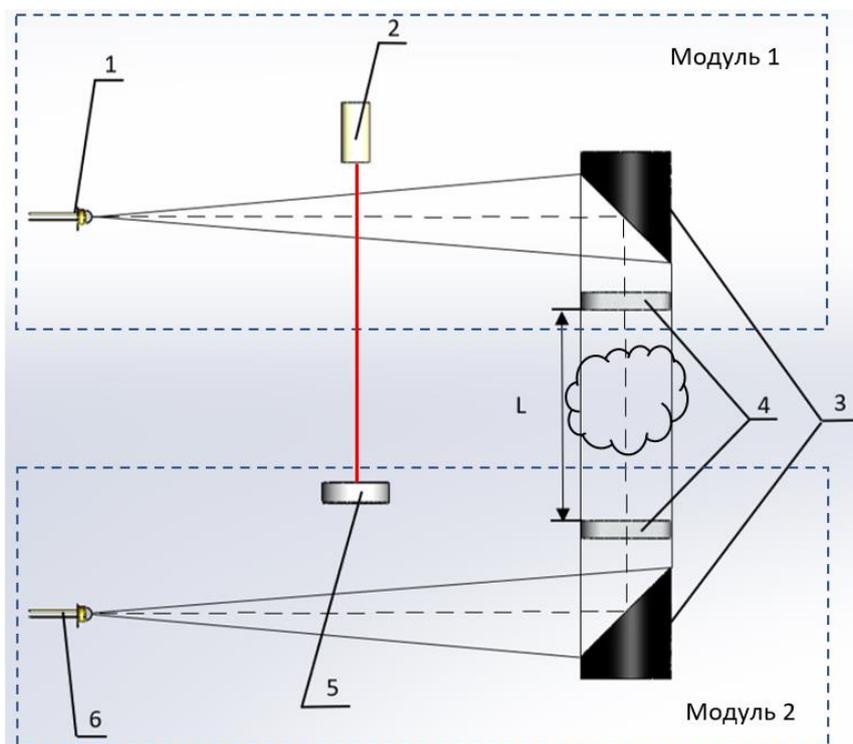


Рис. 6. Схема оптическая функциональная макета прибора

На рис. 6 изображены: 1 – инфракрасный излучающий диод Lms34LED-CG; 2 – лазер юстировочный; 3 – параболические отражатели MPD169-M01; 4 – защитные окна WG01050-E; 5 – зеркало для юстировочного лазера PF07-03-M01; 6 – фотоприёмник Lms40PD-05-CG.

Конструкция макета прибора разделена на два модуля, с параллельным пучком лучей между ними, для чего была использована пара одинаковых внеосевых параболических зеркал MPD169-M01 производителя Thorlabs. Также на каждом модулях макета было использовано защитное окно WG01050-E. Для грубой юстировки макета была использована пара «лазер-зеркало»

Для макета была проведена оценка чувствительности, которая заключалась в определении минимальная концентрация метана, которую способен детектировать датчик, а также оценке отношения сигнал/шум (рис. 7).

Для разработанного макета газоанализатора был проведен эксперимент, который заключался в регистрации падения напряжения при различных концентрациях метана. Измерения проводились на расстояниях 1 и 2 метра между модулями макета. Полученные графики представлены на рис. 8.

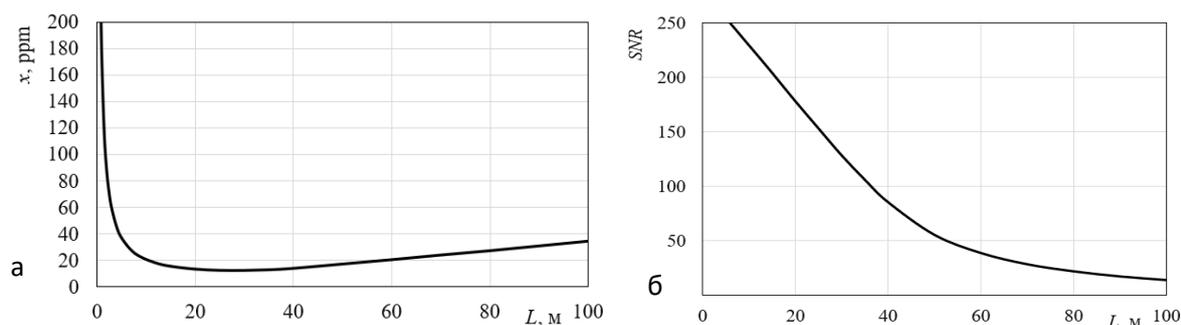


Рис. 7. Графики зависимости чувствительности макета:

а – график зависимости минимальной концентрации метана в анализируемой смеси, которую способен детектировать датчик, x в ppm от расстояния между модулями L ; б – график зависимости отношения сигнал/шум SNR от расстояния между модулями макета L

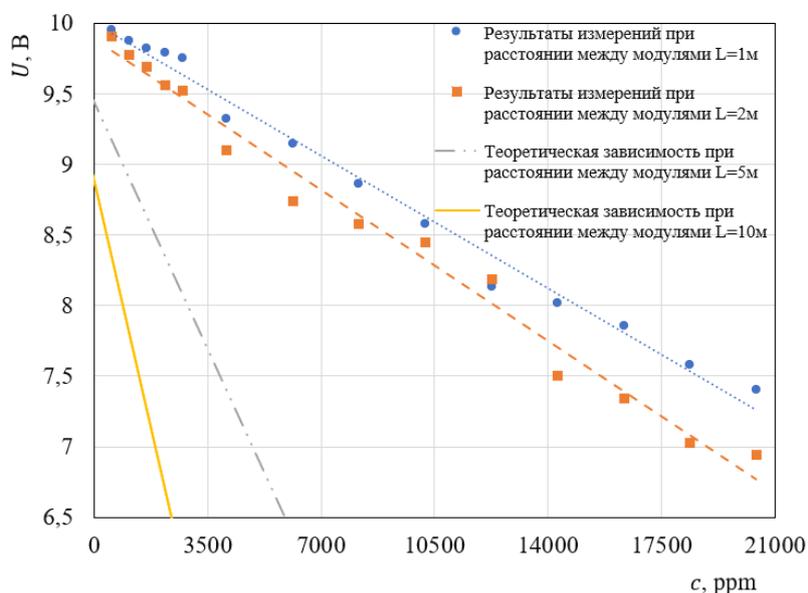


Рис. 8. Графики зависимости падения напряжения U на фотодиоде от концентрации метана c в ppm

Результаты измерений и вычислений показывают, что макет прибора применим для дистанционного детектирования горючих газов с высокой точностью измерений, а именно дистанция работы макета прибора до 100 метров, при этом минимальная детектируемая концентрация менее 40 ppm при дистанции от 5 до 100 метров.

Сравнение полученных характеристик с известными газоанализаторами для детектирования метана показал, что макет прибора уступает по некоторым характеристикам, например чувствительность и диапазон измерений, однако улучшение параметров возможно при реализации схемы с опорным каналом и опорного детектирования.

Литература

1. Вовна А.В. Применение оптико-абсорбционного метода для измерения объемной концентрации метана в условиях угольных шахт / Вовна А.В., Хламов М.Г. // Научные труды донецкого национального технического университета. 2007. № 13(121). С. 173 –179.

2. Рожков Д.А. Исследование возможностей современных отечественных источников и приемников среднего ИК-диапазона в целях создания газоанализаторов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. - [2021. электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/7160>, своб.
3. Crawford Massie. Design of a portable optical sensor for methane gas detection / Crawford Massie, George Stewart, George McGregor, John R. Gilchrist // Sensors and Actuators. – 2006 – 113. P. 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.03.105>.
4. WANG Wen-qing. Analysis of optical fiber methane gas detection system / WANG Wen-qing, ZHANG Lei, ZHANG Wei-hua. // Procedia Engineering. 2013. 52. P. 401–407. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.160.
5. Рожков Д.А., Гурович А.М., Чакчир С.Я., Гапонов П.А. Применение современных отечественных источников и приемников среднего ИК-диапазона для обнаружения горючих газов // Изв. Вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, №12. С. 1103 – 1111.

Семенов Александр Дмитриевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3437,

направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: aleksandr.semenov.dm@gmail.com

Фуртат Игорь Борисович

Год рождения: 1983

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н., профессор,

e-mail: cainenash@mail.ru

УДК 681.5.011

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ
РАЗМЕЩЕНИЯ АГЕНТОВ НА КРИВЫХ**

А.Д. Семенов

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.Б. Фуртат

Аннотация

В работе впервые представлен асимптотически устойчивый распределенный алгоритм, обеспечивающий неравномерное размещение агентов на отрезке. Показано, что ни запаздывания при передаче информации между агентами, ни изменения конфигурации сети- переключения - не влияют на достижение цели с помощью предложенного алгоритма. Результат обобщен на случай размещения на гладких кривых в евклидовом пространстве. Предложены методы оценки скорости сходимости рассматриваемых систем. Доказаны утверждения о свойствах соответствующих матриц состояний.

Ключевые слова

Мультиагентные системы, позитивные системы, запаздывания, переключения, метцлеровы матрицы, скорость сходимости.

Введение

Задачи управления мультиагентными системами изучаются уже несколько десятилетий [1] и в последнее время интерес к этой области растет впечатляющими темпами. Из семи самых цитируемых публикаций одного из наиболее авторитетных журналов по теории автоматического управления IEEE Transactions on Automatic Control, четыре посвящены мультиагентным системам, и все эти работы написаны в XXI веке. Высокий спрос на исследование и разработку алгоритмов управления сложными сетевыми системами объясняется широким спектром возможных применений как в других науках: экономике, биологии, энергетике, - так и в индустрии: организации производства или робототехнике.

Одной из наиболее простых по формулировке, однако не до конца исследованных задач теории мультиагентных систем, является задача о размещении агентов на отрезке. История этой проблемы восходит еще к работе Ж.Дарбу 1878 года, где доказывалась сходимость серединного многоугольника к правильному. Первая известная автору статья о равномерном размещении агентов на отрезке была опубликована в 1997 году, впоследствии были исследованы системы агентов второго порядка, системы сходящиеся за фиксированное время, предложены алгоритмы для

непрерывного и дискретного времени, рассмотрены протоколы управления устойчивые к запаздываниям при передаче информации и изменениям топологии сети.

Вопрос о неравномерном размещении рассматривался лишь в небольшом числе работ, хотя может иметь приложение на практике, например, для управления сенсорными сетями, особенно вкуче с обобщением задачи на случай гладких кривых. Неравномерное размещение позволяет увеличить продолжительность работы сенсорной сети, снизить стоимость, повысить точность сбора информации и так далее. Разработка и исследование децентрализованного алгоритма, обеспечивающего неравномерное размещение на отрезке и является целью данной работы.

Теоретические результаты данной статьи могут быть использованы, например, в задачах охраны периметров территорий наземными, надводными или воздушными беспилотными аппаратами, или для развертывания сетей датчиков, притом как на макро так и на микроуровне, где децентрализованность может оказаться более востребованной. Ярким примером области, в которой данная задача может оказаться актуальной - построение автомобильных самоорганизующихся сетей VANET. Сегодня в рамках концепции интернета вещей предпринимаются попытки создания интеллектуальных транспортных систем, которые обеспечивали бы большую безопасность на дорогах, а, возможно, выполняли бы и другие виды информационных услуг. Представим себе движение потока машин по горному серпантину, где существует, например, вероятность осыпей. Система предупреждения об опасности существенно увеличила бы безопасность движения, более того распределение машин в потоке разумно было бы сделать неравномерным - некоторые участки более опасные, чем другие. На примере этой инженерной задачи также видна важность анализа влияния таких помех как запаздывания и переключения.

Постановка задачи

Пусть дана группа из n мобильных агентов, пронумерованных от 1 до n . Обозначим через $x_i(t) \in \mathbb{R}$ положение i -ого агента в момент времени $t \geq 0, i = 1 \dots n$. Пусть динамика каждого из агентов описывается интегратором первого порядка, то есть:

$$\dot{x}_i(t) = u_i(t), i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Здесь $u_i(t) \in \mathbb{R}$ - скалярное управляющее воздействие.

Дан отрезок $[x_0, x_{n+1}]$ (x_0 и x_{n+1} - статичные агенты, они не меняют своего положения с течением времени), и закон размещения на нем $\theta: \{0, 1 \dots n+1\} \rightarrow \mathbb{R}$, где θ_i - целевое положение i -го агента (большее значение θ_i соответствует большему номеру). Задача состоит в том, чтобы разработать децентрализованный алгоритм управления агентами, обеспечивающий заданное размещение θ для $t \rightarrow \infty$ при любых начальных условиях.

Для случая равномерного размещения на отрезке ($\theta_i = x_0 + \frac{i}{(n+1)}$) в работе [2] был предложен алгоритм управления, устойчивый к запаздываниям при передаче информации и изменениям конфигурации сети - переключениям:

$$u_i = \frac{i - l_i}{r_i - l_i} \cdot (x_r - x_i) + \frac{r_i - i}{r_i - l_i} \cdot (x_l - x_i),$$

где

$$0 \leq l_i < i, i < r_i \leq n+1. \quad (2)$$

Здесь каждому агенту известны: его номер i , номера агентов-соседей l_i, r_i и расстояния между его положением и положениями соседей $x_l - x_i, x_r - x_i$ (они не обязательно ближайšie по номеру или по расстоянию). Агенту не известно положение прочих агентов и даже их общее число.

В этой работе рассматривается следующий вопрос: можно ли обобщить алгоритм (2) для случая заданного неравномерного размещения? Будет ли он по-прежнему устойчив к запаздываниям и переключениям?

Ответы на оба вопроса положительные, что и будет доказано в настоящей статье, также будут проанализирована скорость сходимости системы в зависимости от топологии сети.

Основные результаты

В этой секции будет представлен алгоритм, обеспечивающий размещение агентов на отрезке для заданного неравномерного распределения. Будут сформулированы теоремы об асимптотической сходимости системы при таком управлении в случаях без помех, с запаздываниями и переключениями. Затем будут представлены результаты исследования скорости сходимости систем с описанным управлением. Доказательства приводимых утверждений, а также подробную информацию о возможных областях применения разработанной теории можно прочитать в расширенной версии данной работы. Понятия и идеи из теории позитивных систем, которые используются ниже можно прочитать в книге [4].

Случай без помех

Для решения поставленной выше задачи о неравномерном размещении агентов на отрезке прежде всего определимся с объемом достаточной информации, которую нужно сообщить каждому из агентов. Как и в предшествующих работах каждому агенту должно быть известно расстояние до одного агента с меньшим номером и одного агента с большим. Однако теперь, вместо непосредственного знания номеров будет необходима некоторая информация о законе распределения. Точнее, каждому агенту должно быть сообщено «целевое отношение» в котором он должен в итоге разбить отрезок между своими соседями (следует повториться, что в данном случае не имеются в виду обязательно соседи по номеру или координате). Тот факт, что агенту i известно "целевое отношение" означает, что ему известны следующие значения $\frac{\theta_i - \theta_l}{\theta_r - \theta_l}, \frac{\theta_r - \theta_i}{\theta_r - \theta_l}$, где l – агент с меньшим номером (left), r – агент с большим номером (right).

Предлагается следующее управление, суть которого в том, что каждый агент стремится к среднему взвешенному положению своих соседей с коэффициентами, определяемыми "целевым отношением":

$$u_i = \frac{\theta_i - \theta_l}{\theta_r - \theta_l} (x_r - x_i) + \frac{\theta_r - \theta_i}{\theta_r - \theta_l} (x_l - x_i) \quad (3)$$

Теорема 1. Система (1), замкнутая алгоритмом (3) позитивна и асимптотически устойчива в положении $x = \theta$.

Случай с запаздываниями

Предположим теперь, что агенты получают информацию от своих соседей с некоторым постоянным запаздыванием τ . Тогда предлагается следующий закон

управления:

$$u_i = \frac{\theta_i - \theta_l}{\theta_r - \theta_l} \cdot (x_r(t - \tau) - x_i(t)) + \frac{\theta_r - \theta_i}{\theta_r - \theta_l} \cdot (x_l(t - \tau) - x_i(t)) \quad (4)$$

Теорема 2. Система, (1), позитивна и глобально асимптотически устойчива в положении $x = \theta$ для любого неотрицательного запаздывания τ .

Случай с переключениями.

Пусть теперь конфигурация сети связей между агентами может меняться с течением времени. Для такого случая предлагается следующий закон управления:

$$u_i = \frac{\theta_{i(\sigma)} - \theta_{l(\sigma)}}{\theta_{r(\sigma)} - \theta_{l(\sigma)}} \cdot (x_{r(\sigma)}(t) - x_{i(\sigma)}(t)) + \frac{\theta_{r(\sigma)} - \theta_{i(\sigma)}}{\theta_{r(\sigma)} - \theta_{l(\sigma)}} \cdot (x_{l(\sigma)}(t) - x_{i(\sigma)}(t)), \quad (5)$$

где $\sigma = \sigma(t)$ – закон переключения.

Теорема 3. Система (1, 5) позитивна и глобально асимптотически устойчива в положении $x = \theta$ для любого заданного закона переключения σ .

Случай с запаздываниями и переключениями

Теперь о совместном воздействии запаздываний и переключений. Пусть управление имеет вид

$$u_i = \frac{\theta_{i(\sigma)} - \theta_{l(\sigma)}}{\theta_{r(\sigma)} - \theta_{l(\sigma)}} \cdot (x_{r(\sigma)}(t - \tau) - x_{i(\sigma)}(t)) + \frac{\theta_{r(\sigma)} - \theta_{i(\sigma)}}{\theta_{r(\sigma)} - \theta_{l(\sigma)}} \cdot (x_{l(\sigma)}(t - \tau) - x_{i(\sigma)}(t)) \quad (6)$$

Здесь, $i = 1, \dots, n$, $0 \leq l_i^{(s)} < i$, $i < r_i^{(s)} \leq n + 1$, $s = 1, \dots, N$, τ - постоянное запаздывание.

Теорема 4. Система (1, 6) асимптотически устойчива в положении $x = \theta$ для всякого неотрицательного запаздывания τ и любого наперед заданного закона переключения σ .

Сравнение скоростей сходимости

Как было замечено еще в статье [2], феномен ускорения сходимости при введении в систему переключений требует отдельного исследования. Данный раздел посвящен методам сравнения скоростей сходимости систем с разными топологиями сети. Ввиду краткости формата излагаются только наиболее важные результаты. В данной части работы мы не будем рассматривать влияние запаздываний и ограничимся лишь сравнением линейных систем.

Нет строгого определения понятия скорости сходимости, и есть множество параметров, оценка которых в той или иной степени отвечает на вопрос насколько быстро сходится система. В данной работе за скорость сходимости системы вида $\dot{x}(t) = Ax(t)$ (ясно, что рассматриваемые выше системы приводимы к такому виду) отвечает минимальное по модулю вещественной части собственное число матрицы A (будем называть его первым собственным числом). Безусловно, такая оценка не учитывает, например, влияние "вековых" членов (слагаемых в решении дифференциального уравнения, возникающих при совпадении собственных чисел матрицы состояния). Однако моделирование показывает, что влияние их в

действительности не столь велико, а сравнение собственных чисел имеет смысл как структурная характеристика и подходит, следовательно, для описания процессов в системах с переключениями. Понятия из теории графов, которые используются далее хорошо определены в работе [3].

Перейдем к результатам

Теорема 6. Увеличение элементов метцлеровой матрицы не уменьшает её первое собственное число.

Представленная выше теорема может оказаться полезным инструментом для сравнения сложных циклов и формирования оценок сверху на модуль наибольшего по вещественной части собственного числа.

Прямым следствием Теоремы 6, например, является следующее наблюдение:

Теорема 7. Модуль первого собственного числа сложного цикла не превосходит модуля первого собственного числа простого цикла, входящего в него.

Действительно, добавление ребра в графе соответствует добавлению элемента в матрицу.

Также из всего сказанного выше следует нестрогое эвристическое правило: чем сложнее структура, тем медленнее сходится соответствующая динамическая система.

С помощью описанного выше метода, а также некоторых других теорем о свойствах собственных чисел матрицы (в частности теоремы о кругах Гершгорина) удалось доказать весьма примечательный с практической точки зрения результат: самая медленная система равномерного размещения – это система, в которой каждый агент смотрит на ближайших по номеру соседей. Этот результат показывает, кроме прочего, что рассмотрение алгоритмов управления с переключениями может быть выгодным не только из-за повышения отказоустойчивости системы, но и для ускорения ее работы.

Подводя итог этой части статьи, кратко сформулирую возможный порядок действий, которые помогут оценить первое собственное число метцлеровой матрицы:

1. Выделить в матрице сложные и простые циклы, иными словами, выделить строго связные компоненты. При решении инженерных задач обычно это сделать проще, ибо у этих компонент есть физический смысл.

2. Для каждого из циклов получить оценки на первое собственное число матрицы, сравнивая структуру цикла с прочими структурами, получающимися добавлением или убиранием ребер. Структуры для сравнения разумно выбирать простые для расчетов, имеющие некоторый изученный вид (простые циклы, или, например, графы, соответствующие матрицам Тёплица).

3. Памятуя о том, что множество собственных чисел блочно-треугольной матрицы есть объединение собственных чисел диагональных блоков, сформировать оценку первого собственного числа целого графа.

Заключение

В данной работе впервые предложен и обоснован распределенный алгоритм неравномерного размещения группы мобильных агентов на отрезке гладкой кривой. Доказана асимптотическая устойчивость алгоритма для следующих случаев: без помех; с запаздываниями при передаче информации; с изменениями конфигурации сети - переключениями; а также случая, когда присутствуют и запаздывания, и переключения. Разработаны методы оценки скорости сходимости таких систем. Полученная теория может быть полезна в практических приложениях и для дальнейшего развития теории управления мультиагентными системами. В частности, с помощью описанных выше инструментов можно сконструировать алгоритм для эквидистантного размещения на произвольной гладкой кривой, притом расстояние может пониматься по-разному, как в евклидовом, так и, например, в геодезическом смысле. Устойчивость к запаздываниям

и переключениям делает предложенный алгоритм управления пригодным для прямого использования в инженерных задачах.

Дальнейшие исследования предполагают углубленное изучение свойств таких систем, а также создание алгоритмов для систем интеграторов второго порядка и распространение теории, созданной для непрерывных систем на дискретные.

В завершение хочу поблагодарить А.Л.Фрадкова и А.Ю.Александрова за неоценимую помощь в написании этой работы.

Литература

1. Проскурников А.В., Фрадков А.Л. Задачи и методы сетевого управления //Автоматика и телемеханика. 2016. No. 10. С. 3-39.
2. A. Aleksandrov, A. Fradkov and A. Semenov, "Delayed and Switched Control of Formations on a Line Segment: Delays and Switches Do Not Matter," in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 65, no. 2, pp. 794-800, Feb. 2020, doi: 10.1109/TAC.2019.291899.
3. M. Mesbahi and M. Egerstedt, Graph Theoretic Methods in Multiagent Networks, Princeton and Oxford: Princeton Univ. Press, 2010.
4. L. Farina and S. Rinaldi, Positive Linear Systems: Theory and Applications, New York: Wiley, 2000.

Тальчиков Павел Сергеевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

студент группы №L3417,

направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии,

e-mail: pavel.talchikov@gmail.com

Алоджанц Александр Павлович

Год рождения: 1969

Университет ИТМО,

институт перспективных систем передачи данных,

д.ф.-м.н., профессор,

e-mail: alexander_ap@list.ru

УДК 53.08

**КВАНТОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ НА ОСНОВЕ
ЗАПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ ФОКА**

П.С. Тальчиков

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор А.П. Алоджанц

Аннотация

В работе рассмотрена актуальная задача использования связанных (запутанных) состояний квантовых солитонов для целей метрологии – измерения и оценки малых сдвигов в плечах интерферометра Маха-Цендера. Проанализированы условия, приближенные к реальным, когда в плечах интерферометра присутствуют одинаковые потери, моделируемые с помощью фиктивных светоделителей.

Ключевые слова

Квантовая метрология, N00N-состояние, предел Гейзенберга, солитоны, информация Фишера.

Квантовая метрология – одно из наиболее многообещающих применений современных квантовых технологий. Ее цель - измерение различных физических величин с максимально возможной точностью; достижение предельных фундаментальных ограничений точности таких измерений (ограничений вследствие наличия квантовых флуктуаций). Основным инструментом квантовой метрологии является прецизионная оптическая и атомная интерферометрия. Сообщается, что применение атомных интерферометрических устройств выходит за рамки лабораторных исследований и может быть полезно для проверки фундаментальных законов природы (проверка фундаментальных констант, регистрация гравитационных волн, поиск темной материи), в геофизике (мониторинг поднятия континентального шельфа и движения подземных вод), поиске полезных ископаемых (анализ плотности и общей намагниченности горных пород) и ряде других сфер [1].

Основная задача, решаемая в данной работе, заключается в рассмотрении интерферометрии с когерентными и запутанными состояниями частиц в неидеальных интерферометрах, допускающих потери небольшого числа частиц, а также в анализе минимально возможной ошибки оценки измеряемого сдвига фазы между пучками света в двух плечах интерферометра при данных условиях.

Процедура прецизионной интерферометрии заключается в измерении разности фаз между двумя пучками света в плечах интерферометра (рис. 1). В свою очередь фаза

может быть связана с различными измеряемыми физическими величинами в зависимости от назначения прибора. При этом точность измерения зависит от числа задействованных фотонов. Обычно исследования в сфере квантовой метрологии проводятся на интерферометрах Майкельсона (ИМ) или Маха-Цендера (ИМЦ), который представлен на рис. 2.

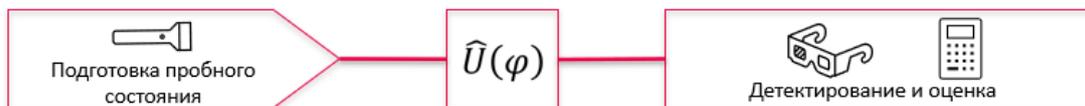


Рис. 1. Принцип квантовой метрологии на основе интерферометрии. Пробное состояние частиц испытывает сдвиг фазы φ ($\hat{U}(\varphi)$ – оператор сдвига фазы), затем оно детектируется и происходит оценка обнаруженного фазового сдвига

Существует соотношение неопределённости для интерферометрии

$$\Delta N \cdot \Delta\varphi \geq 1, \quad (1)$$

где $\Delta N = \sqrt{\langle \hat{N}^2 \rangle - \langle \hat{N} \rangle^2}$ – дисперсия числа частиц, количественная характеристика квантовых флуктуаций числа частиц N . Аналогично $\Delta\varphi$ – дисперсия фазы.

При наличии источника когерентного излучения можно добиться точности, известного в классической метрологии как предел дробового шума, а в квантовой метрологии – стандартный квантовый предел (СКП). Переписав (1) в виде

$$\Delta\varphi \geq \frac{1}{\Delta N}, \quad (2)$$

а также принимая, что $\Delta N = \sqrt{N}$ [2], из (2) получается выражение для СКП:

$$\Delta\varphi_{\text{СКП}} \geq \frac{1}{\sqrt{N}}.$$

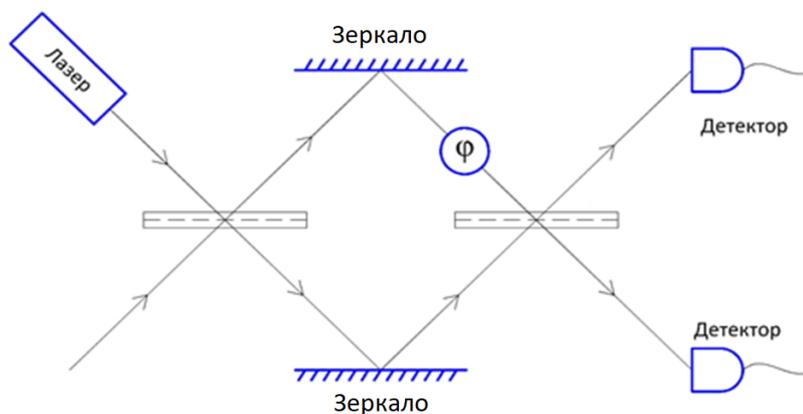


Рис. 2. Схема интерферометра Маха-Цендера (ИМЦ); φ – разность фаз в его плечах

При использовании сжатых состояний можно добиться измерений более точных, чем СКП. Сжатыми называются состояния, при которых дисперсия флуктуаций одной из сопряженных компонент больше другой, например, в (2) дисперсия фазы $\Delta\varphi$ может быть уменьшена за счёт увеличения дисперсии числа частиц ΔN . С помощью таких состояний достигается предел Гейзенберга (ПГ), согласно которому ошибка оценки измеряемого сдвига фазы равна

$$\Delta\varphi_{ПГ} \geq \frac{1}{N}. \quad (3)$$

При рассмотрении реального интерферометра обязательно следует принять во внимание проблему потерь частиц. Дело в том, что неклассические состояния, в особенности запутанные, очень чувствительны к потерям даже небольшого числа частиц. В данной работе исследуется случай, когда потери в системе фиксированы и определяются параметром $\gamma = const$. При рассмотрении ИМЦ потери в его плечах можно смоделировать с помощью фиктивных светоделителей [3]. Модель такого интерферометра представлена на рис. 3. Обозначив коэффициент потерь на светоделителе как γ , а его прозрачность как $\eta = 1 - \gamma$, можно записать выражение для стандартного интерферометрического предела (СИП), которое при наличии потерь в обоих плечах имеет вид

$$\varphi_{СИП} = \frac{1}{\sqrt{(1-\gamma)N}} = \frac{1}{\sqrt{\eta N}}, \quad (4)$$

где N – количество фотонов [3].

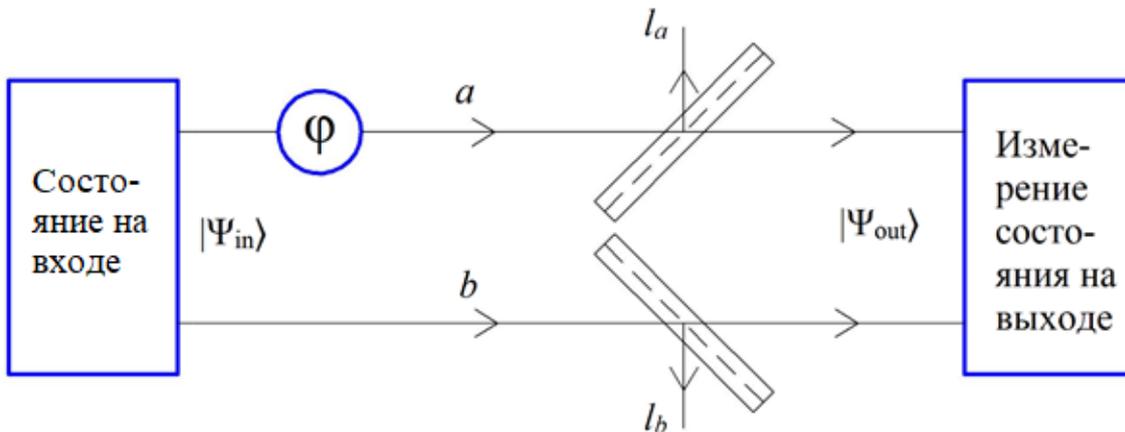


Рис. 3. Модель интерферометра Маха-Цендера с потерями в обоих плечах вследствие наличия фиктивных светоделителей, удаляющих l_a и l_b частиц из соответствующих каналов, $|\Psi_{in}\rangle$ – входное состояние, $|\Psi_{out}\rangle$ – состояние на выходе, φ – измеряемый сдвиг фазы

В самом общем виде входное двумодовое (моды a и b) состояние с определенным числом фотонов N может быть определено выражением

$$|\Psi_{in}\rangle = \sum_{n=0}^N A_n |N-n\rangle_a |n\rangle_b, \quad (5)$$

где $|N - n\rangle_a |n\rangle_b$ обозначает двумодовое состояние Фока для N фотонов, A_n – амплитуда соответствующего слагаемого. С учётом условия нормировки (5) на единицу, выполняется соотношение $\sum_n |A_n|^2 = 1$.

В ИМЦ можно рассмотреть фотоны в N00N-состоянии, которое является двухмодовым, максимально-запутанным по пути подтипом состояния кота Шредингера. В данном состоянии все частицы находятся либо в верхней моде a , либо в нижней моде b , и невозможно предсказать, в какой именно. Фазовый сдвиг φ в плечах интерферометра можно задать оператором

$$\hat{U}(\varphi) = \exp(i\varphi\hat{n}),$$

где \hat{n} – оператор числа фотонов [4]. Таким образом, N00N-состояние с учетом сдвига фазы можно записать как

$$|N00N\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|N_a\rangle|0\rangle_b + \exp(i\varphi N)|0_a\rangle|N\rangle_b),$$

что дает определенное преимущество, позволяющее достичь предела Гейзенберга (выражение (3)) при условии отсутствия потерь в интерферометре.

На вход интерферометра также могут подаваться связанные светлые солитоны, поведение которых можно рассмотреть через так называемую модель джозефсоновских контактов [5]. Рассмотрим конденсат Бозе-Эйнштейна, запертый в ловушке, сформированной двумным потенциалом. Распределение плотности вероятности $|\Psi\rangle^2$ данной системы представлено на рис. 4.

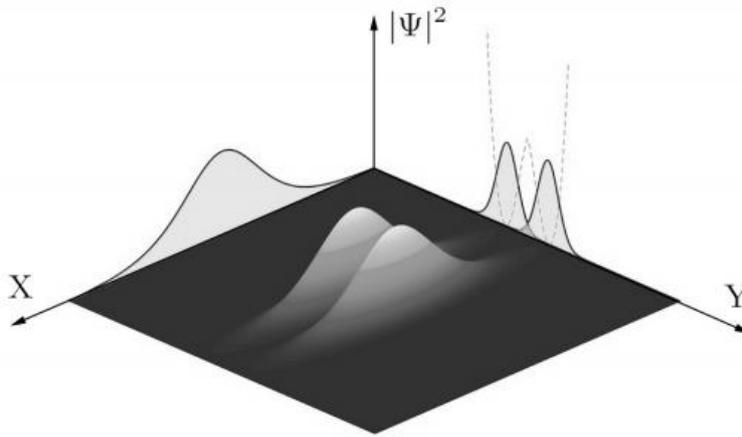


Рис. 4. Распределение плотности вероятности $|\Psi\rangle^2$ связанных конденсатов, которые в направлении Z и Y ограничены запирающим потенциалом и имеют гауссово распределение волновых функций, ограничение в направлении X зависит от свойств исследуемой среды

Пусть $z = (N_2 - N_1)/N$ – разность населенностей двух ям и $\theta = \theta_2 - \theta_1$ обозначает разность коллективных фаз двух конденсатов. Запись гамильтониана в переменных z и θ принимает вид

$$H = kN\left(-\frac{A}{2}z^2 - (1 - 0.21z^2)(1 - z^2) \cos[\theta]\right),$$

где k – скорость туннелирования частиц, а

$$\Lambda = \frac{u^2 N^2}{16k},$$

в котором u – параметр Керровской нелинейности среды, является ключевым параметром, определяющим различные режимы динамики солитонов [5]. При рассмотрении данной модели связанных светлых солитонов особое внимание стоит уделить тому, что при повышении параметра Λ происходит квантовый фазовый переход Мотта от когерентного режима к режиму Фока. Например, для числа частиц $N = 300$ данный фазовый переход происходит при $\Lambda = 2.0009925$ [5].

Предельная точность квантовой метрологии может быть оценена с помощью так называемой квантовой границы Крамера-Рао как $\Delta\varphi = 1/\sqrt{F_Q}$, где F_Q – информация Фишера. При наличии потерь информация Фишера определяется следующим выражением:

$$F_Q = 4 \left(\sum_{n=0}^{\infty} n^2 A_n^2 - \sum_{l_b=0}^N \sum_{l_a=0}^{N-l_b} \frac{(\sum_{n=l_b}^{N-l_a} n A_n^2 B_{l_a l_b}^n)^2}{\sum_{n=l_b}^{N-l_a} A_n^2 B_{l_a l_b}^n} \right),$$

где

$$B_{l_a l_b}^n = \binom{N-n}{l_a} \binom{n}{l_b} \eta_a^{N-n} (\eta_a^{-1} - 1)^{l_a} \eta_b^n (\eta_b^{-1} - 1)^{l_b},$$

в котором η_a и η_b – коэффициенты прозрачности фиктивных светоделителей в плечах интерферометра a и b , определяет вероятность потерять l_a и l_b частиц из каналов ИМЦ в соответствии со схемой на рис. 3.

В среде MATLAB были получены графики зависимости ошибки оценки минимально измеряемого сдвига фазы $\Delta\varphi_{\min}$ от количества частиц N для солитонов в N00N-состоянии (при $\Lambda > 2$, т. е. после фазового перехода Мотта) и при различных управляющих параметрах Λ вблизи точки фазового перехода для различных показателей потерь частиц в интерферометре, определяемых коэффициентом пропускания фиктивных светоделителей η . Помимо данных графиков также отображены стандартный интерферометрический предел (выражение (4)) и предел Гейзенберга (выражение (3)). Результаты представлены на рис. 5. Число частиц, при котором точность N00N-состояния максимальна, определяется как

$$N_0 = -2 / \ln \eta.$$

Уровень потерь, при котором N00N-состояние обеспечивает лучшую точность, чем когерентное, определяется как

$$\eta \geq N^{-\frac{1}{N-1}}.$$

Для известного η может быть решено уравнение

$$\eta \approx N^{-\frac{1}{N_C-1}}.$$

Полученные значения N_0 и N_C также обозначены на графиках на рис. 5.

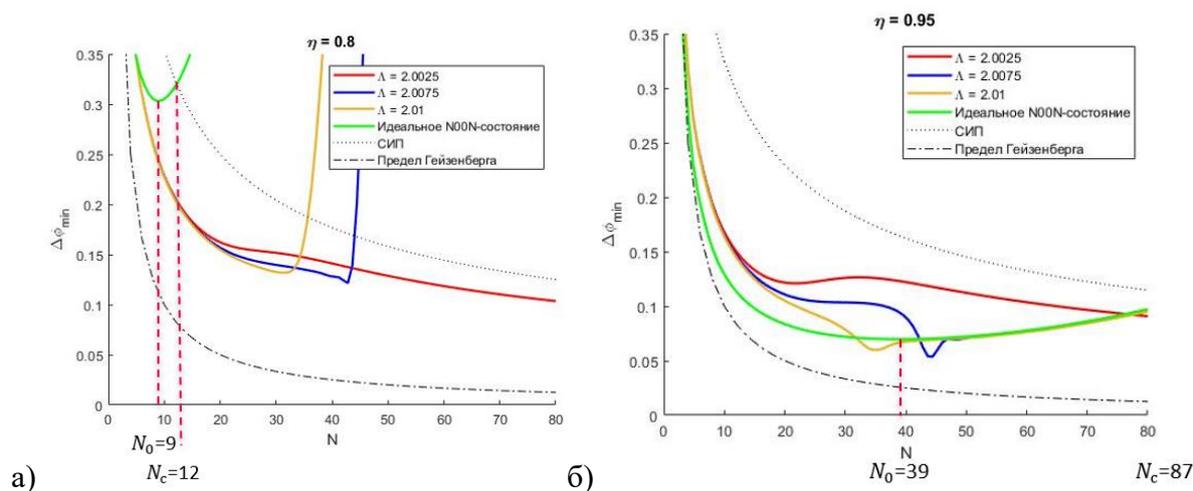


Рис. 5. Зависимость ошибки оценки наименьшего измеряемого сдвига фазы $\Delta\phi_{\min}$ от числа частиц N при коэффициенте пропускания $\eta = 0.8$ (а) и $\eta = 0.95$ (б)

Исходя из полученных графиков видно, что N00N-состояния обеспечивают более высокую точность метрологии, чем когерентные состояния при уровне потерь

$$\gamma \leq 1 - N^{-\frac{1}{N-1}}.$$

В обратном случае более высокую точность обеспечивают запутанные фоковские состояния солитонов. Низкая эффективность N00N-состояния при высоких потерях связана с тем, что данные состояния быстро коллапсируют к одному из своих фоковских состояний. В дальнейших исследованиях планируется проанализировать случай различных показателей потерь. Также планируется изучить случай, когда потери подчиняются некоторому распределению $p(\gamma)$, что имеет отношение к задаче квантовой коммуникации в открытых атмосферных каналах.

Литература

1. Bongs K. et al. Taking atom interferometric quantum sensors from the laboratory to real-world applications // Nature Reviews Physics. Springer Nature. 2019. Vol. 1. № 12. P. 731–739.
2. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. Пер. с англ./Под ред. В.В. Самарцева. М.: Наука, Физматлит, 2000.
3. Dorner U. et al. Optimal quantum phase estimation // Phys. Rev. Lett. American Physical Society, 2009. Vol. 102, № 4. P. 040403.
4. Luis A. Quantum limits, nonseparable transformations, and nonlinear optics // Phys. Rev. A. American Physical Society, 2007. Vol. 76, № 3. P. 035801.
5. Tsarev D.V. et al. Mesoscopic quantum superposition states of weakly-coupled matter-wave solitons // New J. Phys. IOP Publishing, 2020.

Торопова Анастасия Валентиновна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

бакалавр, студент группы № Т3417,

наименование подготовки: 19.03.02 – Алкогольные и безалкогольные напитки,

e-mail: Anastase-torop@rambler.ru

Баракова Надежда Васильевна

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: barakova@corp.ifmo.ru

УДК 581.143.6

**РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПИТКА,
СОДЕРЖАЩЕГО АБСЦИЗОВУЮ КИСЛОТУ**

А.В. Торопова

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

Разработан режим экстракции абсцизовой кислоты (АБК) из кожуры лимона вида Eureka Lemon 80% р-ром этилового спирта. Качественное присутствие АБК в экстракте было доказано на биотесте – прорастание семян горчицы. По количеству не проросших семян горчицы при внесении обезвоженного экстракта активность АБК составила 18%. При включении экстракта АБК в рацион питания человека был получен положительный эффект, подтверждаемый снижением пиковых концентраций глюкозы в крови. На основе сока грейпфрута и вишни, настоев зеленого неферментированного чая и мяты перечной методом профилирования была разработана рецептура функционального напитка, направленного на профилактику метаболического синдрома.

Ключевые слова

Функциональный напиток, метаболический синдром, абсцизовая кислота, инсулинорезистентность.

В настоящее время все более актуальной становится проблема роста случаев проявления метаболического синдрома (МС). В это понятие входит увеличение массы висцерального жира, повышение артериального давления, снижение чувствительности периферических тканей к инсулину и гиперинсулинемия [1]. Большое влияние на инсулинорезистентность, а также на липолиз в клетках человека и животных, имеет абсцизовая кислота (АБК), которую можно отнести к гликолизонам, т.к. она активирует PPAR γ (peroxisome proliferator activated receptor gamma – активируемый пролифератором пероксисом рецептор-гамма), который в свою очередь регулирует воспаление, обмен жиров и углеводов [2].

Распространенность метаболического синдрома в разных странах колеблется от 21 до 60%. В России статистика показывает, что у 34% населения страны поставлен диагноз – метаболический синдром.

Данный конгломерат факторов риска чаще всего не требует медикаментозного лечения, но необходима профилактика развития заболеваний, которые влечет за собой метаболический синдром: сахарный диабет 2-ого типа и сердечно-сосудистые заболевания. Основной фокус лечения сосредоточен на снижении веса, а также контроле глюкозы в крови и повышении восприимчивости к инсулину.

Одним из наиболее эффективных методов профилактики метаболического синдрома является правильное питание, в том числе – регулярное употребление функциональных продуктов, обогащенных биологически активными веществами. Несмотря на резкий рост производства функциональных продуктов питания большую часть из них составляют пробиотические и протеиновые напитки и изделия. Продукты питания для профилактики метаболического синдрома на Российском рынке в настоящее время отсутствуют.

Цель: разработка рецептуры и технологии функционального напитка, направленного на лечение метаболического синдрома, с внесением абсцизовой кислоты, как основного действующего вещества.

При выборе сырья для получения АБК учитывалось не только содержание вещества в растении, но и доступность продукта на российском рынке. С учетом ценового фактора и наличия сырья в магазинах, выбор был остановлен на плодах вида Eureka Lemon с содержанием в кожуре абсцизовой кислоты 6,5 мг/г (сырья согласно литературным данным). Экстрагентом АБК из кожуры лимона служил 80%-ный раствор этанола. Для получения соковой основы функционального напитка использовали плоды грейпфрута сорта «Пламя» (Китай) и замороженную садовую вишню сорта «Панди» (Венгрия). В рецептуру напитка включался также экстракт ферментированного зеленого чая и мяты перечной. Краткая характеристика соков прямого отжима из этих плодов и ягод представлена в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели соков

Сырьё	Массовая доля сухих веществ, %	Концентрация доля общего сахара, г/100см ³	pH	Концентрация титруемых кислот в пересчете на лимонную кислоту, г/100см ³
Грейпфрут розовый	11,0	7,2	3.3	1,1
Вишня садовая (замороженная)	21,5	16,7	3.4	0,8

Нахождение оптимального режима экстрагирования абсцизовой кислоты из кожуры плодов вида Eureka Lemon осуществлялось путем проведения экспериментов при различных сочетаниях уровней факторов максимальной, средней и минимальной величин [3]. Варьируемыми факторами являлись: соотношение веса кожуры к объему экстрагента (80% р-р этанола); температура и продолжительность экстракции.

Показатель – содержание сухих веществ в экстракте, косвенно связанный с концентрацией АБК, его оценивали по плотности водно-спиртового раствора.

Опыт проводился в три этапа. На первом этапе проводили экстракцию трёх образцов с гидромодулем 1:5, 1:10 и 1:15 при температуре 25°C, на втором этапе – при 15 °С, на третьем – при 5 °С. На графике (рис. 1) показаны максимальные значения по каждому этапу.

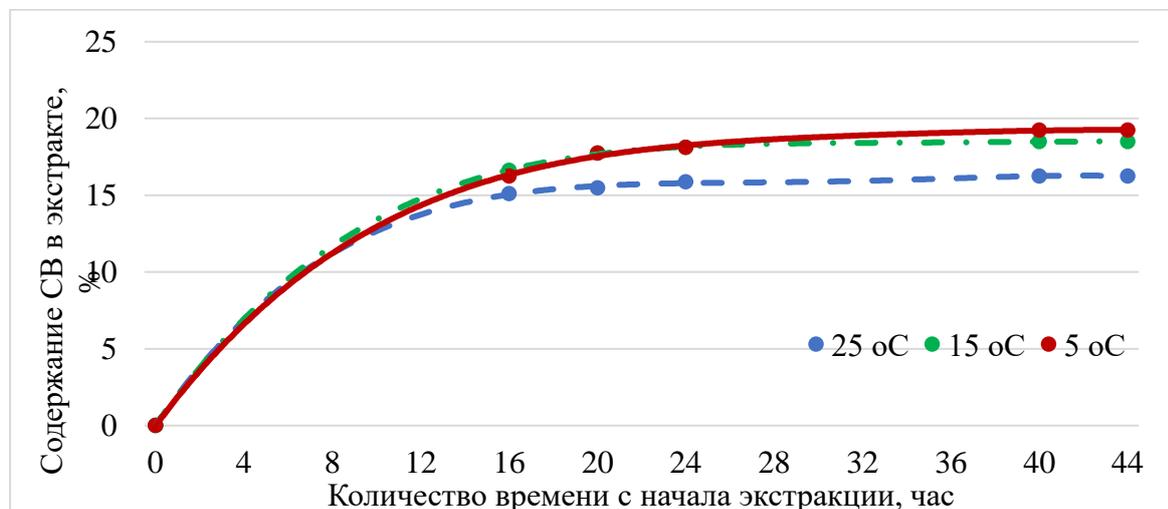


Рис. 1. Изменение содержания СВ в экстракте в течение времени с соотношением веса кожуры к объему экстрагента 1:5

Таким образом при проведении спиртовой экстракции абсцизовой кислоты из кожуры плодов вида Eureka Lemon в течение 20 часов при 5°C с соотношением веса кожуры к объему экстрагента (80% р-р этанола) 1:5 достигается оптимальный выход сухих веществ, который косвенно связан с содержанием АБК в экстракте.

Для количественного определения абсцизовой кислоты необходимо проводить иммуноферментный или хроматографический анализ. В данной работе было проведено качественное определение АБК в экстракте. Для этого использовалось одно из свойств АБК– ингибировать рост растений. Существуют биотесты на определение АБК в исследуемых растворах по проращению семян горчицы. Количество проросших семян в контроле, т.е. на воде, принимают за 100% [4]. Активность АБК оценивалась по проценту количества не проросших зёрен в отношении контроля (табл. 2).

Таблица 2

Результаты биотеста на проращение семян горчицы

Наименование образца	Количество проросших зёрен в контроле	Количество проросших зёрен в опытном образце	Активность АБК в обезвоженном экстракте, %
Семена горчицы + вода (контроль)	43	43	-
Семена горчицы + экстракт (без разведения)	43	35	18
Семена горчицы + экстракт (разведение водой 1:1)	43	39	9

Согласно полученным результатам (табл. 2), присутствие экстракта в среде проращения семян оказывает ингибирующее действие на развитие растений и этот

эффект усиливается при увеличении концентрации сухих веществ в экстракте. Таким образом было доказано присутствие АБК в составе экстракта. Активность АБК в неразведённом экстракте составила 18% (% не проросших под действием АБК зерен горчицы).

Следующий эксперимент был направлен на определение влияния экстракта на концентрацию глюкозы в крови, для этого была собрана экспериментальная группа из 10 человек. Каждый участник тестировал эталонный пищевой продукт (раствор глюкозы для приема внутрь, содержащий 50 г доступных углеводов) и 3 тестовых раствора (раствор глюкозы с внесение 1, 2 и 3 мл экстракта соответственно). Участники потребляли контрольную глюкозу в трех разных случаях и каждый тестовый раствор только один раз. Участники поддерживали обычное питание и образ жизни на протяжении всего исследования, перед тестированием раствором участником необходимо было провести голодную ночь (10ч) [5].

Изменение содержания глюкозы (ммоль/л) в крови измерялось глюкометром каждые 15 мин в течение 2-х часов. Полученные результаты указаны на графике (рис. 2).

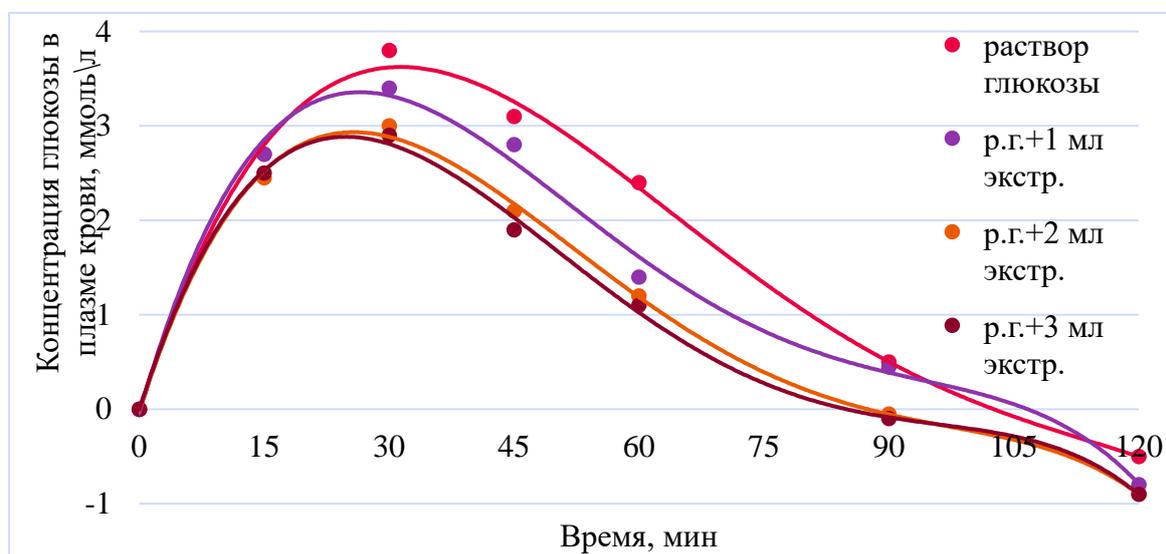


Рис. 2. Изменение содержания глюкозы в крови в течение времени с разной концентрацией экстракта в исследуемом растворе

С увеличением количества принятой абсцизовой кислоты, находящаяся в экстракте, пиковое 30-минутное значение глюкозы в крови снижается на 0,4; 0,75 и 0,8 ммоль/л. При расчёте на гликемический индекс при внесении 1 мл экстракта ГИ снизился на 15%, при внесении 2мл – на 24% и при внесении 3мл – на 26%.

Данный эксперимент продемонстрировал, что обезвоженный экстракт кожуры плодов вида Eureka Lemon, содержащий АБК, при употреблении в относительно небольших дозах может привести к значительному и клинически значимому снижению постпрандиальной реакции глюкозы на раствор с высоким ГИ.

Доказано положительное влияние АБК на снижение ГИ, следовательно экстракт абсцизовой можно включать в качестве действующего вещества в рецептуру функционального напитка. Оптимальным количеством экстракта для внесения в 1 порцию напитка будет 2мл, т.к. дальнейшее увеличение дозы не влечёт за собой пропорционального снижения гликемического индекса.

Составление рецептуры ФН осуществлялось методом профилирования, были разработаны дескрипторы (сладкий вкус; кислый вкус; гармоничность вкуса и ощущений, аромат; послевкусие; терпкость) по которым осуществлялась бальная

оценка и проведена дегустация напитка с различными соотношениями компонентов (рис. 3).

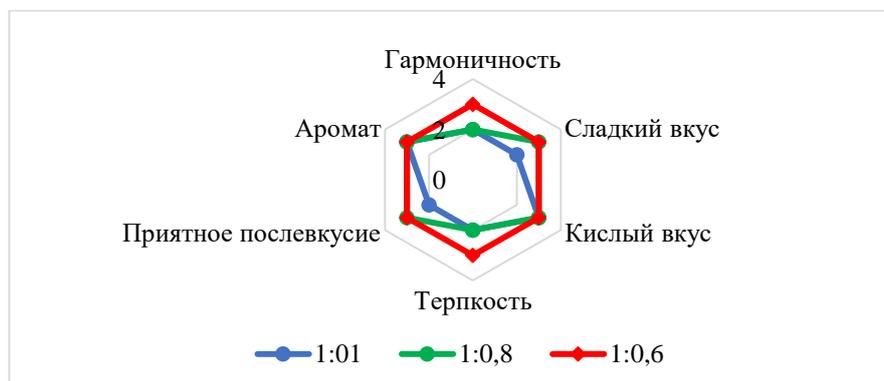


Рис. 3. Сенсорный профиль купажа соковой основы

Из профилограммы следует, что максимальное количество баллов получил напиток, составленный из грейпфрутового и вишневого соков в соотношении 1:0,6.

Далее подбирались соотношение купажа соков и зелёного не ферментированного чая. В результате определено оптимальное соотношение соков и чая 1:0,7 в купаже и представлено на сенсорном профиле (рис. 4).

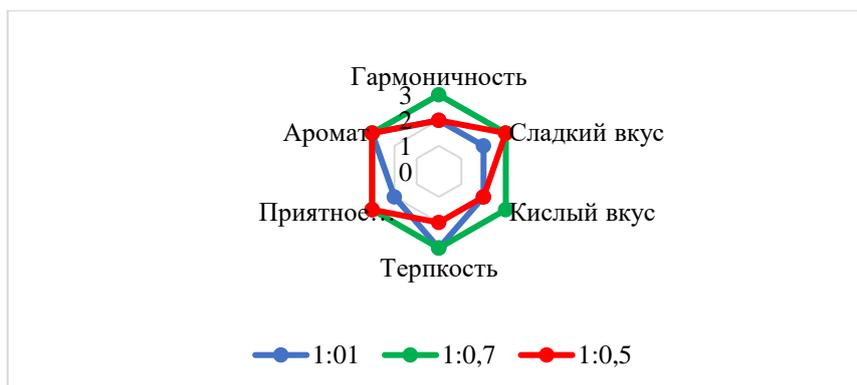


Рис. 4. Сенсорный профиль купажа соковой основы и зелёного чая

Также определено оптимальное соотношение соков, чая и водного настоя мяты перечной 1:0,7:0,05 в купаже, профиль готового напитка (зелёный контур) представлен на графике (рис. 5).

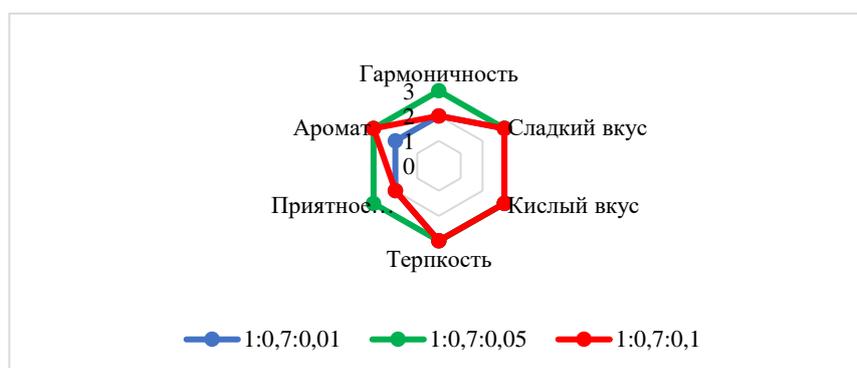


Рис. 5. Сенсорный профиль готового напитка

По результатам органолептической оценки, с учетом полученных соотношений компонентов, была составлена рецептура функционального напитка с расчетом объема купажа готового напитка 1 дм³ (табл. 3).

Наиболее удобным и востребованным объемом принятия напитка составляет объем в 200 см³. Исходя из этого и результатов, полученных ранее (одноразовый прием обезвоженного экстракт АБК должен составлять 2 см³) был проведен расчет количества экстракта на 1 дм³ в купаже готового напитка.

Таблица 3

Рецептура функционального напитка

Наименование ингредиента	Количество в готовом напитке, см ³
Сок грейпфрута	356
Сок вишни	210
Чай зелёный	396
Водный экстракт мяты перечной	28
Экстракт АБК из кожуры плодов Eureka Lemon	10
ИТОГ	1000

Показатели качества готового функционального напитка оценивались по двум параметрам: органолептическим и физико-химическим. К органолептическим показателям качества напитков относятся: внешний вид, цвет, аромат и вкус, которые определялись согласно ГОСТ 6687.5-86. Каждый показатель оценивали по 5-бальной шкале: внешний вид – 5; прозрачность – 4; цвет – 5; аромат – 5; вкус – 5.

Из физико-химических показателей при исследовании качества безалкогольных напитков определяли содержание сухих веществ, титруемую кислотность и стойкость в хранении при температуре 20°C (табл. 4).

Таблица 4

Физико-химические показатели качества готового ФН

Наименование показателей	Значение
Водородный показатель, pH	3,5
Кислотность, 1 моль/1000 см ³ раствора NaOH, пошедшего на титрование 100 см ³ напитка	3,9
Содержание сухих веществ, %	6,9
Хранение при температуре 20°C, сут.	9

По имеющейся рецептуре готового продукта, можно рассчитать калорийность функционального напитка, используя таблицы калорийности продуктов. Таким образом, энергетическая ценность функционального напитка составляет 24,85 ккал на 100 мл напитка (табл. 5).

Разработанный функциональный напиток является рациональным решением в профилактике метаболического синдрома. Результаты, полученные в ходе научно-исследовательской работы, являются основанием для разработки технических условий и технологических инструкций на функциональный напиток с целью его

декларирования в государственных уполномоченных органах и вывода разработанного ФН на рынок.

Таблица 5

Расчёт калорийности ФН

Наименование компонента	Объем, мл	Белки, г.	Жиры, г.	Углеводы, г.	Калории, ккал
Сок грейпфрута	35,6	0,35	0,07	2,53	14,04
Сок вишни	21	0,15	0,04	2,42	10,81
Чай зелёный	39,6	0,00	0,00	0,00	0,00
Водный экстракт мяты	2,8	0,00	0,00	0,00	0,00
Итого на 100 мл	100	0,50	0,11	4,95	24,85

Литература

1. Saklayen M.G. The global epidemic of the metabolic syndrome //Current hypertension reports. 2018. Т. 20. №. 2. С. 1-8.
2. Bassaganya-Riera J. et al. Mechanisms of action and medicinal applications of abscisic acid //Current medicinal chemistry. 2010. Т. 17. №. 5. С. 467-478.
3. Меледина Т.В., Данина М.М. Методы планирования и обработки результатов научных исследований: Учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ. 2015. 110 с.
4. Головацкая И.Ф., Карначук Р.А. Практикум по физиологии растений. Ростовые вещества. Учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского университета, 1995. с. 133.
5. Atkinson F.S., Villar A., Mulà A., Zangara A., Risco E., Smidt C.R., Hontecillas R., Leber A., & Bassaganya-Riera J. 2019. Abscisic Acid Standardized Fig (*Ficus carica*) Extracts Ameliorate Postprandial Glycemic and Insulinemic Responses in Healthy Adults. *Nutrients*. 11(8). 1757.

Устименко Никита Алексеевич

Год рождения: 2000

Университет ИТМО,

физический факультет,

студент группы №Z3443,

направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика,

e-mail: nikita.ustimenko@metalab.ifmo.ru

Барышникова Ксения Владимировна

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

физический факультет,

к.ф.-м.н., с.н.с.,

e-mail: k.baryshnikova@metalab.ifmo.ru

УДК 535.015

МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА АНСАМБЛЕЙ НАНОСТРУКТУР С ИНДУЦИРОВАННЫМИ МУЛЬТИПОЛЬНЫМИ МОМЕНТАМИ

Н.А. Устименко

Научный руководитель – к.ф.-м.н., с.н.с. К.В. Барышникова

Работа выполнена в рамках темы НИР №718545 «Исследование функциональных наноструктур, метаматериалов и метаповерхностей, для создания устройств на их основе».

Аннотация

В работе используется модель связанных мультиполей совместно с борновским разложением для моделирования и оптимизации оптического отклика структур кремниевых наносфер вблизи мультипольных резонансов одиночной наночастицы. В результате оптимизации в нулевом борновском приближении получены резонансные структуры кремниевых наносфер для фокусировки света на требуемое расстояние (металинзы). Результаты оптимизации проверены моделированием методом Т-матриц.

Ключевые слова

Нанофотоника, металинза, связанные мультиполи, борновское приближение, оптимизация.

Конечные многочастичные структуры диэлектрических и полупроводниковых нанорезонаторов для фокусировки света – металинзы – рассматриваются научным и промышленным сообществом как перспективная замена обычных преломляющих линз [1]. Однако для разработки функциональных металинз с желаемыми характеристиками необходимы эффективные методы оптимизации. Скорость оптимизации и качество её результата определяются физической моделью, описывающей оптический отклик наночастиц металинзы. В работе рассматриваются металинзы из сферических кремниевых (с-Si) наночастиц, упорядоченных в виде концентрических колец из идентичных одиночных наночастиц. Предлагается аналитическая модель описания коллективного отклика металинзы, в рамках которой оптический отклик наночастицы связывается с несколькими первыми мультиполями (диполями и квадрупольями), которые могут быть резонансно возбуждены внешней волной, а взаимодействие между

частицами описывается в борновских приближениях различного порядка. К достоинствам метода относятся низкое время расчёта, низкое использование ресурсов компьютера и простота аналитического анализа. Найдены условия применимости метода вблизи мультипольных резонансов одиночной частицы, что позволило оптимизировать в нулевом борновском приближении (НБП) металинзы для работы на длинах волн магнитного дипольного и магнитного квадрупольного резонансов частицы. Точность результатов, полученных в НБП, проверена сравнением с результатами, полученными численным методом Т-матриц [2]. Результаты работы показывают большой потенциал метода расчёта на основе борновского разложения для разработки металинз и других устройств нанопотоники.

В металинзе для фокусировки нормально падающего света на оси металинзы частицы должны быть упорядочены в кольца, причём в одном кольце частицы идентичные. Рассмотрим рассеяние плоской волны на кольце N одинаковых кремниевых сфер с диаметром 200 нм (рис. 1(а)). Основной вклад в рассеяние такой частицы вносят только дипольные и квадрупольные моды электрического и магнитного типов, а вклад мультиполей более старшего порядка пренебрежимо мал (рис. 1(б)), поэтому для описания оптического отклика кремниевой сферы с диаметром 200 нм достаточно учесть только дипольные и квадрупольные моменты электрического и магнитного типов.

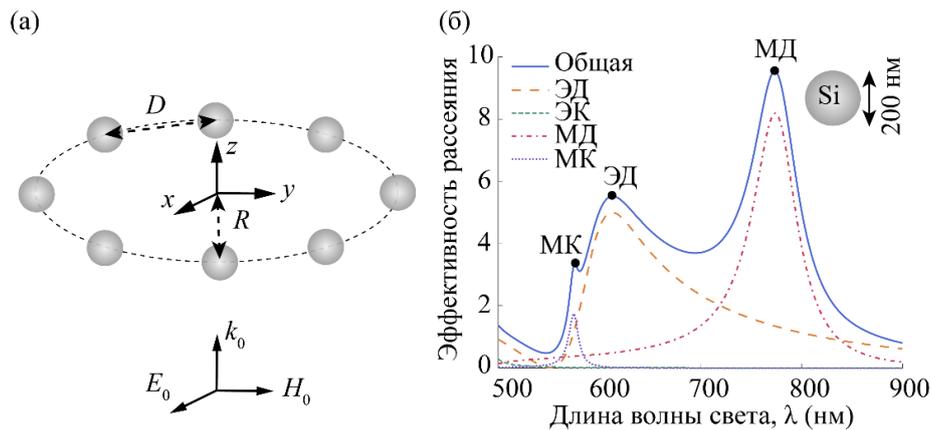


Рис. 1. (а) Схематическое изображение кольца идентичных сферических наночастиц, введённой декартовой системы координат и падающей плоской волны. (б) Мультипольное разложение эффективности рассеяния сферической частицы из с-Si диаметром 200 нм, расположенной в воздухе, посчитанное в рамках теории Ми [3] с учётом дисперсии с-Si [4]

Дипольные и квадрупольные моменты частиц могут быть найдены в рамках модели связанных мультиполей путём решения системы линейных уравнений (см. систему (25) в [5]):

$$Y = Y_0 + VY. \quad (1)$$

V – матрица взаимодействия мультиполей размерности $24N \times 24N$ (см. систему (25) в [5]). Y – вектор самосогласованных мультипольных моментов:

$$Y = [p_x^1, \dots, p_z^N, m_x^1, \dots, m_z^N, Q_{xx}^1, \dots, Q_{zz}^N, M_{xx}^1, \dots, M_{zz}^N]^T,$$

где $p^j, m^j, \hat{Q}^j, \hat{M}^j$ – вектор электрического дипольного (ЭД), вектор магнитного дипольного (МД), тензор электрического квадрупольного (ЭК), тензор магнитного квадрупольного (МК) момента, соответственно, частицы с номером j ($j = 1 \dots N$).

Y_0 – вектор мультипольных моментов, возбуждаемых только падающим полем:

$$Y_0 = [p_{0x}^1, \dots, p_{0z}^N, m_{0x}^1, \dots, m_{0z}^N, Q_{0xx}^1, \dots, Q_{0zz}^N, M_{0xx}^1, \dots, M_{0zz}^N]^T,$$

эти мультипольные моменты связаны с падающим электрическим E_0 или магнитным H_0 полем или их производными при помощи численных коэффициентов – поляризуемостей, которые для сферы могут быть найдены аналитически при помощи теории Ми [5]:

$$p_{0\beta}^j = \alpha_p E_{0\beta}(r_j),$$

$$m_{0\beta}^j = \alpha_m H_{0\beta}(r_j),$$

$$Q_{0\beta\gamma}^j = \frac{\alpha_Q}{2} \left[\frac{\partial E_{0\beta}(r_j)}{\partial \gamma} + \frac{\partial E_{0\gamma}(r_j)}{\partial \beta} \right],$$

$$M_{0\beta\gamma}^j = \frac{\alpha_M}{2} \left[\frac{\partial H_{0\beta}(r_j)}{\partial \gamma} + \frac{\partial H_{0\gamma}(r_j)}{\partial \beta} \right],$$

где $\alpha_p, \alpha_m, \alpha_Q, \alpha_M$ – Ми-поляризуемости ЭД, МД, ЭК, МК моментов, соответственно (см. формулы (30, 31) в [5]); r_j – координата j -ой частицы, индексы $\beta = x, y, z$ и $\gamma = x, y, z$. Отметим, что для несферической частицы поляризуемости являются не скалярами, а тензорами 3×3 .

Решение уравнения (1) с полным учётом взаимодействия мультиполей записывается в следующем виде:

$$Y = (I - V)^{-1} Y_0 \quad (2)$$

где I – единичная матрица размерности $24N \times 24N$. Разложив матрицу $(I - V)^{-1}$ по степеням матрицы V , можно записать решение (1) в виде борновского ряда

$$Y = IY_0 + VY_0 + V^2Y_0 + V^3Y_0 + \dots \quad (3)$$

Заменив ряд (3) на конечную сумму, можно получить решение системы (1) в борновском приближении. Борновское приближение нулевого порядка определяется следующим образом:

$$Y = Y_0. \quad (4)$$

Борновское приближение (БП) n -ого порядка выражается через БП предыдущего порядка по следующей формуле:

$$Y_n = Y_0 + VY_{n-1}. \quad (5)$$

Решение системы (1) в борновских приближениях, включая нулевое, может быть корректным, только если взаимодействие между частицами достаточно слабое. Важно отметить, что борновский ряд (3) расходится в условии конфигурационного резонанса системы, когда $\det(I - V) = 0$. В таком случае взаимодействие между частицами очень сильное, и оно не может быть аппроксимировано БП любого порядка.

Главным преимуществом подхода на основе борновского разложения является значительно более низкое время расчёта по сравнению с точным решением (2), что важно в задачах оптимизации. Для структуры из N частиц расчёт по мультипольным моментам по формуле (2) требует $O(N^3)$ расчётных единиц, в борновском приближении n -ого порядка (5) ($n > 0$) – $O(nN^2)$, а в НБП (4) – всего лишь $O(N)$.

Зная мультипольные моменты частиц, можно рассчитать полное электрическое \mathbf{E} и полное магнитное \mathbf{H} поля (используя формулы (13)-(16) в [5]) и нормированную плотность энергии электромагнитного поля вблизи структуры частиц

$$\frac{w(r)}{w_0} = \frac{|E(r)|^2 + Z^2 |H(r)|^2}{2|E_0|^2}, \quad (6)$$

где r – точка наблюдения, Z – волновой импеданс свободного пространства, E_0 – амплитуда электрического поля падающей волны. Все численные расчёты проводились в программе MATLAB.

На рис. 2(а) показано распределение плотности энергии (6) вблизи кольца наночастиц. Видно, что кольцо наночастиц обладает фокусирующими свойствами, то есть создает горячие пятна энергии, которые возникают благодаря интерференции падающего и рассеянного полей. Поскольку структура обладает осевой симметрией, то энергетические максимумы расположена на оси кольца (оси z). Будем называть главный максимум плотности энергии (6) фокусом кольца, а расстояние от фокуса до плоскости кольца (x) – фокусным расстоянием кольца f . Фокусное расстояние кольца определяется преимущественно его радиусом и не зависит от расстояния между частицами (рис. 2(б)), при этом зависимость от радиуса немонотонная. Таким образом, можно взять несколько колец разного размера с максимумом энергии в одной точке, согласовать фазы рассеянных волн, приходящих от разных колец в точку максимума, и получить линзу с требуемым фокусным расстоянием. В процессе оптимизации определяется оптимальное количество колец и подбираются их параметры, такие как радиус кольца и количество частиц, чтобы получить фокусировку в требуемой точке.

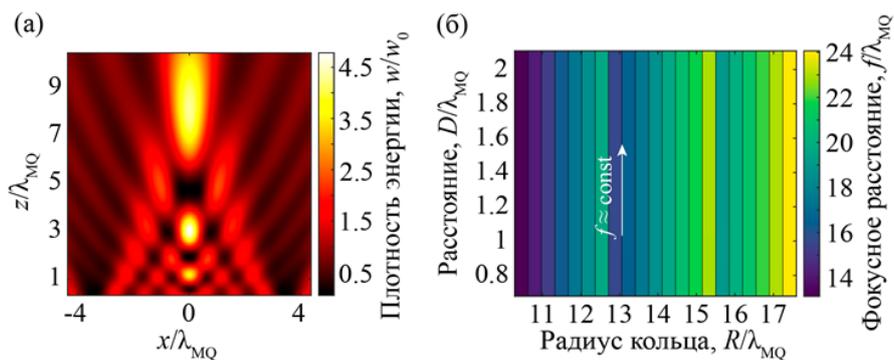


Рис. 2. (а) Распределение нормированной плотности электромагнитной энергии (6) вблизи кольца наночастиц ($R = 2$ мкм, $N = 62$) на длине волны МК резонанса одиночной наночастицы ($\lambda_{\text{МК}} = 574$ нм). Плотность энергии падающей плоской волны обозначена как w_0 . (б) Зависимость фокусного расстояния кольца от его радиуса и расстояния между центрами частиц на длине волны МК резонанса. Расчёты сделаны в НБП (4)

Фокусное расстояние f и плотность энергии в фокусе w_f – основные параметры металлинзы, определяющие её функции и свойства. Ошибка расчёта этих величин в борновских приближениях различных порядков была исследована для кольца наночастиц на длинах волн МД и МК резонансов (770 нм и 574 нм, соответственно). Ошибка расчёты величины V определяется следующим образом:

$$\Delta V^{(n)} = \frac{|V^{(n)} - V^{(CMM)}|}{V^{(CMM)}} \times 100\%, \quad (7)$$

где $V^{(n)}$ и $V^{(CMM)}$ – значения величины V , посчитанные с использованием мультипольных моментов (2) и (5), соответственно. На рис. 3 показана ошибка плотности энергии в фокусе кольца наночастиц $\Delta w_f^{(n)}$ в зависимости от порядка БП и расстояния между частицами при фиксированном радиусе кольца. Как и ожидалось, с ростом порядка БП ошибка расчёта оптического отклика уменьшается, что происходит, вообще говоря, если борновский ряд (3) сходится. Для расчёта плотности энергии в фокусе с ошибкой меньше 10% практически для всех рассматриваемых параметров кольца достаточно пятого БП на МД резонансе и первого БП на МК резонансе. Однако ошибка растёт с ростом порядка БП, если ряд расходится, а именно при $D \approx 0.4\lambda_0$ и $D \approx \lambda_0$ (рис. 3), где λ_0 – резонансная длина волны. Таким образом, борновский ряд, записанный для кольца, расходится, если длина волны соответствует мультипольному резонансу одиночной частицы λ_0 ,

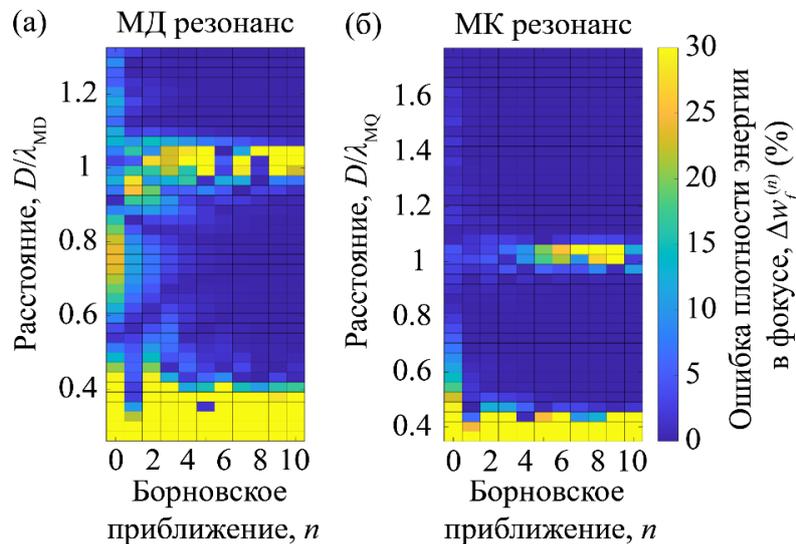


Рис. 3. Ошибка плотности энергии в фокусе кольца для БП разных порядков $\Delta w_f^{(n)}$ (определённая по формуле (7)) на длине волны (а) МД резонанса ($\lambda_{MD} = 770$ нм) и (б) МК резонанса ($\lambda_{MQ} = 574$ нм) в зависимости от расстояния между частицами в кольце с радиусом $R = 8.6$ мкм

а расстояние между частицами $D = m\lambda_0$ (m – целое), что является условием коллективного брэгговского резонанса кольца, либо D достаточно маленькое, когда взаимодействие между мультиполями сильное.

Поскольку расчёт полей в процессе оптимизации металинз осуществляется в НБП (4), то остановимся подробнее на ошибке НБП ($n = 0$ в формуле (7)). Были рассчитаны ошибки $\Delta f^{(0)}$ и $\Delta w_f^{(0)}$ как функции радиуса кольца $6 \text{ мкм} \leq R \leq 10 \text{ мкм}$ и расстояния между частицами $200 \text{ нм} \leq D \leq 1200 \text{ нм}$. Было получено, что ошибка $\Delta f^{(0)} \leq 3\%$ для обоих резонансов и всех рассматриваемых параметров кольца, а ошибка $\Delta w_f^{(0)}$ меньше либо порядка 10%, только если $D \geq 0.92\lambda_{MD}$ для МД резонанса и $D \geq 0.66\lambda_{MQ}$ для МК резонанса. Назовём эти расстояния предельными. Таким образом, НБП может быть использовано для моделирования свойств фокуса кольца (металинзы), если расстояние между центрами любых двух частиц в структуре больше предельного.

НБП напрямую совместимо с алгоритмами оптимизации. Для оптимизации металинзы был выбран эволюционный многокритериальный алгоритм SEMO. В процессе оптимизации преследовались две цели: минимизировать расстояние между фокусом данной линзы и желаемым положением фокуса (здесь $f = 5$ мкм) и максимизировать плотность энергии в фокусе. Для достижения этих целей алгоритм мог менять число колец, размер кольца и количество частиц в кольце, пока другие параметры оставались постоянными: диаметр частицы 200 нм, максимальный размер линзы 20 мкм, рабочая длина волны 574 нм или 770 нм, минимальное допустимое расстояние между соседними частицами $1.07\lambda_{\text{МД}}$ на МД резонансе и $1.11\lambda_{\text{МК}}$ на МК резонансе. На рис. 4 показаны результаты оптимизации на длинах волн МД и МК резонансов одиночной сферы. Обе металинзы фокусируют свет вблизи точки $z = 5$ мкм (см. на рис. 4 распределение плотности энергии вблизи металинз).

Плотность энергии электромагнитных полей, создаваемых металинзами, также была рассчитана методом Т-матриц [2]. Для обеих структур фокусное расстояние определяется одинаково обоими методами: 4.9 мкм для МД резонанса и 5 мкм для МК резонанса. Ошибка плотности энергии в фокусе металинзы, посчитанная в НБП относительно значения, полученного методом Т-матриц, равна 3% для МД резонанса и 5.7% для МК резонанса. Таким образом, благодаря оптимизации в НБП были получены металинзы с заданным фокусным расстоянием. Поскольку в получившихся металинзах расстояние между частицами больше их диаметра, то в дальнейшем такие структуры могут быть изготовлены методом лазерной печати наночастиц, который позволяет получать структуры из частиц с практически идеальной сферической формой.

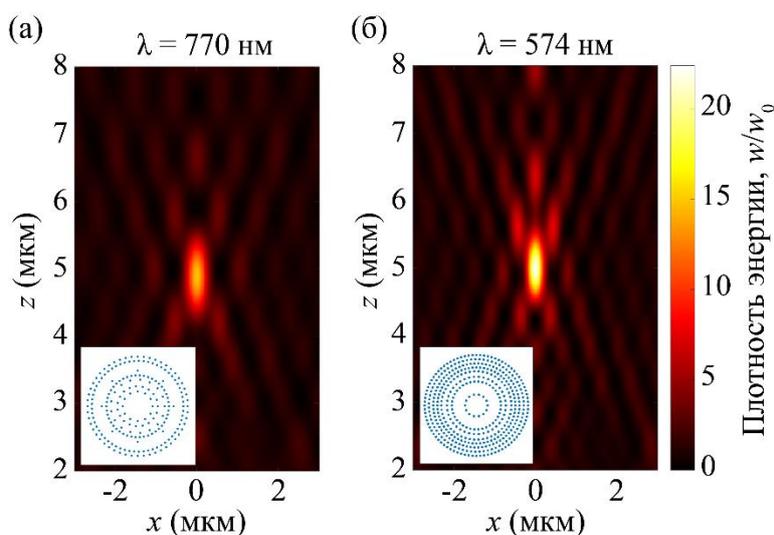


Рис. 4. Распределение нормированной плотности электромагнитной энергии в плоскости (xz) вблизи металинз, работающих на (а) МД резонансе ($\lambda_{\text{МД}} = 770$ нм) и (б) МК резонансе ($\lambda_{\text{МК}} = 574$ нм). Профили рассчитаны в НБП. На вставках синими точками показано распределение наночастиц в металинзах, находящихся в плоскости (xy)

В работе разработан метод моделирования оптического отклика конечных систем наночастиц, имеющих мультипольные Ми-резонансы в оптическом диапазоне. Метод основан на расчёте мультипольных моментов частиц в борновских приближениях различных порядков. Исследована применимость метода для расчёта свойств фокуса кольца идентичных кремниевых наночастиц. При помощи эволюционного алгоритма и нулевого борновского приближения были оптимизированы положения кремниевых наночастиц и получены ультратонкие металинзы с заданным фокусным расстоянием, работающие на длинах волн МД и МК резонансов одиночной наночастицы металинзы.

Результаты оптимизации в НБП были проверены методом T-матриц и получено хорошее согласие.

В дальнейшей работе планируется использовать предлагаемый расчётный метод для разработки металинз для различных приложений, например, для фокусировки излучения точечного квантового эмиттера.

Литература

1. Chen W.T., Zhu A.Y., Capasso F. Flat optics with dispersion-engineered metasurfaces // *Nat. Rev. Mater.* 2020. Т. 5. № 8. С. 604–620.
2. CELES: CUDA accelerated simulation of electromagnetic scattering by large ensembles of spheres / A. Egel [и др.] // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 2017. Т. 199. С. 103–110.
3. Bohren C.F., Huffman D.R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles.* Wiley, New York. 1983.
4. Aspnes D.E., Studna A.A. Dielectric functions and optical parameters of Si, Ge, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, and InSb from 1.5 to 6.0 eV // *Phys. Rev. B.* 1983. Т. 27. С. 985.
5. Babicheva V., Evlyukhin A. Analytical model of resonant electromagnetic dipolequadrupolecoupling in nanoparticle arrays // *Phys. Rev. B.* 2019. Т. 99. С. 195444.

Челпанов Антон Дмитриевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3450,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: adchelpanov@itmo.ru

Югансон Андрей Николаевич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н.,

e-mail: a_yougunson@itmo.ru

УДК 004.056

**АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТИРУЕМОСТИ
ДЕФЕКТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМВОЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ**

А.Д. Челпанов

Научный руководитель – к.т.н. А.Н. Югансон

Аннотация

В случае обнаружения большого количества дефектов в программном обеспечении необходимо определять приоритет исправления каждого найденного дефекта. Для решения проблемы приоритизации дефектов безопасности в статье рассматривается оценка эксплуатируемости дефектов. На основе анализа предметной области было выбрано использование статического анализатора кода для получения множества потенциальных эксплуатируемых дефектов и символьного выполнения для автоматизированного определения эксплуатируемости полученных дефектов. Для оценки эффективности решения был проведен эксперимент, который сравнивал разработанное решение с системами анализа аварийных завершений и автоматической генерации эксплойтов.

Ключевые слова

Символьное выполнение, оценка эксплуатируемости, программные дефекты, приоритизация программных дефектов, статический анализ кода, предикат безопасности.

Согласно банку данных угроз ФСТЭК количество зарегистрированных уязвимостей имеет стойкую тенденцию к росту, что указывает на необходимость автоматизированного поиска дефектов. В данной работе для приоритизации используется оценка эксплуатируемости программных дефектов. Данный подход позволяет разделить найденные дефекты на две основные группы: эксплуатируемые и неэксплуатируемые. Исправлению эксплуатируемых дефектов предлагается дать наивысший приоритет, а правке неэксплуатируемых дефектов – низкий.

Основные решения в сфере оценки эксплуатируемости программных дефектов можно разделить на две группы.

К первой группе относятся системы анализа аварийных завершений программного обеспечения [1]. Системы данного типа проверяют аварийные трассы программы на определенном списке правил для формирования оценки

эксплуатируемости дефекта [2].

Вторую группу образуют системы автоматической генерации эксплойтов [3, 4]. Работа данных систем основана на символьном выполнении, которое позволяет находить предикаты пути до места потенциальных дефектов. Для нахождения дефектов данные системы используют средства динамического анализа, такие как фаззинг и динамическое символьное выполнение. Вывод об эксплуатируемости дефекта формируется на основе испытания сгенерированного эксплойта.

На основе анализа предметной области было выбрано использование статического анализатора кода для получения множества потенциальных эксплуатируемых дефектов и символьного выполнения для автоматизированного определения эксплуатируемости полученных дефектов.

На рис. 1 представлен процесс оценки эксплуатируемости программных дефектов в виде IDEF0 диаграммы. Данный процесс автоматизирован, но роль эксперта в нем является определяющей.



Рис. 1. Процесс оценки эксплуатируемости программного дефекта

В основе процесса лежат следующие этапы:

1. Проверка программного дефекта на возможность его оценивания. В данный момент алгоритм работает с дефектами, которые связаны с работой с памятью.

2. Поиск предикатов пути до места дефекта. Под предикатом пути подразумевается набор логических формул, описывающий прохождение по определенному пути выполнения программы.

3. Формирование экспертом предиката безопасности на основе исходного кода и информации о дефекте. Предикатом безопасности называется набор логических формул, описывающий условия, при которых происходит нарушение целостности, доступности или конфиденциальности обрабатываемой программным обеспечением информации.

4. Поиск решения, которое удовлетворяет хотя бы одному из предикатов путей и предикату безопасности. Если решение найдено, то существует путь выполнения, который приводит к нарушению безопасности программы, и дефект признается эксплуатируемым.

Декомпозиция процесса получения предикатов пути до места дефекта изображена на рис. 2. Данный процесс автоматизирован с помощью использования символьного выполнения и является ключевым для корректного определения эксплуатируемости дефекта.

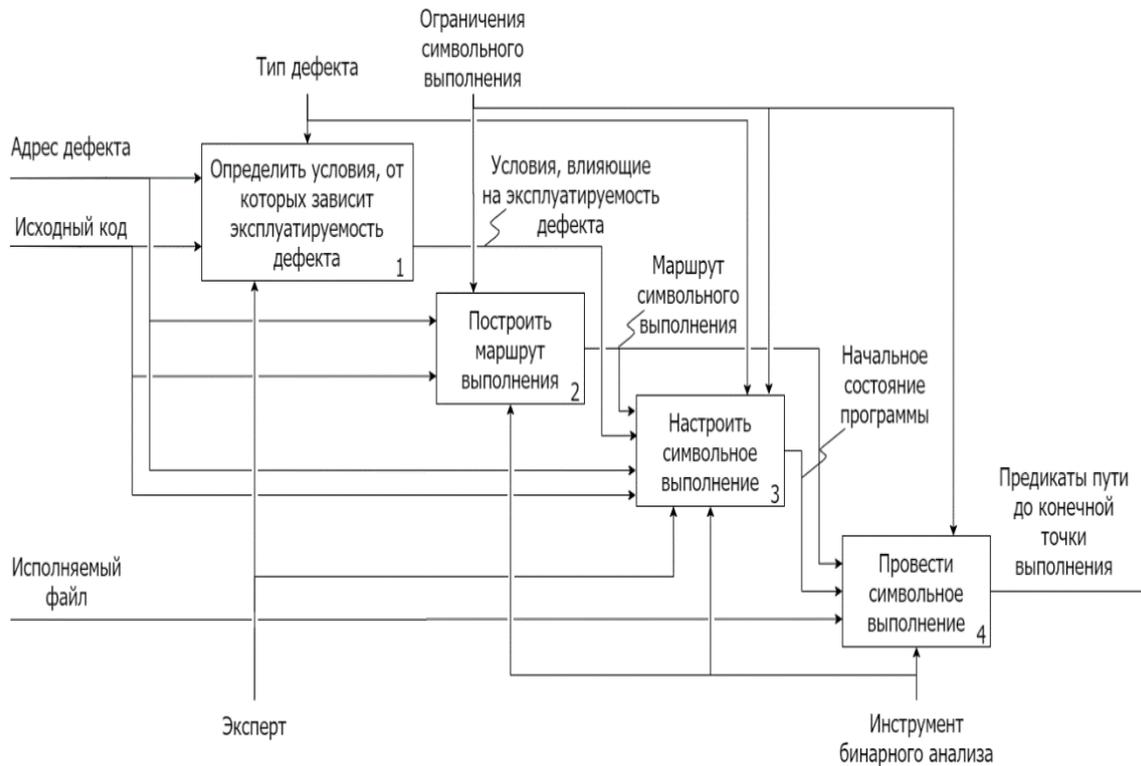


Рис. 2. Процесс получения предикатов пути до места дефекта

Процесс состоит из следующих стадий:

1. Определение данных, которые будут объявлены символическими. Для этого эксперт определяет условия, которые влияют на эксплуатируемость дефекта.
2. Построение маршрута от точки входа в программу до места дефекта. Это позволяет сократить покрытие кода в процессе символического выполнения и избежать проблем экспоненциального роста путей выполнения и моделирования большого числа библиотечных вызовов.
3. Настройка экспертом процесса проведения символического выполнения. Это трудоемкий этап, который напрямую связан с квалификацией эксперта.
4. Проведение символического выполнения из начального состояния программы по построенному маршруту. В результате формируются всевозможные предикаты пути до места дефекта.

Рассмотрим применение предлагаемого алгоритма оценки эксплуатируемости программных дефектов на практике. На рис. 3 изображен листинг функции, которая обрабатывает вводимые пользователем данные. Необходимо оценить эксплуатируемость дефекта типа переполнение буфера при вызове библиотечной функции *strcpy*, который был обнаружен статическим анализатором кода.

Эксплуатируемость дефекта зависит от длины вводимых пользователем данных, поэтому входные данные обозначаются как символичные. Построение все возможных предикатов пути от точки входа в функцию до места дефекта изображено на рис. 4. В итоге существует четыре предиката пути, описывающих пути выполнения от точки входа в функцию до места дефекта.

Сформируем предикат безопасности (1) для рассматриваемого дефекта. Целостность адресного пространства программы будет нарушена, если длина вводимых пользователем данных превышает 8 байт.

$$P_{без} = user_in[7]! = 0. \quad (1)$$

```

#define MY_BUF_SIZE 8
void defected_function()
{
    char new_buf[MY_BUF_SIZE];
    unsigned user_in_size = 20;
    char *user_in = (char *)malloc(user_in_size);
    scanf_s("%s", user_in, user_in_size);
    if (user_in[0] == 97)
    {
        if (user_in[1] == 98)
        {
            if (user_in[2] == 99)
            {
                user_in[MY_BUF_SIZE - 1] = '\0';
            } else {
                user_in[user_in_size - 1] = '\0';
            }
        }
    } else {
        user_in[MY_BUF_SIZE - 1] = '\0';
    }
    // CWE-119. Buffer overflow
    strcpy(new_buf, user_in);
}

```

Рис. 3. Листинг функции, содержащей программный дефект

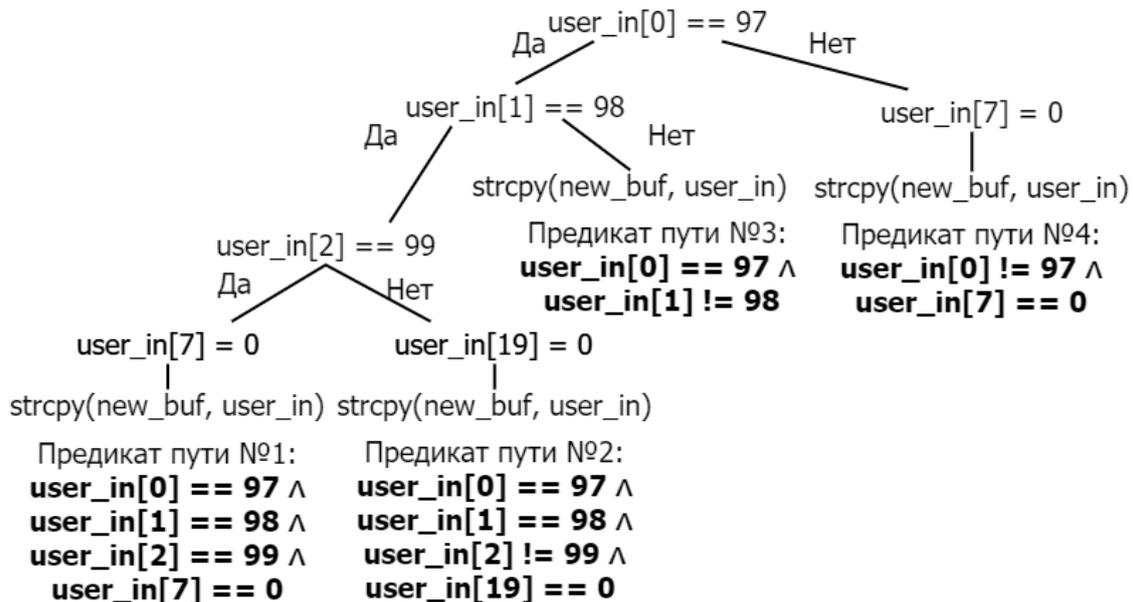


Рис. 4. Предикаты пути до места дефекта функции *defected_function*

Оценим эксплуатируемость дефекта на основе найденных предикатов пути до места дефекта и сформированного предиката безопасности. Предикаты пути №2 и №3 не ограничивают значение 8-го элемента массива *user_in*, следовательно, существуют пути выполнения, которые приводят к нарушению целостности программы. Таким образом, дефект признается эксплуатируемым и его исправлению следует дать высокий приоритет (рис. 4).

Для апробации предложенного решения разработан программный комплекс, архитектура которого представлена на рис. 5.

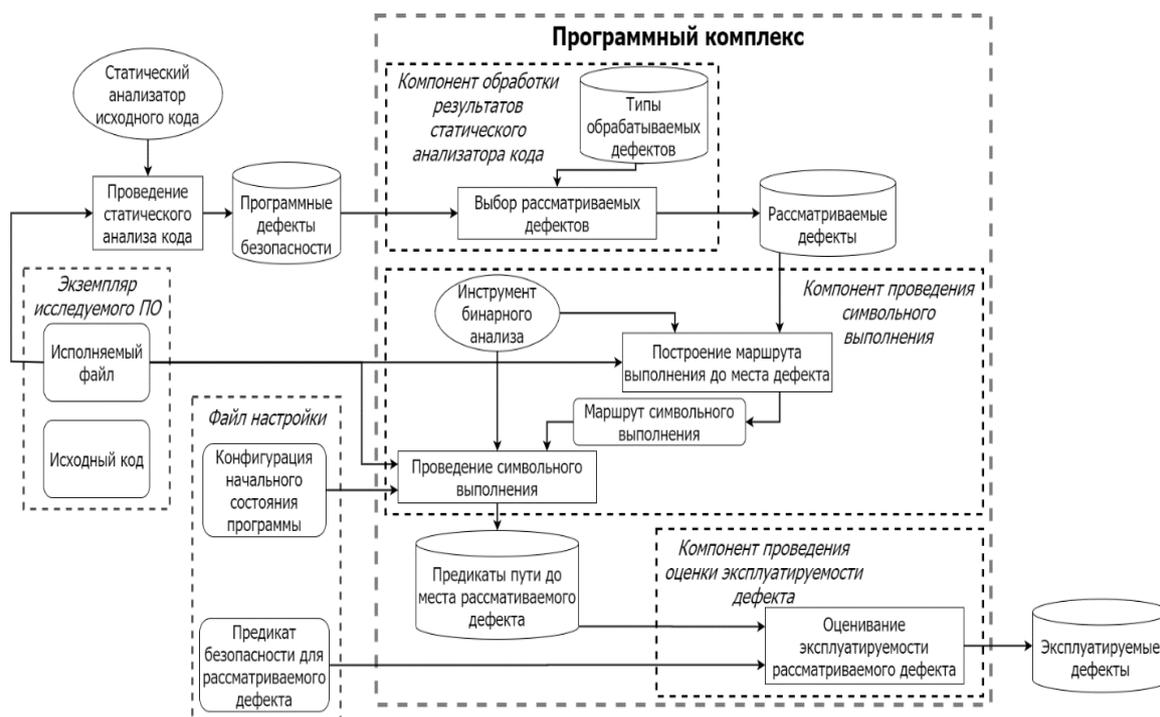


Рис. 5. Архитектура программного комплекса оценки эксплуатируемости программных дефектов

Для оценки эффективности решения был проведен эксперимент, который сравнивал разработанное решение с системами анализа аварийных завершений и автоматической генерации эксплойтов [2, 3]. Состав тестовой выборки представлен в таблице. Для нахождения программных дефектов при работе систем анализа аварийных завершений и автоматической генерации эксплойтов использовался фаззинг.

Таблица

Тестовые программы

Тестовая программа	Дефекты
buffer_overflow_1.c	CWE-20, CWE-119
improper_input_validation.c	CWE-20
buffer_overflow_1.c	CWE-123
buffer_overflow_2.c	CWE-119
buffer_overflow_3.c	CWE-119
buffer_overflow_4.c	CWE-119
buffer_overflow_5.c	CWE-119
buffer_overflow_2.c	CWE-787

Результативность предлагаемого решения на 33% выше по сравнению с существующими инструментами оценки эксплуатируемости программных дефектов (рис. 6а), но оперативность решения в 6 раз уступает рассматриваемым аналогам (рис. 6б).

Дальнейшая работа может быть направлена на расширение списка обрабатываемых дефектов, автоматизацию действий эксперта и внедрение разработанного программного комплекса в жизненный цикл программного обеспечения на этап разработки.

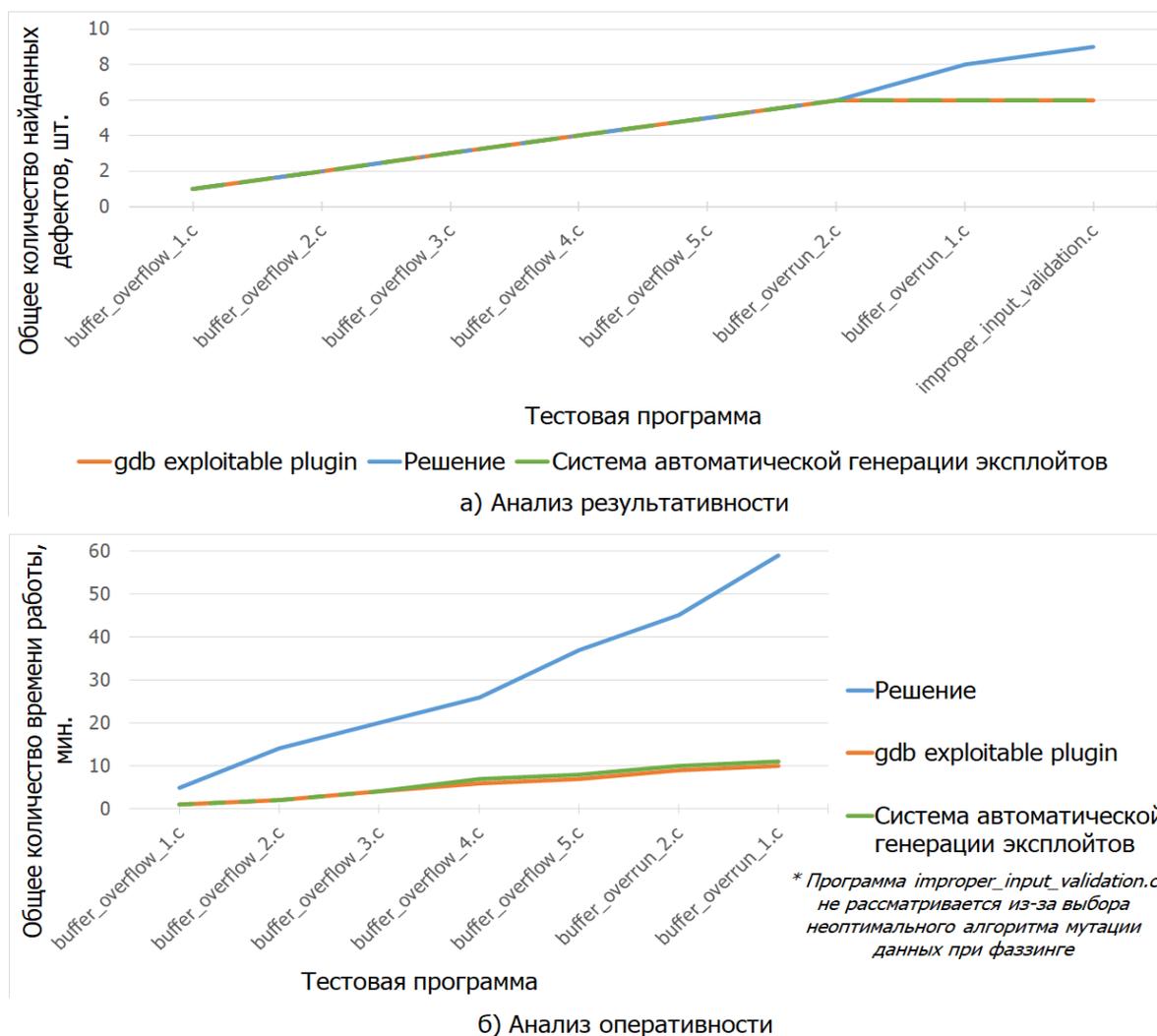


Рис. 6. Сравнительный анализ предложенного решения с аналогами

Литература

1. GDB exploitable plugin. URL: <https://github.com/jfoote/exploitable> (дата обращения 14.05.2021).
2. Analyze Crashes to Find Security Vulnerabilities in Your Apps. [Электронный ресурс]. 2007. Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/archive/msdn-magazine/2007/november/analyze-crashes-to-find-security-vulnerabilities-in-your-apps> (дата обращения 14.05.2021).
3. Федотов А.Н. Разработка метода оценки эксплуатируемости программных дефектов: дис. Институт системного программирования им. В.П. Иванникова. 2017. 98 с.
4. Cha S., Avgerinos T., Rebert A., Brumley D. Unleashing Mayhem on BinaryCode // 2012 IEEE Symposium on Security and Privacy. 2012. pp. 380-394.

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

Анисимов Артур Иванович

Год рождения: 2001

Университет ИТМО,

факультет среднего профессионального образования,

студент группы Y2435,

направление подготовки: 09.02.07 – Информационные системы и программирование,

e-mail: anisimov@niuitmo.ru

Говорова Марина Михайловна

Год рождения: 1965

Университет ИТМО,

факультет среднего профессионального образования,

преподаватель,

e-mail: mmgovorova@itmo.ru

УДК 004.02, 004.9

РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ НЕИГРОВЫХ ПЕРСОНАЖЕЙ

А.И. Анисимов

Научный руководитель – преподаватель М.М. Говорова

Аннотация

В работе рассмотрены современные решения реализации игрового искусственного интеллекта в современных видеоиграх. Описаны алгоритмы игрового искусственного интеллекта «Дерево поведения» и «Конечный автомат». Приведен обзор разработанного игрового искусственного интеллекта для неигровых персонажей на основе математической модели «Дерево поведения» в кроссплатформенной среде разработки видеоигр Unity.

Ключевые слова

Игровой искусственный интеллект, дерево поведения, конечный автомат, Behavior Designer, Unity, видеоигры, неигровые персонажи.

Алгоритмы игрового искусственного интеллекта широко используются для управления внутренними процессами в видеоиграх. Реализация игрового искусственного интеллекта (далее по тексту ИИИ) сильно влияет на игровой процесс, системные требования и бюджет. Разработчики балансируют между этими требованиями, стараясь сделать интересный и нетребовательный к ресурсам ИИИ. Исходя из совокупности этих факторов, подход к ИИИ сильно отличается от подхода к традиционному академическому искусственному интеллекту (далее по тексту – ИИ) – широко применяются разного рода упрощения, обманы и эмуляции. Его основной целью является создать видимость интеллектуальности внутриигровых персонажей, естественности их поведения, реакций и адекватности их намерений. ИИИ довольно часто использует некоторые отрасли знаний искусственного интеллекта как науки в целом, включая разнообразные алгоритмы поиска оптимального маршрута, алгоритмы управления и принятия решений, однако в игровой индустрии также существуют сложные взаимосвязанные интеллектуальные системы, которые и выделяют ИИИ в самостоятельную область знаний.

ИИИ часто описывают с помощью программных методик и другого технического инструментария, используемых разработчиками при написании видеоигры с целью создания интеллектуальных игровых систем, предназначенных, в первую очередь для

того, чтобы предоставить игроку интересный игровой процесс, ощущения и впечатления от игры.

Любое изменение состояния игровой системы будет требовать определенного множества решений от определенного множества игровых персонажей, поэтому разработка простых и эффективных моделей управления принятием решений позволяет сделать игровой процесс более органичным и естественным. На данный момент в видеоиграх используются [1] различные подобные алгоритмы, такие как «Дерево поведения» и «Конечный автомат».

Дерево поведения (BT – Behavior Tree) – это ориентированный ациклический граф, узлами которого являются возможные варианты поведения неигрового персонажа [1].

Узлы дерева поведения – это задачи, которые могут иметь следующие состояния:

- «успех», если задача выполнена успешно;
- «неудача», если условие не выполнено или задача, по какой-то причине, невыполнима;
- «в работе», если задача запущена в работу и ожидает завершения;
- «ошибка», если в программе возникает неизвестная ошибка.

Результат работы любого узла всегда передается родительскому узлу, расположенному на уровень выше. Дерево просматривается с самого верхнего узла – корня. Среди узлов выделяют следующие типы:

- действие (action) – представляет какое-либо изменение данных в системе;
- узел исполнения последовательности (sequence) – поочередно исполняет поведения каждого дочернего узла до тех пор, пока один из них не выдаст значение «Неудача», «В работе» или «Ошибка». Если этого не произошло, возвращает значение «Успех»;
- параллельный узел (parallel) – исполняет поведения дочерних узлов до тех пор, пока заданное количество из них не вернет статус «Неудача» или «Успех»;
- селектор (selector) – поочередно исполняет поведения каждого дочернего узла до тех пор, пока один из них не выдаст значение «Успех», «В работе» или «Ошибка». Если этого не произошло, возвращает значение «Неудача»;
- условие (condition) – содержит критерий, по которому определяется исход;
- инвертор (inverter) – выполняет функцию оператора NOT.

Пример типичного дерева поведения представлен на рис. 1. Он запускает узел условия, выбирающий между поведением А и В.



Рис. 1. Пример простого дерева поведения

Комплексное дерево поведения с условиями, параллельными (одновременными) поведением и последовательностями поведений продемонстрировано на рис. 2.

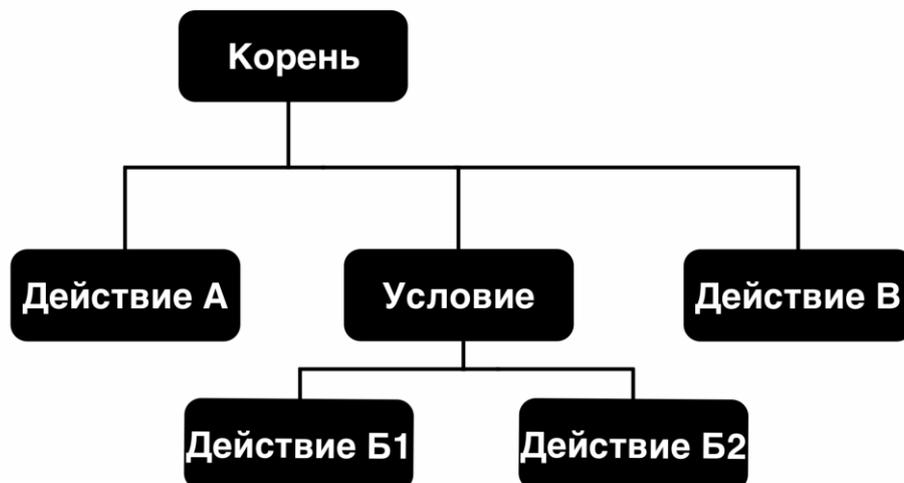


Рис. 2. Пример комплексного дерева поведения

Отличительной особенностью такого подхода является то, что система мгновенным образом меняет свое состояние при прохождении определенного узла, а основным преимуществом является то, что в игровые системы с конечным множеством состояний можно с легкостью внедрить функции их перехода и описать целое множество игровых ситуаций. Недостатки данного метода заключаются [1] в невозможности интеграции новых игровых связей в уже готовое дерево и возможная коллизия двух деревьев решений при пересечении областей их действия.

Конечный автомат – еще один алгоритм ИИИ. Каждый конечный автомат имеет только конечное число возможных состояний. Функция перехода определяет, как состояние изменяется со временем, в соответствии с входными данными конечного автомата [2]. Конечные автоматы подразделяются [1] на две различные категории:

- распознающие конечные автоматы (Finite-State Automata – FSA) не вырабатывают каких-либо выходных данных до тех пор, пока не будет достигнуто терминальное состояние. Они могут использоваться для распознавания шаблонов (например, интерпретации действий противника) или классификации последовательностей (например, определение стратегии);

- порождающие конечные автоматы (Finite-State Machine – FSM) обеспечивают формирование выходных данных после получения каждого символа. Они могут использоваться для моделирования состояния мыслительной деятельности неигровых персонажей, касающейся того, в чём состоит их текущее задание и как они должны реагировать на ситуацию.

Из преимуществ [3] можно отметить простоту реализации и постоянное совершенствование метода на основе формальных определений теории конечных автоматов, из недостатков [3] – сильное усложнение структуры конечных автоматов при проектировании систем с большим числом состояний. По мере увеличения числа состояний конечного автомата, его сложность возрастает.

Деревья поведения предлагают удобную и элегантную организационную структуру и имеют [4] несколько преимуществ перед автоматами:

- обеспечивают большую гибкость. Чтобы одновременно запустить два разных состояния в конечном автомате существует один единственный способ – создать два отдельных автомата. С деревом поведения все, что нужно сделать, это добавить

параллельную задачу, и затем все дочерние задачи будут выполняться параллельно;

- мощность. Это не означает, что конечные автоматы не являются мощными, просто они обладают разными возможностями. Деревья поведения позволяют ИИИИ легче реагировать на текущее состояние игры, чем это делают конечные автоматы. Легче создать дерево поведения, которое будет реагировать на всевозможные ситуации, в то время как для создания подобного ИИИИ потребуются много состояний и переходов с конечным автоматом;

- в него легко вносить изменения. Одна из причин, по которой деревья поведения стали настолько популярными, заключается в том, что их легко создавать с помощью визуального редактора. Если требуется изменить порядок выполнения состояний с помощью конечного автомата, необходимо изменить переходы между состояниями. В случае дерева поведения требуется только изменить визуальный порядок задачи. Кроме того, возможно полностью изменить то, как ИИИИ реагирует на различные ситуации, просто изменив задачи или добавив новую родительскую задачу в ветвь задач.

В подавляющем большинстве видеоигр прошлых десятилетий одними из самых популярных архитектур ИИИИ являлись либо конечные автоматы, либо скриптовый ИИ [1]. На данный момент эти архитектуры обычно используются только для решения небольших задач в видеоиграх, для которых правдоподобный ИИИИ не является основным приоритетом [1]:

- скриптовый ИИИИ – классическая архитектура, которая широко использовалась в видеоиграх. Заключается в написании сценария, который определяет подробную последовательность шагов, которые должен предпринять неигровой персонаж;

- конечный автомат – другая классическая архитектура, в которой определены состояния и представляют основные вещи, которые может делать персонаж. Переходы определяют условия, при которых ИИИИ будет переходить из одного состояния в другое.

На замену этим архитектурам пришла новая, более гибкая, архитектура «Дерево поведения» – архитектура ИИИИ, построенная на одноименной математической модели.

В ходе работы был разработан модуль, который можно использовать для разработки новых видеоигр в жанре action-adventure. Action-adventure – смешанный жанр компьютерных игр, сочетающий в себе элементы приключения и действия [5]. Подобные игры предлагают игроку преодолевать препятствия как интеллектуального рода, так и физического, например, испытания на выносливость или скорость реакции. К элементам приключения могут принадлежать головоломки, сюжет, многочисленные персонажи, диалоги между ними, инвентарь для собранных предметов. При этом по сравнению с приключением, action-adventure игры в большей степени опираются на перемещение персонажа в виртуальном мире игры – это влияет на игровой процесс, в котором будут преобладать сражения с неигровыми персонажами, для чего требуется реализовать ИИИИ, который будет помогать неигровым персонажам казаться более интеллектуальными и естественными по отношению к игроку.

Для разработки модуля использовалась математическая модель «Дерево поведения» с реализацией Behaviour Designer на кроссплатформенной среде разработки видеоигр Unity. Behavior Designer – это реализация дерева поведения, предназначенная для программистов, художников, дизайнеров. Behavior Designer предлагает мощный API, позволяющий легко создавать новые задачи. Имеет понятный визуальный редактор. Behavior Designer является популярным [4] решением для реализации ИИИИ в Unity. На рис. 3 продемонстрирован пример дерева поведения в Behavior Designer.

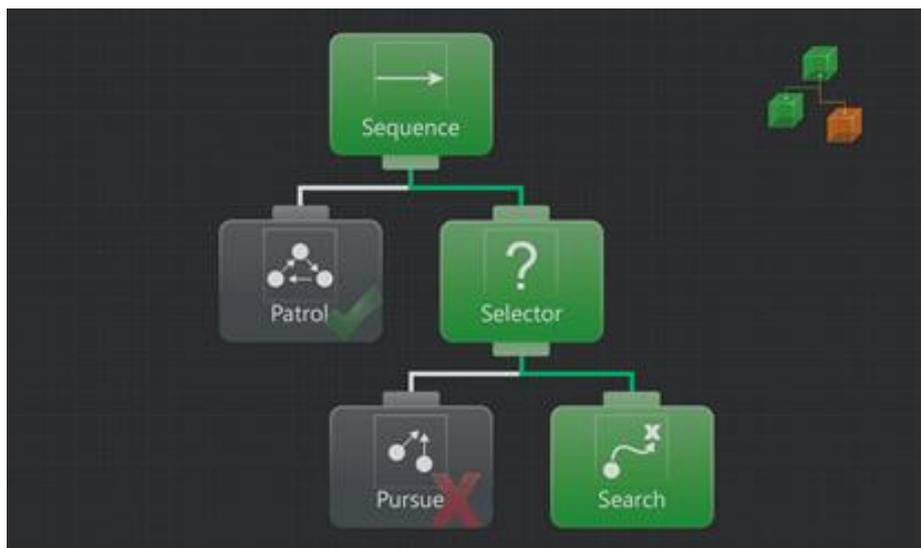


Рис. 3. Визуализация дерева поведения в Behavior Designer

Модуль интегрируется в компьютерную игру, вследствие чего предусматривается только одна категория пользователей – игрок. В процессе работы игры пользователь является непосредственным участником игрового процесса и оказывает непосредственное влияние на все модули и системы.

ИИИ обеспечит возможность выполнения следующих функций.

Взаимодействие с игроком:

- обнаружение игрока;
- сражение с игроком;

Взаимодействие с другими неигровыми персонажами:

- сражение с неигровыми персонажами.

Взаимодействие с внутриигровым миром:

- патрулирование определенной зоны;
- укрытие за препятствиями.

Модуль обеспечит управление неигровыми персонажами, что позволит им казаться более интеллектуальными и естественными по отношению к пользователю.

В ходе работы были рассмотрены популярные алгоритмы игрового искусственного интеллекта. Было выявлено, что в подавляющем большинстве видеоигр прошлых десятилетий одними из самых популярных архитектур являлись либо конечные автоматы, либо скриптовый ИИ. На замену этим архитектурам пришла новая, более гибкая, архитектура «Дерево поведения». Был разработан модуль ИИИ на основе математической модели «Дерево поведения», который можно использовать для разработки новых видеоигр в жанре action-adventure.

Литература

1. Kevin Dill Introducing GAIA: A Reusable, Extensible Architecture for AI Behavior [Электронный ресурс] // Материалы Spring Simulation Interoperability Workshop, 2012. URL: https://www.sisostds.org/DesktopModules/Bring2mind/DMX/API/Entries/Download?Command=Core_Download&EntryId=35466&PortalId=0&TabId=105 (дата обращения 01.07.2021).
2. Алекс Дж. Шампандар. Искусственный интеллект в компьютерных играх. - Москва: Вильямс И.Д. 2007. 768 с.

3. Буковшин В.А., Воскобойников С.Г. Интеллектуальные системы в компьютерных играх. перспективы развития искусственного интеллекта в игровой индустрии // Современные материалы, техника и технологии. 2017. №3.
4. Behavior trees or Finite state machines [Электронный ресурс] // Документация Behavior Designer. URL: <https://opsive.com/support/documentation/behavior-designer> (дата обращения: 01.07.2021).
5. Эндрю Роллингс Проектирование и архитектура игр. 2 изд. Москва: Издательство "Вильямс". 2005. 1040 с.

Волкова Елизавета Алексеевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3447,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: liza.volkova@inbox.ru

Кузнецов Александр Юрьевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: alkuznetcov@itmo.ru

УДК 006.86

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ
ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ОТ УТЕЧКИ
ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКИМ КАНАЛАМ**

Е.А. Волкова

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

Аннотация

В работе представлено исследование существующих методик оценки защищенности речевой информации от утечки по акустическому каналу. Определена зависимость разборчивости речи от количества говорящих при одинаковой разнице между уровнем измеренного суммарного акустического сигнала и шума, и уровня измеренного акустического шума. Определены нормативные значения разницы между измеренным акустическим сигналом с введенным шумом, и измеренным акустическим шумом. Разработана методика проведения оценки защищенности помещения от утечки речевой информации по акустическому каналу.

Ключевые слова

Оценка защищенности помещения, методика оценки, утечка речевой информации, коэффициент разборчивости речи, акустический канал, разработка.

Чаще всего, в утечке информации виноват внутренний нарушитель, зачастую им становится рядовой сотрудник компании. Непреднамеренное прослушивание является частой причиной утечки информации ограниченного распространения. Для того чтобы правильно спроектировать систему защиты информации от утечки по акустическим каналам путем непреднамеренного прослушивания необходимо проводить оценку защищенности помещения, в котором предполагается циркулирование речевой информации ограниченного распространения.

На данный момент существует две основные методики оценки защищенности – расчётно-графическая и инструментально-расчётная. Расчётно-графический метод, описанный в [1], заключается в оценке звукоизоляционных свойств материала, из которого состоит ограждающая конструкция обследуемого помещения, и основана на методике, применяемой в строительстве [2]. Для проведения оценки защищенности с помощью методики [1], необходимо знать точные размеры обследуемого помещения, материал его ограждающих конструкций и их толщину. Оценка с помощью инструментально-расчётной методики [3] заключается в определении коэффициента

звукоизоляции ограждающих конструкций помещения и проводится с использованием специализированного оборудования, и в отличие от методики [1] не требует знания размеров ограждающих конструкций обследуемого помещения и материала, из которого они состоят.

В существующих методиках оценка заключается в определении потерь звуковой энергии по каждому из каналов. Однако, оценка проводится без учета особенностей амплитудного состава речи, то есть различной концентрации энергии речевого сигнала в различных частотных диапазонах. Соответственно, более объективной оценкой защищенности информации будет оценка с учетом коэффициента разборчивости речи.

Для определения нормативных значений разницы между уровнем измеренного суммарного акустического сигнала и шума, и уровнем измеренного акустического шума ($L_{(c+ш)i} - L_{шi}$) был поставлен эксперимент, в ходе которого контрольная группа лиц прослушивала восемь аудиодорожек с записями диалога и монолога, с различным уровнем наложенного белого шума. При этом уровень шума настраивался таким образом, чтобы он был на 5, 10, 15, 20 дБ ниже, чем уровень сигнала в соответствующих октавных полосах. Задачей контрольной группы лиц было прослушать восемь звуковых дорожек и дословно воспроизвести услышанный текст. При этом запись нельзя было останавливать или перематывать.

В табл. 1 представлены средние значения результатов, полученных от шести человек, для двух видов используемых в эксперименте сигналов и для различных уровней шума.

Таблица 1

Зависимость разборчивости речи от ($L_{(c+ш)i} - L_{шi}$)

Вид сигнала	$(L_{(c+ш)i} - L_{шi})$, дБ			
	5	10	15	20
Коэффициент разборчивости речи во время доклада одного человека W , %	7	37	58	93
Коэффициент разборчивости речи во время разговора нескольких человек W , %	0	26	54	87

Существует утверждение, что невозможно подробно восстановить текст разговора при словесной разборчивости, не превышающей 60–70 %, при разборчивости менее 40–50 % нельзя восстановить даже краткое содержание, при разборчивости менее 30 % затруднительно определить даже тему беседы. Принимая во внимание данное утверждение, проведен описанный выше эксперимент.

На основании результатов эксперимента, приведенных в табл. 1 сделан вывод, что при одинаковом значении ($L_{(c+ш)i} - L_{шi}$) разборчивость речи изменяется в зависимости от количества говорящих.

Таким образом, для проведения оценки необходимо учитывать, какого рода мероприятия будут проводиться в обследуемом помещении – выступления отдельных докладчиков или переговоры.

На основании полученных данных сформирована табл. 2. Данные выбраны исходя из того, что если коэффициент разборчивости речи составляет менее 30 %, то есть из десяти сказанных слов понято менее трёх, то значительно затрудняется определение самого предмета беседы, а значит, речевая конфиденциальная информация защищена от утечки.

Нормативные значения $(L_{(c+ш)і} - L_{ші})_{норм}$

Форма передачи речевой информации	$(L_{(c+ш)і} - L_{ші})_{норм}$, дБ
Монолог	5
Диалог	10

Порядок проведения оценки защищенности помещения с помощью разработанной методики, с применением нормативных значения, приведен на рис. 1.

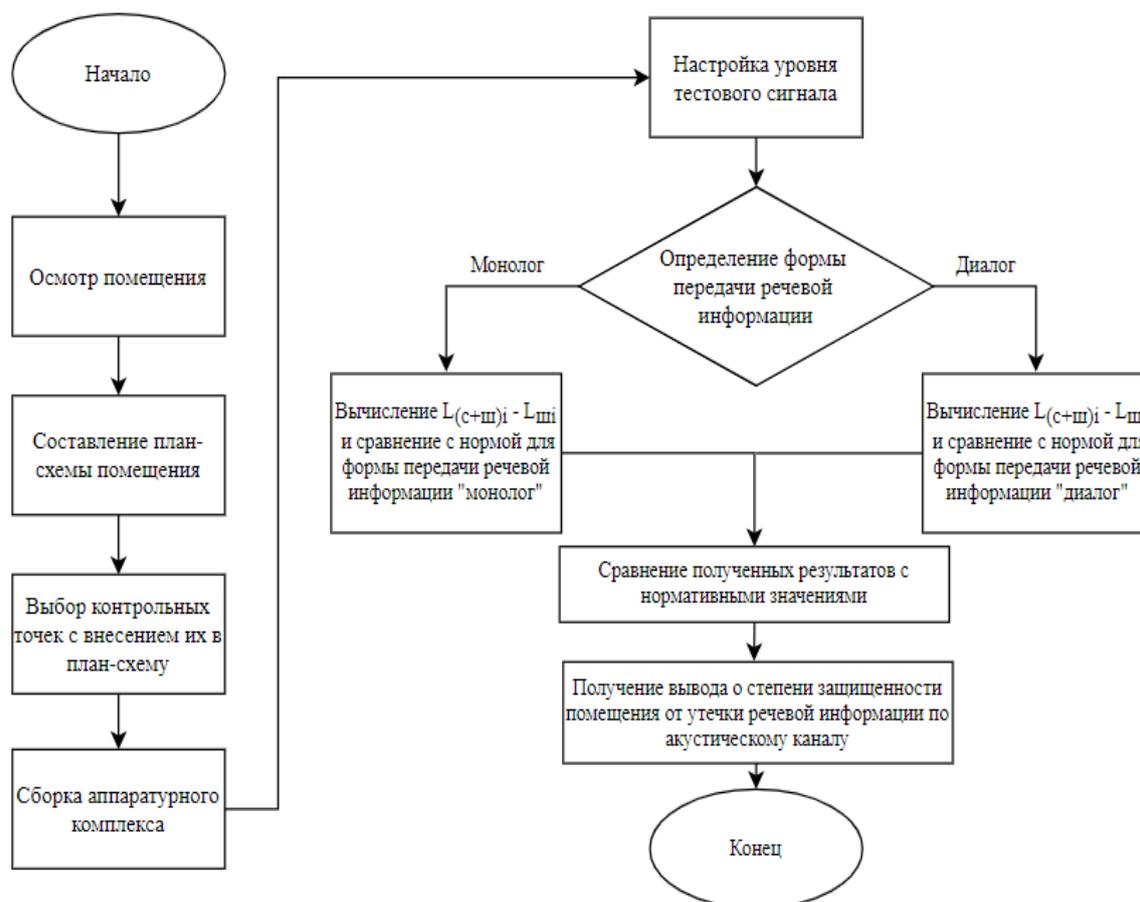


Рис. 1. Блок-схема алгоритма проведения оценки

Работоспособность разработанной методики была доказана путём сравнительного анализа результатов оценки защищённости экспериментального помещения.

Ограждающими конструкциями помещения являются: кирпичные стены толщиной 250мм, межэтажные перекрытия из железобетона толщиной 150мм, одностворчатая деревянная дверь стандартного исполнения, окно с двойным остеклением.

Описание контрольных точек помещения:

1. Входная дверь в помещение А, акустический канал.
2. Стена между помещением А и помещением Г, акустический канал.
3. Стена между помещением А и помещением Б, акустический канал.
4. Пол помещения А, акустический канал.

2. Потолок помещения А, акустический канал.
3. Окно, акустический канал.

План-схема экспериментального помещения представлена на рис. 2

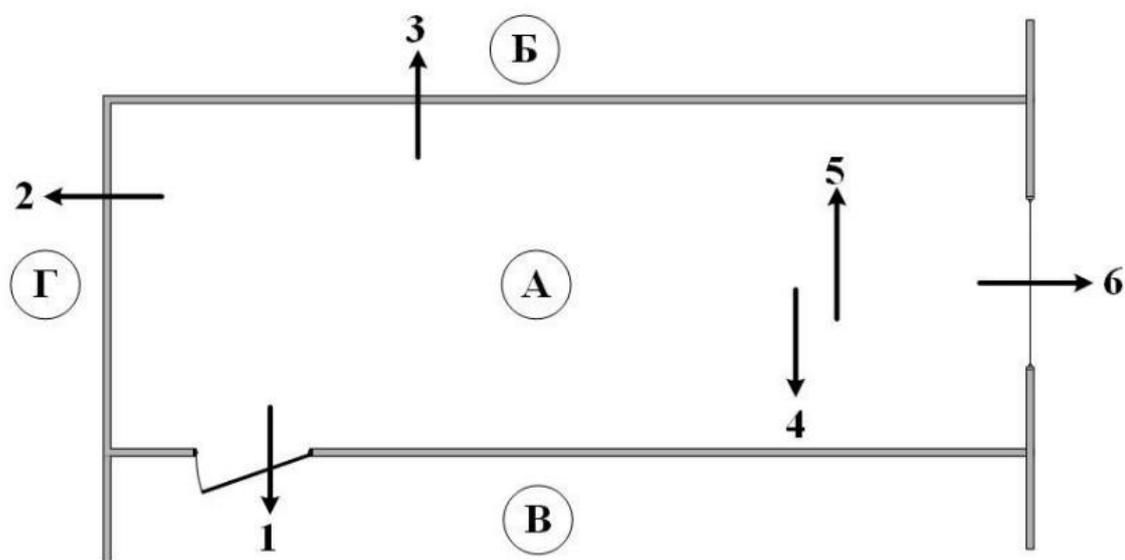


Рис. 2. План-схема экспериментального помещения

Таблица 3

Сравнение результатов оценки, выполненной с помощью различных методик

Номер контрольной точки	Инструментально-расчетная методика	Расчетно-графическая методика	Разработанная методика
	Соответствие норме		
1	-	-	-
2	+	+	+
3	+	+	+
4	+	+	+
5	+	+	+
6	-	-	+

Из табл. 3, следует вывод, что разработанная методика работоспособна, а несоответствие результатов оценки в контрольной точке 6 обусловлено недостатками существующих методик.

В результате работы проанализированы существующие методики оценки и определены их недостатки. Для исправления этих недостатков разработана новая методика оценки, в которой анализ ведется с учетом коэффициента разборчивости речи. Для получения нормативных значений, необходимых в процессе разработки методики, проведен эксперимент с использованием измерительной аппаратуры, а также контрольной группы лиц. Для проверки работоспособности разработанной методики произведена оценка с учетом коэффициента разборчивости речи, а также проведено сравнение с результатами оценки, проведенной по существующим методикам. Сравнительный анализ показал работоспособность разработанной методики оценки.

Литература

1. Технология защиты речевой информации в помещениях: учебно-методическое пособие. Паршин К.А., Копылова А.А. Екатеринбург: УрГУПС. 2010. 88 с.
2. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП. 2004.
3. Паршин К.А., Анашкин П.А. Сравнительный анализ методик оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений //Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. 2015. №. 1 (15). С. 13- 26.

Гончаров Роман Константинович

Год рождения: 2000

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V3400,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: rkgoncharov@itmo.ru

Киселев Алексей Дониславович

Год рождения: 1960

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., доцент,

e-mail: alexei.d.kiselev@gmail.com

УДК 535.14

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА БОКОВЫХ
ЧАСТОТАХ С ГАУССОВСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

Р.К. Гончаров

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент А.Д. Киселев

Работа выполнена в рамках темы НИР № 320343 «Разработка метода когерентного приема для абонентских устройств квантовой коммуникации на боковых частотах».

Аннотация

Целью работы является описание протокола квантового распределения ключей с гауссовской модуляцией, использующего многомодовые когерентные состояния, генерируемые на боковых частотах модулированного излучения. Для приема сигнальных состояний используется метод когерентного приема, в котором в качестве локального осциллятора выступает энергия излучения на центральной частоте. В рамках доказательства стойкости против коллективных атак в асимптотическом режиме рассматриваются необходимые поправки, позволяющие свести рассматриваемую модель к общей.

Ключевые слова

Квантовое распределение ключей, гауссовская модуляция, непрерывные переменные, когерентный прием, боковые частоты.

Квантовое распределение ключей (КРК) – это метод пересылки симметричных криптографических ключей между двумя пользователями (Отправителем и Получателем), основанный на кодировании информации в состояниях квантовых объектов и последующей обработке ключа через классический канал связи. Поскольку суть КРК напрямую вытекает из теоремы о запрете клонирования, Нарушитель не имеет возможности перехватить информацию без последствий. Первые протоколы КРК использовали квантовые системы с конечными степенями свободы [1]. Такие протоколы называются протоколами на дискретных переменных (КРКДП), и они изучены в большей степени, чем те, которые будут обсуждаться ниже в настоящей работе. Для экспериментальной реализации КРКДП требуются однофотонные детекторы.

В свою очередь, КРК на непрерывных переменных (КРКНП), которое было предложено позже, основывается на методах когерентного приёма для получения

информации о квадратурах квантового состояния. Самым известным и хорошо изученным протоколом КРКНП в рамках теоретического анализа, несомненно, является протокол КРК с гауссовской модуляцией (или GG02) [2], в котором применяются когерентные состояния с модулированными по Гауссу комплексным амплитудами.

Один из примечательных методов, основанный на генерации сигнала на боковых частотах модулированного излучения (БЧ или КРКБЧ) и активно апробированный для систем КРКДП [3], может быть успешно применен и в контексте КРКНП [4]. Определяющим свойством этого метода является подход к кодированию квантовой информации, в котором сильная монохроматическая волна, излучаемая лазером, модулируется в электрооптическом фазовом модуляторе для создания слабоинтенсивных боковых мод, а сама информация содержится в их амплитуде и фазе. Таким образом, объектом рассмотрения в данном случае является многомодовое когерентное состояние.

В протоколе КРКБЧ с гауссовской модуляцией, описанном в настоящей работе, Отправитель генерирует многомодовые когерентные состояния, в которых боковые моды первого порядка модулируются по Гауссу, а Получатель методами когерентного приема восстанавливает исходную информацию, получая коррелированные с Отправителем значения. Цель настоящей работы — описать математическую модель протокола в контексте метода КРКБЧ и обосновать криптографическую стойкости в присутствии коллективных атак.

Упрощенная схема системы КРКБЧ с гауссовской модуляцией представлена на рис. 1. Лазер Отправителя генерирует импульсы постоянной длительности с заданной частотой. Далее выполняется процесс электрооптической фазовой модуляции, в котором малый индекс модуляции m_A изменяется согласно распределению Рэля с постоянным параметром $V_A^{1/2}$, а фаза φ_A выбирается в соответствии с равномерным распределением. Легко показать, что выходное распределение боковых полос первого порядка будет соответствовать гауссовскому распределению с нулевым средним и дисперсией V_A в линейном приближении малого индекса модуляции.

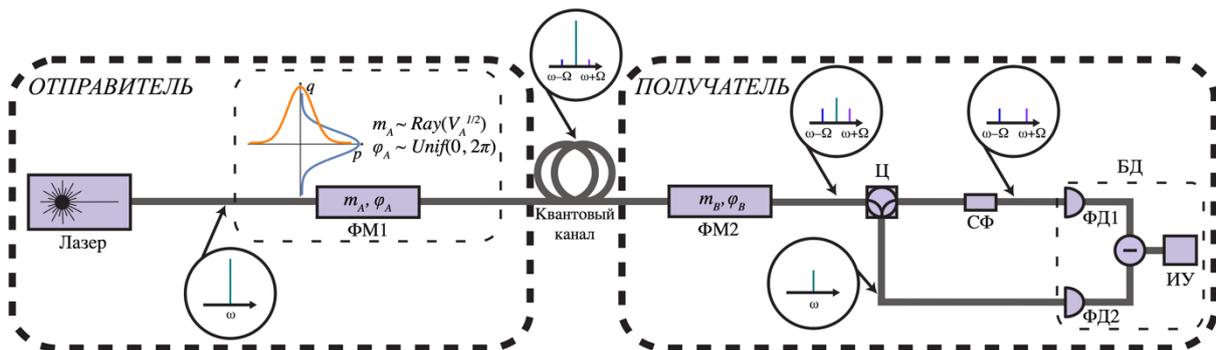


Рис. 1. Оптическая схема установки КРКБЧ с гауссовской модуляцией. ФМ – фазовый модулятор, Ц – циркулятор, СФ – спектральный фильтр, БД – балансный детектор, ФД – фотодиод, ИУ – измерительное устройство

В большинстве работ описанная процедура выполняется с использованием двух модуляторов (амплитудного и фазового) [2, 5, 6]. В свою очередь, подход с использованием только фазовой модуляции был предложен ранее [7]. Необходимо учитывать вакуумный шум, поэтому результирующая дисперсия составит $V = V_A + 1$ в системе единиц дробового шума (shot noise units, SNU).

Затем полученный сигнал проходит через гауссовский квантовый канал с коэффициентом прохождения T и избыточным шумом ξ в модуль Получателя, который реализует процедуру когерентного приёма, описанную ранее [4, 8]. То есть Получатель использует гораздо больший индекс модуляции ($m_B = 1,13$ в [8]) и случайным образом выбирает фазу φ_B из набора $\{0, \pi/2\}$, тем самым определяя измеренную квадратуру (на рис. 1 это p и q в фазовой плоскости соответственно). В результате перераспределения энергии из-за фазовой перемодуляции мощность боковых мод значительно увеличивается, и информация об отправленном сигнале будет содержаться в разнице энергий между боковыми модами и остатком несущей моды. Далее методами спектральной фильтрации осуществляется разделение несущей и боковых мод и балансное детектирование. На выходе балансного детектора Получатель наблюдает действительные значения, коррелированные со значениями, подготовленными Отправителем. Далее выполняются стандартные процедуры исправления ошибок и усиления стойкости [9].

В результате прямого сравнения схем классического гомодинирования и когерентного детектирования КРКБЧ было выявлено [8], что последняя несколько менее эффективна. В этом контексте «классическое гомодинирование» означает, что амплитуда сигнала равна $(1 - J_0^2(m_A))^{1/2}$, а амплитуда мощного локального осциллятора равна $J_0(m_A)$. Результаты сравнения показаны на рис. 2.

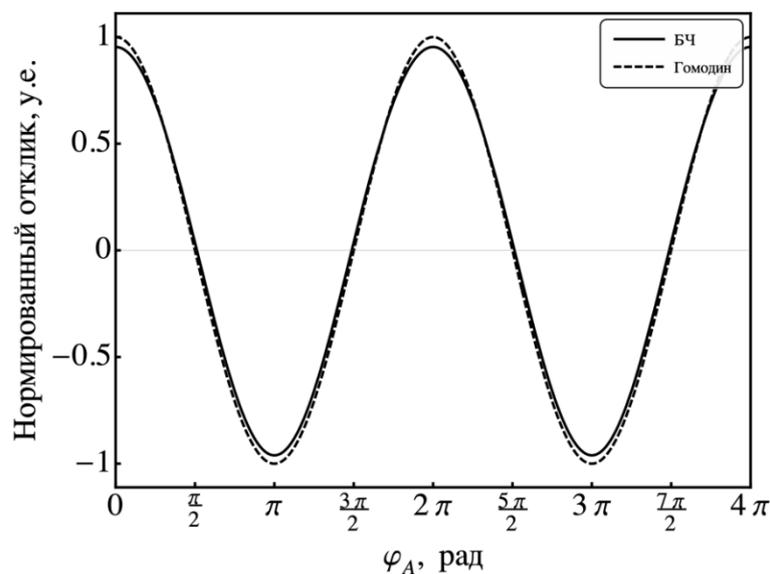


Рис. 2. Результаты отклика по квадратуре p . Очевидно, аналогичные данные для квадратуры q могут быть получены фазовым сдвигом на $\pi/2$ в модуляторе Получателя. Отклики детектора нормированы на классическое гомодинирование в качестве эталона

Эффективность детектирования в схеме КРКБЧ в таком случае получается путём следующего отношения:

$$\eta_{\text{hom}} = \frac{1 - 4J_0^2(m) + 2J_0^4(m)}{4J_0^2(m_A)(1 - J_0^2(m_A))}, \quad (3)$$

где $m = m_A + m_B$.

Эффективность в уравнении (3) зависит от индекса модуляции, выбранного Отправителем в соответствии с конкретным распределением, поэтому она также будет меняться от импульса к импульсу. Однако, если вычислить её для различных малых

значений m_A , можно увидеть, что окончательное значение варьируется в диапазоне от 0,89 до 0,93; поэтому для упрощения дальнейших вычислений было взято среднее значение $\eta_{\text{hom}} = 0.9$.

Избыточный шум может быть определён через сторону Отправителя или через сторону Получателя. Появляется следующее соотношение:

$$\xi = \xi_B = T\xi_A, \quad (4)$$

где ξ_A — избыточный шум Отправителя, а ξ_B — Получателя.

В общем, избыточный шум включает дисперсии шума (в системе SNU) всех возможных источников [10]:

$$\xi = \xi_{\text{modul}} + \xi_{\text{Raman}} + \xi_{\text{quant}} + \xi_{\text{phase}} + \xi_{\text{det}} + \xi_{\text{RIN}} + \xi_{\text{CMRR}} + \dots, \quad (5)$$

где ξ_{modul} — шум модуляции, ξ_{Raman} — шум комбинационного рассеяния, ξ_{quant} — шум дискретизации, ξ_{phase} — шум фазовых флуктуаций, ξ_{det} — шум детектора, ξ_{RIN} — шум флуктуаций мощности, и ξ_{CMRR} — это шум, вызванный неидеальным коэффициентом подавления синфазного сигнала балансного детектора. Значения вышеуказанных параметров подробно рассчитаны в [10]. В настоящей же работе рассматривается новая величина, принципиально важная для системы КРКБЧ.

Из квантовой модели электрооптического модулятора [11] известно, что выходные амплитуды боковых мод описываются d-функциями Вигнера или, в асимптотическом приближении, функциями Бесселя. Основное приближение, используемое в рассматриваемом протоколе:

$$J_k(m) \approx \frac{1}{k!} \left(\frac{m}{2}\right)^k, \quad (6)$$

где k — индекс моды.

Соотношение (6) показывает, что распределению Рэлея (при условии, что ему соответствует m_A) удовлетворяют только боковые моды с индексом $k = \pm 1$. По этой причине боковые моды более высоких порядков с неудовлетворительным распределением должны быть учтены в контексте избыточного шума в уравнении (5). Для этого необходимо вычислить дисперсии распределений боковых мод старших порядков ($|k| \geq 2$). Таким образом, можно написать:

$$\xi_{\text{scw}} = 2\pi \sum_{k=2}^{\infty} \int_0^{\infty} dx \frac{1}{(2^k k!)^2} \left(\frac{x^{2k+1} e^{-\frac{x^2}{2V_A^2}}}{V_A} \right). \quad (7)$$

Интеграл и ряд сходятся.

График зависимости полученного избыточного шума от параметра рэлеевского распределения представлен на рис. 3. Видно, что значения шума достаточно малы при небольших значениях параметра. Следует отметить, что типичные значения $V_A^{1/2}$ обычно не превышают 10 в типичных протоколах КРКНП, Это связано с неидеальностью процедур исправления ошибок в ключе.

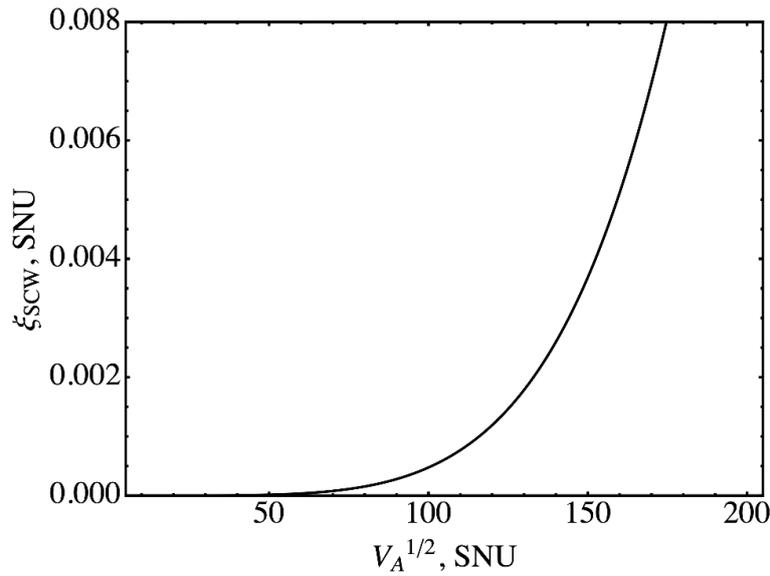


Рис. 3. Зависимость значений избыточного шума, вызванного боковыми модами высоких порядков, от параметра распределения Рэлея, установленного на электрооптическом модуляторе

Теоретический анализ стойкости протокола КРКНП с гауссовской модуляцией, по аналогии с некоторыми протоколами КРКДП, основан на концепции виртуальной запутанности [12]. Согласно этой концепции, событие, в котором Отправитель посылает одномодовое когерентное состояние в гауссовский квантовый канал и последующее детектирование Получателем, полностью аналогично событию, в котором моды двухмодового сжатого вакуумного состояния распределяются между теми же пользователями, и оба события описываются одной и той же ковариационной матрицей с точностью до некоторых констант.

В рассматриваемом протоколе КРКБЧ следует учитывать тот факт, что в общем случае рассматривается только тензорное произведение по конечному числу мод [11] без перекрёстного влияния, поэтому по аналогии с [7], каждую боковую моду можно рассматривать в отдельности, приписывая ей отдельный квантовый канал. Учитывая, что только боковые моды первого порядка ($k = \pm 1$) используются непосредственно в протоколе, а верхняя и нижняя боковые несут одинаковую информацию, можно свести оценку ковариационных матриц к одномодовому случаю. К этому же сводится рассмотрение двух матриц для каждой из двух боковых мод в отдельности. Тогда остаётся провести известные шаги анализа стойкости в присутствии коллективных атак в асимптотическом режиме [10] с поправкой на принципиальную неэффективность схемы когерентного приёма в КРКБЧ и дополнительный шум от боковых мод высоких порядков.

В настоящей работе рассматривается так называемый «сценарий доверенного шума детектора» [13], то есть, например, шум балансного детектора, его эффективность (не путать с η_{hom}) и т.д. не будут приниматься во внимание при оценке информации Холево. Ковариационная матрица в таком случае:

$$\Sigma_{AB} = \begin{pmatrix} V1_2 & \sqrt{T_{\text{ch}}(V^2 - 1)}\sigma_z \\ \sqrt{T_{\text{ch}}(V^2 - 1)}\sigma_z & (T_{\text{ch}}[V - 1] + 1 + \xi_{\text{ch}})1_2 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где $T_{ch} n_{hom} \equiv T$, $\mathbf{1}_2$ – единичный оператор, σ_z – z-оператор Паули, а $\xi_{ch} \equiv \xi$ – избыточный шум без учета шума оборудования Получателя.

В рассматриваемом случае информация Холево оценивается как:

$$\chi_{EB} = S_E - S_{EB} = S_{AB} - S_{AB}, \quad (9)$$

где S – энтропия фон Неймана.

То есть оценка выполняется непосредственно из описанной ковариационной матрицы «Отправитель-Получатель». Энтропия фон Неймана гауссовского состояния описывается в терминах симплектических собственных значений ковариационной матрицы Σ , которые являются модулями собственных значений матрицы $\tilde{\Sigma} = i\Omega\Sigma$ [14].

Скорость генерации стойкого ключа оценивается из отношения сигнал/шум (взаимная информация) и информации Холево с поправками на эффективность постобработки [10]. Таким образом, скорость генерации стойкого ключа в пересчёте на посылку:

$$r = (1 - FER)(1 - \nu) \left(\beta \frac{\mu}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\frac{1}{TV_A}}{1 + \frac{1}{\mu} \xi} \right) - \chi_{EB} \right), \quad (10)$$

где FER – частота появления ошибочных кадров при использовании кодов коррекции ошибок, β – эффективность постобработки, ν – доля ключа, раскрываемая для оценки параметров, $\mu \in \{1, 2\}$ – параметр гомо-/гетеродинамирования.

Параметры моделирования следующие: FER = 0, $\nu = 0,1$, $\beta = 0,96$, $V_A = 6$, $T_{ch} = 10^{-0,02L}$, $\xi = 0,02T_{ch}$. График скорости генерации стойкого ключа в пересчёте на посылку r показан на рис. 4.

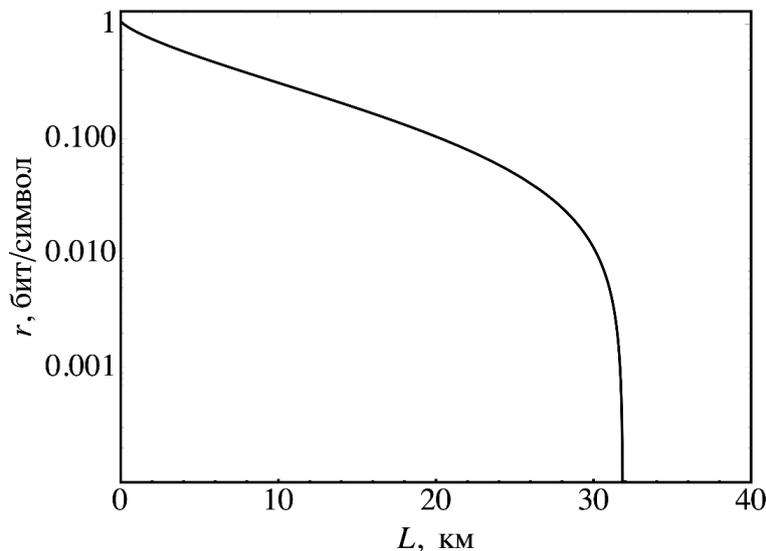


Рис. 4. Зависимость скорости генерации секретного ключа в пересчёте на посылку от длины квантового канала

Была построена математическая модель предлагаемого протокола КРКБЧ с гауссовской модуляцией и продемонстрирована его криптографическая стойкость против коллективных атак в асимптотическом режиме. Расчёты показывают, что

система КРКБЧ позволяет распределить секретный ключ на расстояния более 30 км. Дальнейшая работа будет направлена на расширение доказательства стойкости против атак общего вида и экспериментальную реализацию протокола.

Литература

1. Bennett C.H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing // *Theoretical Computer Science*. 2014. Т. 560. С. 7-11.
2. Grosshans F. et al. Quantum key distribution using gaussian-modulated coherent states // *Nature*. 2003. Т. 421. №. 6920. С. 238-241.
3. Gleim A.V. et al. Secure polarization-independent subcarrier quantum key distribution in optical fiber channel using BB84 protocol with a strong reference // *Optics Express*. 2016. Т. 24. №. 3. С. 2619-2633.
4. Samsonov E. et al. Subcarrier wave continuous variable quantum key distribution with discrete modulation: mathematical model and finite-key analysis // *Scientific Reports*. – 2020. Т. 10. №. 1. С. 1-9.
5. Jouguet P. et al. Experimental demonstration of long-distance continuous-variable quantum key distribution // *Nature photonics*. 2013. Т. 7. №. 5. С. 378-381.
6. Diamanti E., Leverrier A. Distributing secret keys with quantum continuous variables: principle, security and implementations // *Entropy*. 2015. Т. 17. №. 9. С. 6072-6092.
7. Fang J., Huang P., Zeng G. Multichannel parallel continuous-variable quantum key distribution with Gaussian modulation // *Physical Review A*. 2014. Т. 89. №. 2. С. 022315.
8. Samsonov E et al. Coherent detection schemes for subcarrier wave continuous variable quantum key distribution // *arXiv preprint arXiv:2006.16543*. 2020.
9. Pirandola S. et al. Advances in quantum cryptography // *Advances in Optics and Photonics*. 2020. Т. 12. №. 4. С. 1012-1236.
10. Laudenbach F. et al. Continuous-variable quantum key distribution with gaussian modulation—the theory of practical implementations // *Advanced Quantum Technologies*. 2018. Т. 1. №. 1. С. 1800011.
11. Miroschnichenko G.P. et al. Algebraic approach to electro-optic modulation of light: exactly solvable multimode quantum model // *Journal of the Optical Society of America B Optical Physics*. 2017. Т. 34. №. 6. С. 1177.
12. Grosshans F. et al. Virtual Entanglement and Reconciliation Protocols for Quantum Cryptography with Continuous Variables // *Quantum Information & Computation*. 2003. Т. 3. С. 535-552.
13. Usenko V.C., Filip R. Trusted noise in continuous-variable quantum key distribution: a threat and a defense // *Entropy*. 2016. Т. 18. №. 1. С. 20.
14. Serafini A. Quantum continuous variables: a primer of theoretical methods. CRC press, 2017.

Егоров Артем Антонович

Год рождения: 24.04.1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3437,

направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: mr.artem.egorov@yandex.ru

Колюбин Сергей Алексеевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

д.т.н., профессор,

e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 62-231.332

**УСЛОВНАЯ КАСКАДНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
МЕХАНИЗМА НОГИ ГАЛОПИРУЮЩЕГО РОБОТА**

А.А. Егоров

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.А. Колюбин

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

Аннотация

В выпускной квалификационной работе исследуются методы проектирования педипуляторов, способных энергоэффективно перемещаться. Подробно был рассмотрен биоинспирированный подход для разработки галопирующего робота на основе движения животных. В рамках проекта был выбран механизм ноги и реализован метод каскадной оптимизации кинематических параметров. Итоговый механизм следует заданным траекториям и удобным способом может менять тип походки с прыжка на месте до галопа. Представленные методы могут быть использованы для создания не только педипуляторов, но и систем реабилитации.

Ключевые слова

Кинематика, синтез многозвенных механизмов, оптимизация механизмов, биоинспирированный подход, галопирующие роботы.

В первую очередь научному сообществу педипуляторы интересны возможностью перемещаться в неструктурированной среде. Однако в последнее время все больше исследуется возможность энергоэффективной локомоции, что позволит повысить конкурентоспособность на рынке. Квадропеды сейчас активно производят, к примеру, компании Boston Dynamics и Ghostrobotics. Однако с точки зрения создания новых решений для повышения энергоэффективности интересны работы из университетов таких, как MIT, ETH Zurich и Twente. Подробно стоит разобрать принцип локомоции роботов Mit Cheetah из MIT, Spot от Boston Dynamics, ANYmal от ETH Zurich и проектов галопирующих роботов из университета Twente. Mit Cheetah изначально представлял собой биоинспирированного робота. На первых этапах конструкторы старались сделать основной упор гибкие элементы в спине и ногах, повторяя особенности анатомии гепарда [1, 2]. Однако текущая версия их робота обладает гибкостью только в суставах ног. Их идею с гибкой спиной продолжили коллеги из университета Twente [3]. Ключевым аспектом разработок Twente является использование гибких пассивных

элементов в качестве основных источников энергии для движения. В диссертации [3] представлен робот, ноги которого могут совершать только прыжок на месте, а перемещение в стороны происходит за счет изгиба спины. Продолжением работы [3] является [4], где разрабатывается механизм ноги таким образом, что поддержание бега происходило за счет гибких пассивных элементов в ступне. Также часто применяют приводы переменной жесткости, как в [1, 2] для обеспечения адаптивности к нагрузкам на уровне конструкции. Однако роботы *Mit cheetah*, *Spot* и *ANYmal* используют одинаковую схему управления: оно происходит на основе обратной связи по датчикам, что понижает отказоустойчивость и энергоэффективность системы. При этом сенсорное управление позволяет детектировать поведение системы, но для устойчивой динамической походки важна скорость реакции системы.

В качестве альтернативы применяется биоинспирированный метод, который позволяет достичь стабильного бега с минимальным использованием датчиков. В статье [5] описаны принципы галопа и сравнение его параметров у гепардов, гончих и лошадей. Целью данного метода является повторение движения суставов животного и изучение фундаментальных принципов локомоции. В данной работе приводится пример синтеза ноги галопирующего робота, вдохновленного исследованием [4, 5]. Необходимо произвести параметрическую оптимизацию длин звеньев механизма для приближения поведения к животному.

Формирование целевой функции

Для решения задачи оптимизации была создана целевая функция. Предполагается, что желаемая траектория либо составляется пользователем, либо генерируется при видео обработке записи галопа животного. В связи с этим траектория является произвольным набором последовательных точек (рис. 1) и хранится в массиве. Для решения поставленной задачи был использован прямой метод локального поиска Хука-Дживса. В качестве целевой функции (1) выбрано не только квадрат отклонений площадей S и периметров P от желаемой траектории, но также и положения особых точек. Эти точки позволяют контролировать высоту и ширину шага, на рис. 1 представлены под номерами 1, 2 и n . В выпускной квалификационной работе было показано, что для соблюдения основного характера траектории необходимо использовать все отклонения. Для обхождения нежелательных локальных минимумов, а также нормирования функции были введены коэффициенты приоритета k_1 , k_2 , k_3 .

$$F = k_1(S^* - S)^2 + k_2(P^* - P)^2 + k_3 \sum_{i=1}^4 (x^* - x)^2 + (y^* - y)^2, \quad (1)$$

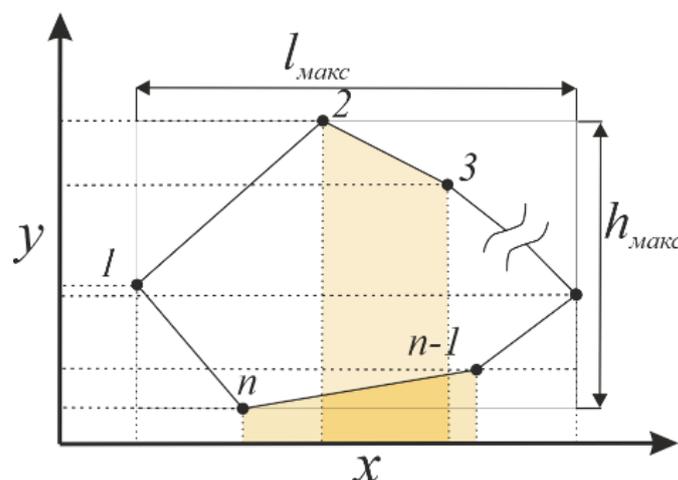


Рис. 1. Представление траектории

Метод каскадной оптимизации

Для реализации галопа были выбраны следующие механизмы (рис. 2), итоговая степень подвижности системы 2. Для бедра был выбран механизм минитаур из [4] в силу простоты системы управления. Для колена и ступни были использованы механизмы группы Асура. Каскадная оптимизация представляет собой последовательную оптимизацию траекторий движения бедра, колена и ступни ноги.

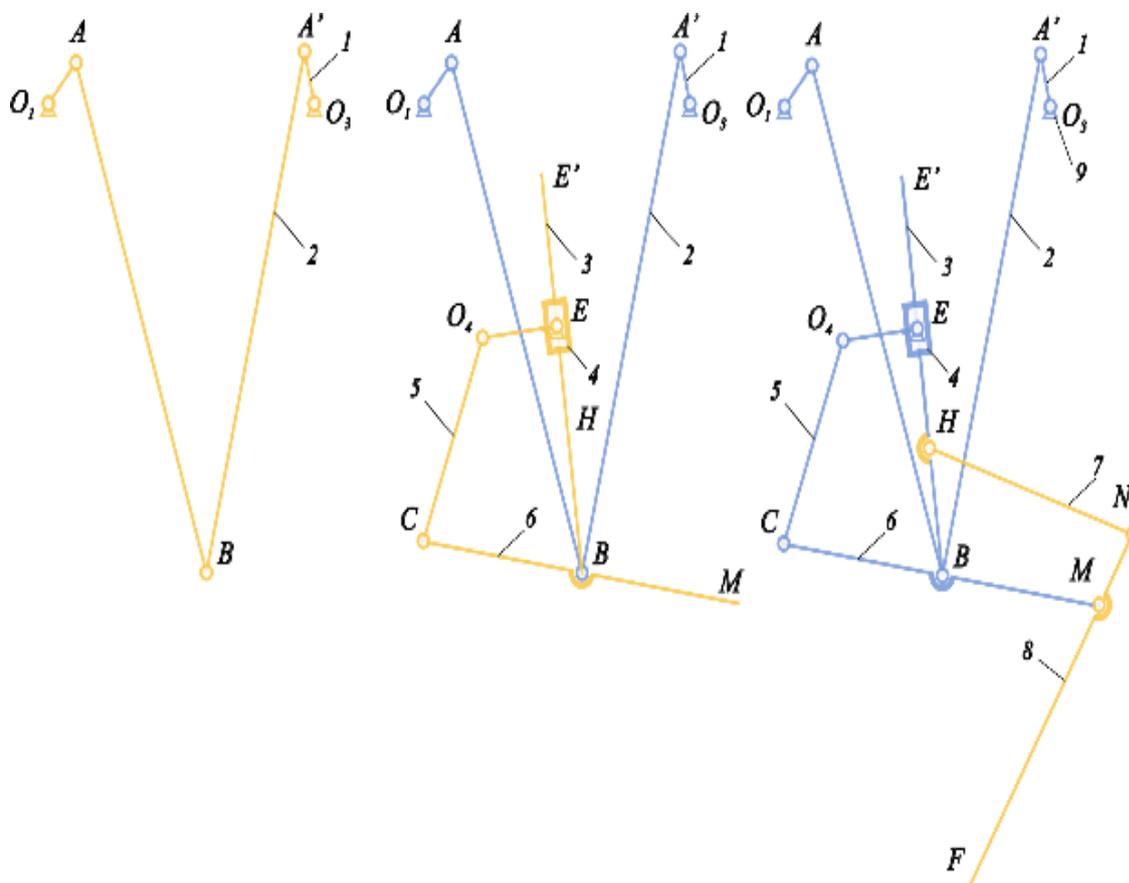


Рис. 2. Разбиение механизма на этапы каскада оптимизаций (слева направо): бедро, колени и ступня

$$L_{O_1A} + L_{AB} + L_{BA_1} + L_{O_3A_1} \leq L_{O_1O_3} \quad (2)$$

На механизм были наложены условия существования замкнутых механизмов (к примеру, (2)) и уравнений ограничений перемещения отдельных звеньев, в результате чего осталось 6 свободных параметров. Поэтому было решено добавить два промежуточных этапа оптимизации, понизив тем самым неопределенность.

Результаты оптимизации

В ходе решения задачи было перебрано огромное количество значений параметров, что видно по процессу оптимизации (рис. 3 а, б). Для оптимизации был произведен мултистарт с различными начальными условиями. Данный подход позволил следить за габаритами механизма на каждом этапе. Созданная целевая функция (1) показала свою эффективность в решении задачи (рис. 4).

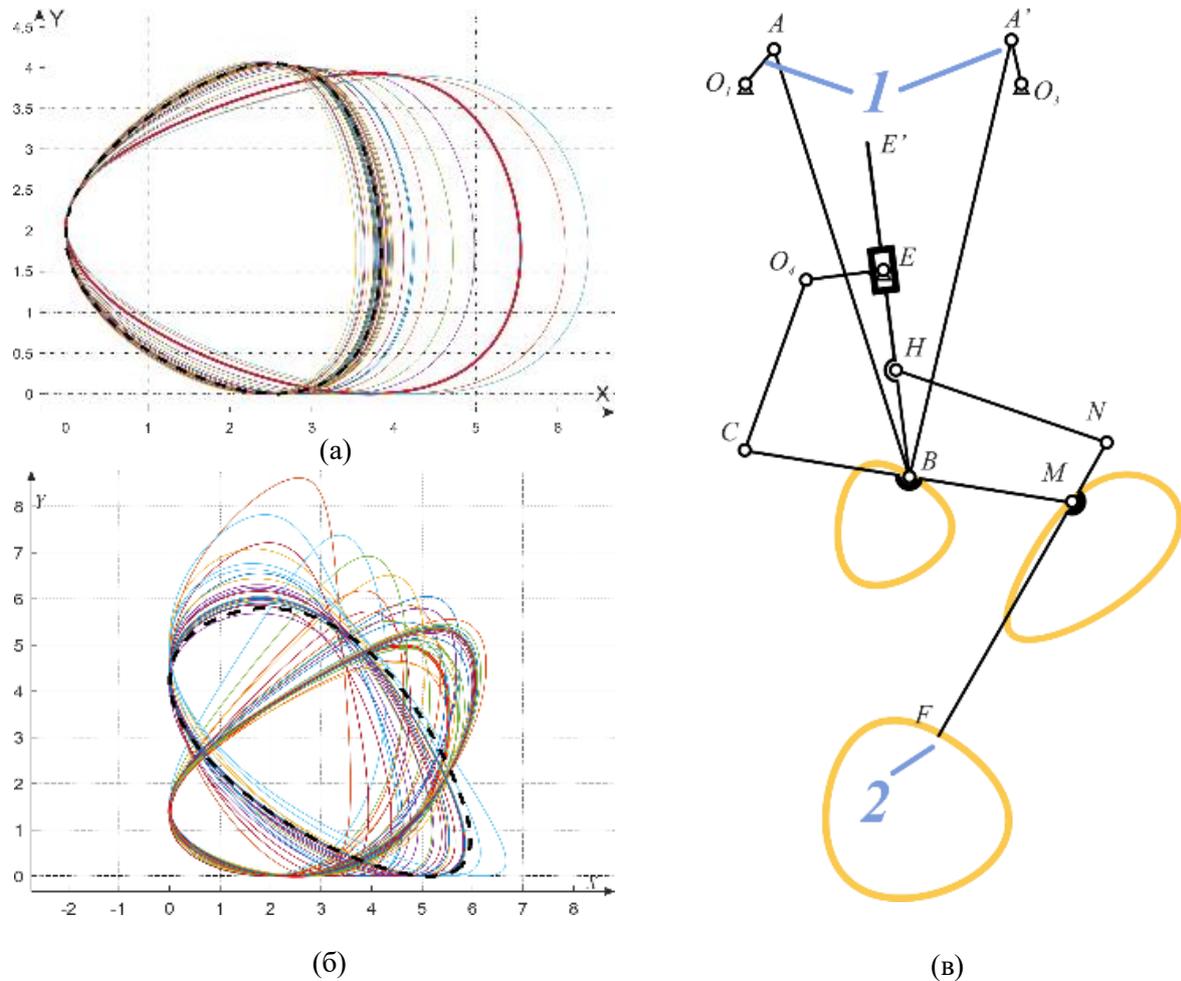


Рис. 3. (а) Процесс оптимизации бедра, (б) процесс оптимизации колена, (в) итоговый механизм, где 1 – управляемые кривошипы и 2 – ступня

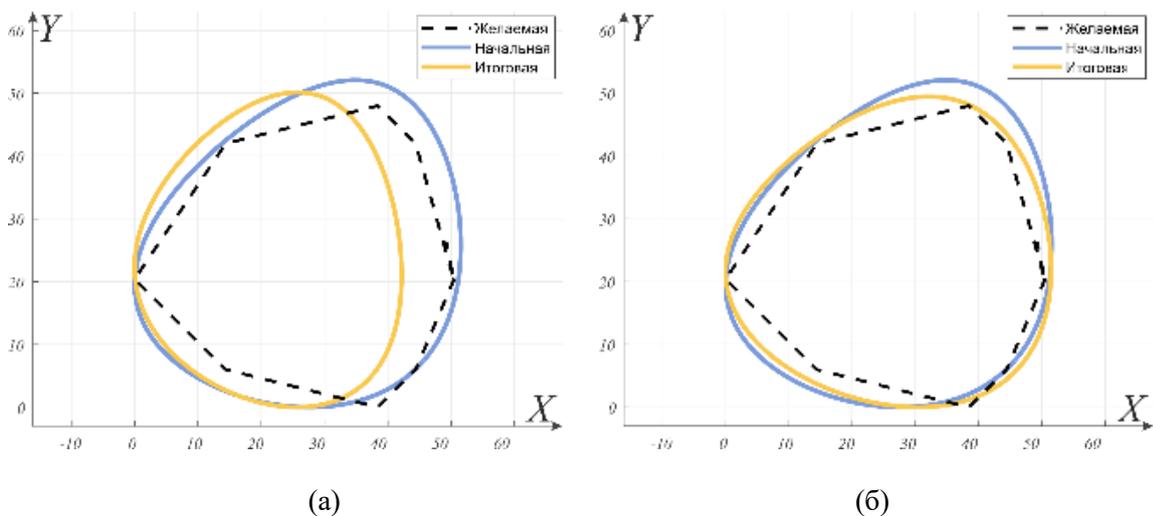


Рис. 4. (а) Результат при коэффициентах приоритета [1, 1, 400], (б) Результат при коэффициентах приоритета [1, 1, 40000]

Управление полученным механизмом происходит за счет скорости кривошипов (рис. 3 в) и разницы их углов. Данная модель позволяет динамически менять траектории ступни с прыжка на месте до быстрого бега (рис. 5).

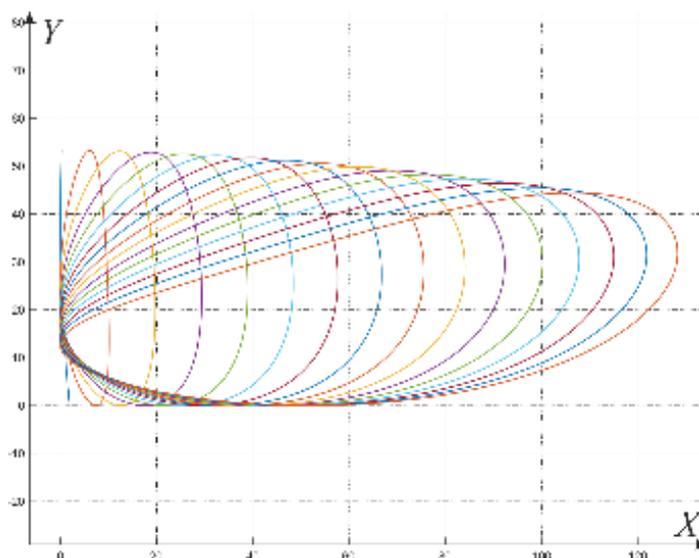


Рис. 5. Диапазон траекторий ступни при изменении разницы валов от 0° до 90°

В дальнейшем необходимо произвести оптимизацию динамики механизма, доработав структуру пассивными гибкими элементами. В перспективе таких роботов можно будет использовать для патрулирования местности со сложным рельефом, а также в миссиях на больших расстояниях. Изучение биоинспирированного подхода дает шанс понять фундаментальные принципы локомоции, часть из которых представлена в статье [1, 3]. Данный метод синтеза можно применять при разработки систем, взаимодействующих с живыми существами, к примеру, систему реабилитации конечностей или промышленные экзоскелеты.

Литература

1. Seok S., Wang A., Chuah M.Y. (Michael), Hyun D.J., Lee J., Otten D.M., Lang J.H., and Kim S., “Design principles for energy-efficient legged locomotion and implementation on the mit cheetah robot,”IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 20, no. 3, pp. 1117–1129, 2015.
2. Bledt G., Powell M.J., Katz B., Carlo J. Di, Wensing P.M., and Kim S., “Mit cheetah 3: Design and control of a robust, dynamic quadruped robot,”IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics (IROS), pp. 1440–1445, Oct 2018.
3. Folkertsma, Gerrit Adriaan. Energy-based and biomimetic robotics: Ph.D. thesis / University of Twente. – Netherlands: University of Twente. 2017.
4. Snippe M. “Cheetah robot leg mechanism: Analysis, design and cost of transport,” Master’s thesis, University of Twente, Netherlands. 2017.
5. Bertram J.E. and Gutmann A. “Motions of the running horse and cheetah revisited: Fundamental mechanics of the transverse and rotary gallop,”Journal of The Royal Society Interface, vol. 10, no. 6, pp.549–559, Nov 2008.

Кошкарева Мария Павловна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

студент группы №К3442,

направление подготовки: 45.03.04 – Интеллектуальные системы

в гуманитарной сфере,

e-mail: koshk.mp@gmail.com

Хлопотов Максим Валерьевич

Год рождения: 1980

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: khlopotov@itmo.ru

УДК 004.421

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕКОМЕНДАЦИЙ
ПРЕРЕКВИЗИТОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ОПИСАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

М.П. Кошкарева

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.В. Хлопотов

Работа выполнена в рамках темы НИР №620184 «Разработка программных сервисов управления элементами образовательной программы для системы учебной аналитики».

Аннотация

В работе описан процесс разработки алгоритма рекомендаций, разделенный на два блока: блок рекомендаций результатов обучения с подсчетом вхождений учебных сущностей и применением модели Universal Sentence Encoder; блок рекомендаций пререквизитов обучения с подсчетом вхождений отфильтрованных результатов обучения и учетом предметных областей при подсчете вхождений. Проведена предварительная оценка работы алгоритма по метрике Hit rate, показывающая высокие значения улучшенных моделей относительно базовых. Описаны добавленные изменения при реализации алгоритма в проекте, и представлены прототипы компонентов с рекомендациями.

Ключевые слова

Пререквизиты обучения, результаты обучения, машинное обучение, векторные представления, системы управления обучением.

Введение

Внедрение цифровых технологий практически во все сферы деятельности человека несомненно приводит к повышению качества и эффективности работы. Подобные технологии активно применяются и для сферы высшего образования, что приводит к трансформации составления учебного процесса и его документирования.

Из-за отсутствия подсказок или рекомендаций при заполнении описания рабочей программы дисциплины (РПД), а именно разделов результатов и пререквизитов, многие РПД остаются не до конца заполненными, что урезает часть возможного функционала, который мог бы предоставить сервис для работы с элементами образовательной программы. В дальнейшем, опираясь на выдаваемые рекомендации

результатов и пререквизитов обучения, можно будет облегчить процесс заполнения РПД преподавателями, сравнивать дисциплины между собой, проверять корректность составления учебных планов и многое другое.

Цель работы – разработать алгоритм рекомендации пререквизитов и результатов обучения на основе описания рабочей программы дисциплины.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) анализ аналогов,
- 2) разработка блока рекомендаций результатов обучения,
- 3) разработка блока рекомендаций пререквизитов обучения,
- 4) оценка результатов алгоритма,
- 5) реализация алгоритма в проекте.

Для выявления результатов обучения есть подход [1], где анализируется частота встречаемости тем в информации о курсе, его лекционных материалах и практических задачах с примерами. Следующий вариант [2] – анализ описания курса, места в тексте, где описаны цели, чтобы представить их в структурированном виде. На данном этапе проекта нет содержания лекций и практических заданий, а в описании РПД не упоминаются результаты обучения, поэтому вышеописанные методы неприменимы.

В случае выявления пререквизитов одна рассмотренная идея [3] состоит в анализе содержания учебников, места упоминания сущностей. Следующий метод [4] – решение задачи пререквизитного отношения («в паре сущностей А и Б является ли А – пререквизитом Б?»), где для составления признаков используются статьи Википедии для каждой сущности. Ввиду того, что большинство учебных сущностей в проекте представлено распространенными фразами с терминами (их нельзя найти в качестве названий статей), а для литературных источников нет возможности анализировать содержание, только названия, данные подходы в работе осуществить нельзя.

Таким образом, стоит задействовать доступные элементы описания РПД (без содержания источников и материалов занятий) и, на начальных этапах, метод подсчета вхождений в разработке алгоритма. Для постепенной работы и последовательных усовершенствований было принято решение разработать базовую и улучшенную модели для каждого блока алгоритма.

Разработка блока рекомендаций результатов обучения

В качестве базового варианта блока рекомендации результатов был разработан алгоритм со следующей идеей в основе: учебная сущность считается результатом обучения, если она входит в название раздела или темы РПД. Следовательно, для заданного идентификатора РПД необходимо:

- преобработать текстовые данные (учебные сущности, темы и разделы РПД),
- для каждой темы и каждого раздела поставить в соответствие список учебных сущностей, присутствующих в названиях,
- взять все уникальные найденные учебные сущности и отсортировать их по количеству вхождений.

Для улучшенной модели блока рекомендаций результатов была осуществлена работа с векторными представлениями. Текстовые данные сущностей и описания РПД – смешанные тексты из двух языков, поэтому, для правильного соответствия между русскими и английскими терминами (например, «random forests» и «случайные леса»), использовались предобученные мультилингвистические модели. Были рассмотрены контекстуализированные модели ELMo, BERT, SBERT, Universal Sentence Encoder (USE).

Для предварительного анализа работы моделей были составлены предложения на русском и английском языках, чтобы проверить, насколько хорошо проводится

соответствие между векторами предложений разных языков с одним смыслом. Для каждой пары предложений было подсчитано косинусное сходство, и составлены графики (рис. 1) по итоговым значениям.

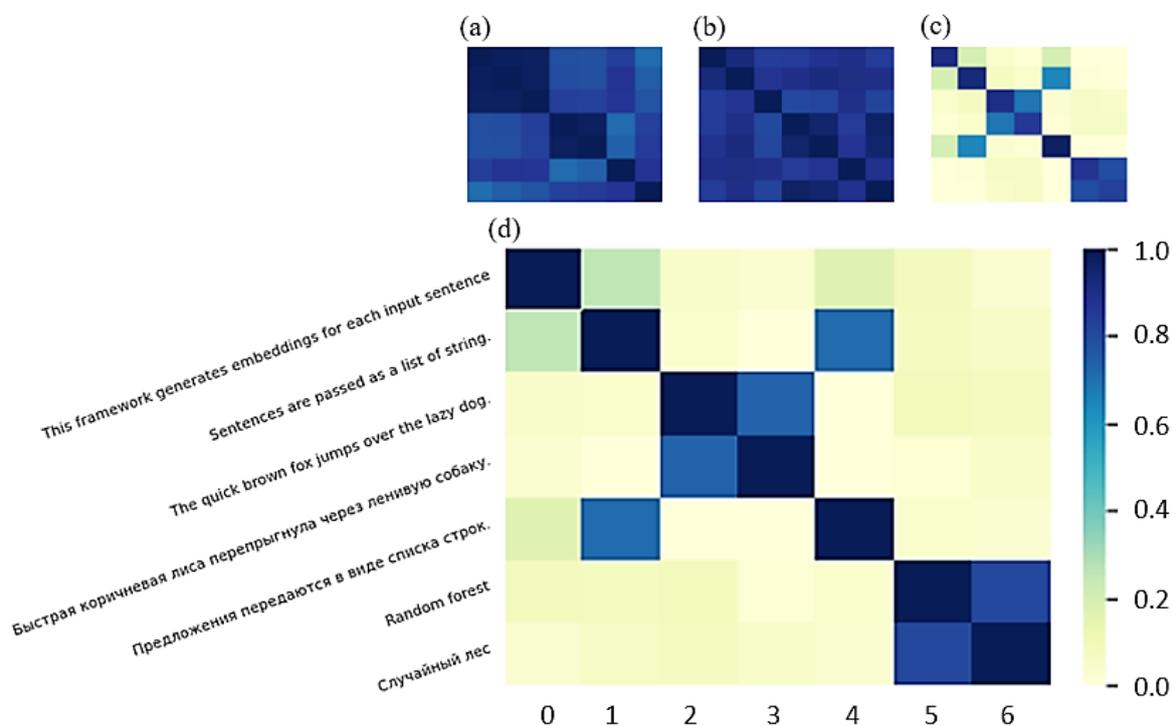


Рис. 1. Косинусное сходство предложений для моделей ELMo (a), BERT (b), SBERT (c) и USE (d)

По графикам можно заметить, что модели USE и SBERT выдают схожие результаты. Тем не менее, если сравнивать выдаваемые моделями рекомендации для дисциплин, то заметно несоответствие: на примере дисциплины «Нарративный дизайн» видно, что, хоть в рассматриваемой РПД и присутствует тема «Игра», модель SBERT выдает косинусное сходство 0,901437 для одноименной учебной сущности, тогда как USE – 1,0.

Таким образом, в качестве модели для рекомендации результатов обучения была выбрана модель USE, которая применялась в итоговом варианте по следующему принципу:

- вычисление векторных представления тем, разделов РПД и всех учебных сущностей,
- подсчет косинусного сходства между векторами учебных сущностей и векторами элементов из описания РПД,
- фильтрация учебных сущностей со сходством выше порогового,
- вывод N учебных сущностей, где N – заданное количество рекомендаций.

Результаты работы для дисциплины «Нарративный дизайн» выданные базовой моделью и улучшенной с порогом 0,65 и количеством рекомендаций, равным 10, расположены на рис. 2. Результаты, введенные экспертом: разработка игрового нарратива, разработка персонажа игры, использования игровых механик как средств выразительности игрового нарратива, структурный подход к нарративу, конструирование опыта игрока через взаимодействие нарратива и геймплея, создание интерактивных элементов игрового повествования.

(a)	name	val	perc	(b)	name	similarity
	Дизайн	6	0.428571		Игра	1.000000
	Игра	6	0.428571		Разработка персонажа игры	0.757149
	История	4	0.285714		Прототипирование игровых механик	0.756143
	Конфликт	2	0.142857		Разработка игрового нарратива	0.743436
	Механика	2	0.142857		Документоведение	0.724943
	Данные	1	0.071429		Документальное сопровождение	0.724736
	Структуры Ли	1	0.071429		Документооборот	0.696297
	Интерактивные элементы	1	0.071429		Позиционные игры	0.685793
	Структура ПО	1	0.071429		Конструирование опыта игрока через взаимодействия...	0.679679
	Ресурсы	1	0.071429		Квантовая механика	0.671473

Рис. 2. Рекомендации результатов обучения базовой модели (a) и улучшенной (b)

Разработка блока рекомендаций пререквизитов обучения

При разработке блока рекомендаций пререквизитов обучения основная идея состояла в следующем: поскольку в учебных планах дисциплины стоят в строгом порядке, то подразумевается, что для освоения дисциплины на месте X пригодятся знания, полученные в результате прохождения дисциплин, стоящих на местах X-1 и ранее; следовательно, для выявления пререквизитов конкретной дисциплины нужно просмотреть результаты обучения (из всех учебных планов с текущей дисциплиной), находящихся выше в списке дисциплин.

В базовой модели рекомендаций пререквизитов чем чаще встречается тот или иной результат обучения среди всех дисциплин, стоящих ранее, тем больше вероятность, что для исходной дисциплины эта же учебная сущность будет являться пререквизитом обучения.

Для улучшенной версии в дополнение к вышеописанному алгоритму базовой модели была применена информация о предметных областях учебных сущностей: если результаты обучения из области, например, математики, то и предварительные знания для освоения этой дисциплины должны быть из той же области. Схема работы следующая:

- получить предметные области результатов обучения исходной РПД,
- найти дисциплины в учебных планах, где присутствует исходная РПД,
- получить результаты обучения дисциплин изучающихся ранее исходной,
- отфильтровать результаты обучения вне предметных областей, найденных на первом этапе,
- вывод N самых часто встречаемых учебных сущностей, где N – заданное количество рекомендаций.

Пререквизиты, полученные в результате работы данной модели для дисциплины «Стратегии управления интеллектуальной собственностью в секторе Edtech / IP Strategy in Edtech» с числом рекомендаций 10 можно увидеть на рис. 3. Исходные пререквизиты, введенные экспертом: распоряжение правами на интеллектуальную собственность, охрана интеллектуальной собственности авторским правом, правовые основы интеллектуальной собственности.

(a)					(b)				
	name	domain_id	val	perc		name	domain_id	val	perc
	Правовая охрана интеллектуальной собственности	30.0	7	0.017241		Охрана интеллектуальной собственности авторскими...	27.0	2	0.666667
	Нейронные сети	17.0	6	0.014778		Распоряжение правами на интеллектуальную собст...	27.0	1	0.333333
	Научное исследование	30.0	5	0.012315		Правовые основы интеллектуальной собственности	27.0	1	0.333333
	Бизнес-модель	NaN	4	0.009852					
	Организация научных исследований	30.0	4	0.009852					
	Международные наукометрические базы данных	30.0	4	0.009852					
	Международные научные партнерства	30.0	4	0.009852					
	Методологические основы научного знания	30.0	4	0.009852					
	Управление в сфере науки в России	30.0	4	0.009852					
	Проектная деятельность	30.0	4	0.009852					

Рис. 3. Рекомендации пререквизитов обучения базовой модели (a) и улучшенной (b)

Оценка результатов работы алгоритма рекомендаций

Учитывая, что на данном этапе проекта мало полностью заполненных РПД, а введенные преподавателями результаты и пререквизиты недостаточно полно отражают действительность, оценка результатов работы алгоритма выполняется с целью определить, превосходят ли разработанные улучшенные модели базовые, поэтому больше внимания уделяется сравнению показателей, а не самим значениям. Окончательную оценку алгоритма рекомендаций можно будет провести только после его внедрения в проект.

Для оценки результатов работы использовались РПД с уже заполненными результатами и/или пререквизитами обучения и где введены темы и/или разделы. Применялась метрика hit rate – усредненный процент успешно рекомендованных сущностей относительно общего количества экспертно введенных сущностей; число рекомендаций от 5 до 15 включительно. На рис. 4 представлены итоговые графики оценки, где красная линия – улучшенная модель.

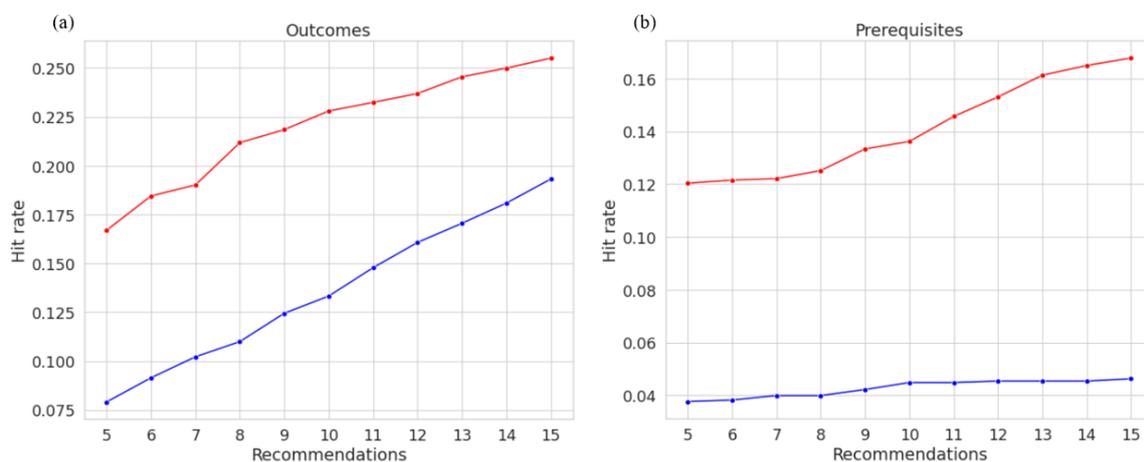


Рис. 4. Графики оценки результатов работы блоков рекомендаций результатов обучения (a) и пререквизитов обучения (b)

Помимо того факта, что обе улучшенные модели превзошли базовые по значениям метрики, в случае рекомендаций пререквизитов обучения можно заметить, что один этап учета предметных областей как дополнение к алгоритму базовой модели позволил увеличить итоговые значения (при 15 рекомендациях) почти в 4 раза.

Реализация алгоритма рекомендаций в проекте

При реализации разработанного алгоритма внутри проекта были осуществлены следующие изменения для блока рекомендаций пререквизитов обучения: объединение базовой и улучшенной модели, так как может оказаться, что найденных результатов в нужных предметных областях меньше заданного количества рекомендаций, в такой ситуации оставшееся число рекомендаций предсказывается базовой моделью.

В случае блока рекомендаций результатов обучения было необходимо найти вариант работы с моделью векторных представлений, который бы не подразумевал регулярную загрузку модели при каждом ее вызове. Таким решением стала система Tensorflow Serving: в проекте был создан дополнительный docker контейнер с загруженной моделью USE, который отвечает за работу с ней посредством REST-запросов.

Прототипы компонентов со встроенным разделом рекомендаций изображены на рис. 5.

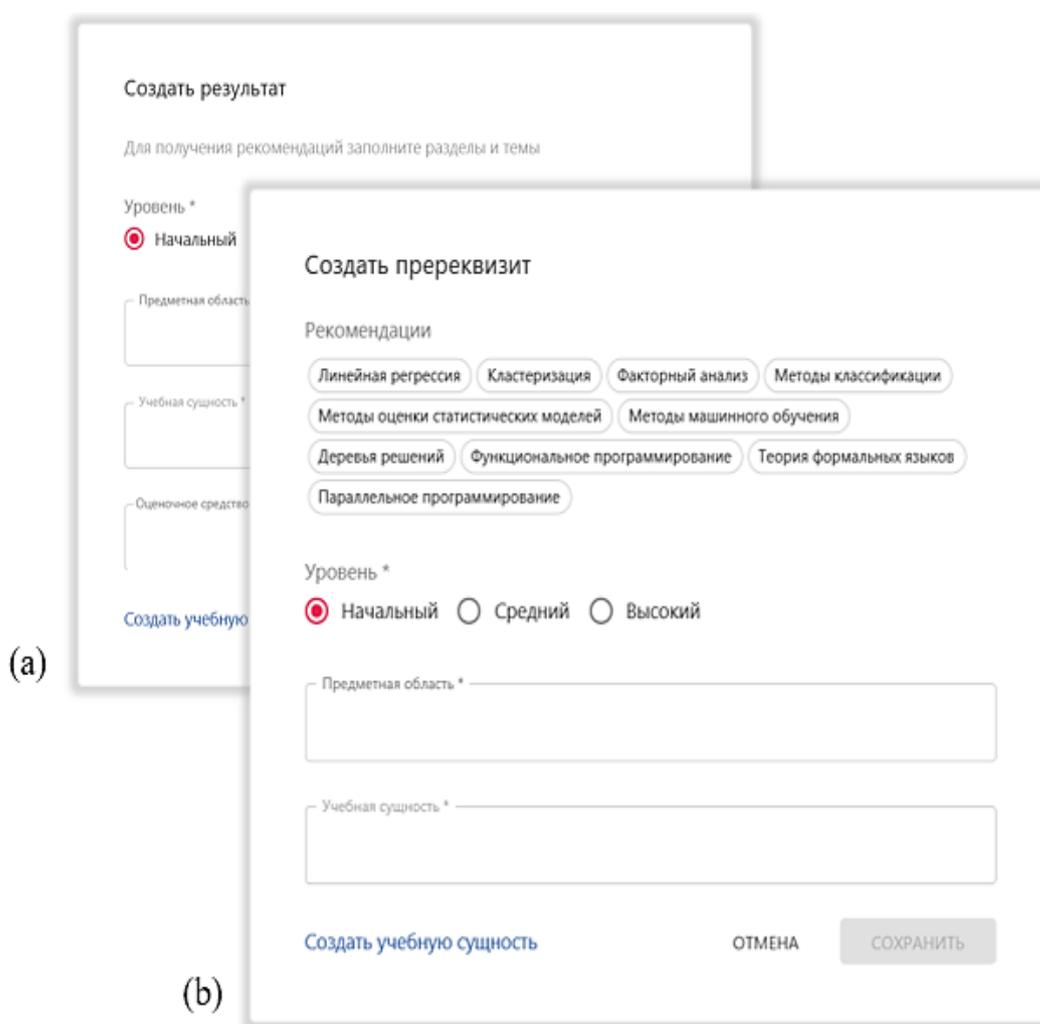


Рис. 5. Диалоговое окно создания результата обучения при отсутствии рекомендаций (a) и окно создания пререквизита обучения с рекомендациями (b)

При нажатии на рекомендацию поля «Предметная область» и «Учебная сущность» автоматически заполняются соответствующими данными, что оставляет преподавателю/эксперту возможность изменить, при необходимости, уровень освоения учебной сущности и нажать кнопку «Сохранить» для добавления сущности.

Выводы

В данной работе была достигнута поставленная цель, состоящая в разработке алгоритма рекомендаций, что позволит осуществить новые функции в проекте, описанные ранее. Было продемонстрировано, что обе разработанные улучшенные модели для рекомендаций пререквизитов и результатов обучения превосходят базовые по оценке результатов работы. Составленный алгоритм был адаптирован для внедрения в проект, что способствует его более быстрой и эффективной работе. Также были видоизменены диалоговые окна создания результата/пререквизита обучения с добавлением раздела рекомендаций; добавлен функционал нажатия на рекомендации и автозаполнения полей – все это поможет преподавателям/экспертам быстрее добавлять новые РПД.

В дальнейшем данный алгоритм можно усовершенствовать с помощью учета названия и/или содержания онлайн курсов после введения в работу соответствующего модуля и отношений между сущностями (например, рекомендация родительской сущности провоцирует рекомендацию ее дочерних сущностей). К тому же после внедрения алгоритма рекомендаций в проект будет нелишним проведение оценки его работы, чтобы понимать, насколько охотно пользователи следуют данным рекомендациям и что следует учесть для повышения эффективности его работы.

Литература

1. Guitart I., Conesa J., Baneres D. et al. Extraction of Relevant Terms and Learning Outcomes from Online Courses // International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). 2016. Vol. 11. No. 10. P. 22 – 30.
2. Pawar A., Budhiraja S., Kivi D. et al. Are we on the same learning curve Visualization of Semantic Similarity of Course Objectives. 2018. 7 p.
3. Labutov I., Huang Y., Brusilovsky P. et al. KDD '17: Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining: Semi-Supervised Techniques for Mining Learning Outcomes and Prerequisites. 2017. P. 907 – 915.
4. Angel J., Aroyehun S.T., Gelbukh A. NLP-CIC @ PRELEARN: Mastering prerequisites relations, from handcrafted features to embeddings. 2020. 6 p.

Крюкова Екатерина Алексеевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

студент группы №L3431,

направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии,

e-mail: loveska87@gmail.com

Смирнов Юрий Юрьевич

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет нанoeлектроники,

к.т.н., ассистент (квалификационная категория "ассистент"),

e-mail: yuri.smirnov@itmo.ru

УДК 681.78

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЯРКОМЕРА
ДЛЯ ОЦЕНКИ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ГОРОДА**

Е.А. Крюкова

Научный руководитель – к.т.н., ассистент Ю.Ю. Смирнов

Аннотация

В работе приводится модель прибора в составе структурной схемы, оптической системы, а также чертежей прибора. Проведен сравнительный анализ с имеющимися на рынке решениями. Приводятся оценочные характеристики работы данной системы. Данный прибор позволит эффективно измерять поля яркостей в условиях городской среды.

Ключевые слова

Яркомер, оценка световой среды города, яркость, матричные яркомеры, разработка оптической системы.

В настоящее время происходит усложнение световой среды городов, что определяет необходимость совершенствования нормативной базы, которая регулирует вопросы светового воздействия на человека, и также возникает необходимость разработки новых яркомеров, работающих в широком угловом поле.

По результатам рассмотрения ряда приборных систем определена оптимальная структурная схема прибора яркомера, для измерений яркостей в широком поле наблюдения. Это яркомер на основе матричного приемника. Измерения распределений яркости на данных приборах даёт возможность с высокой точностью произвести оценку световой среды города. Проанализировав существующий рынок по данным приборам, можно выделить один из самых популярных яркомеров LMK Mobile Advanced [1]. Для нашего устройства мы определили сходную с LMK структурную схему (рис. 1).

Модель нашего прибора предполагает большее количество функциональных возможностей, нежели реализовано в приборах LMK. В разрабатываемом приборе была выбрана матрица BSI CMOS с максимальным разрешением 11648 x 8736 точек, что даст возможность проводить измерения распределений яркостей и с высокой точностью определять яркости самых ярких источников в поле наблюдения. Характеристики матрицы приведены в табл. 1.

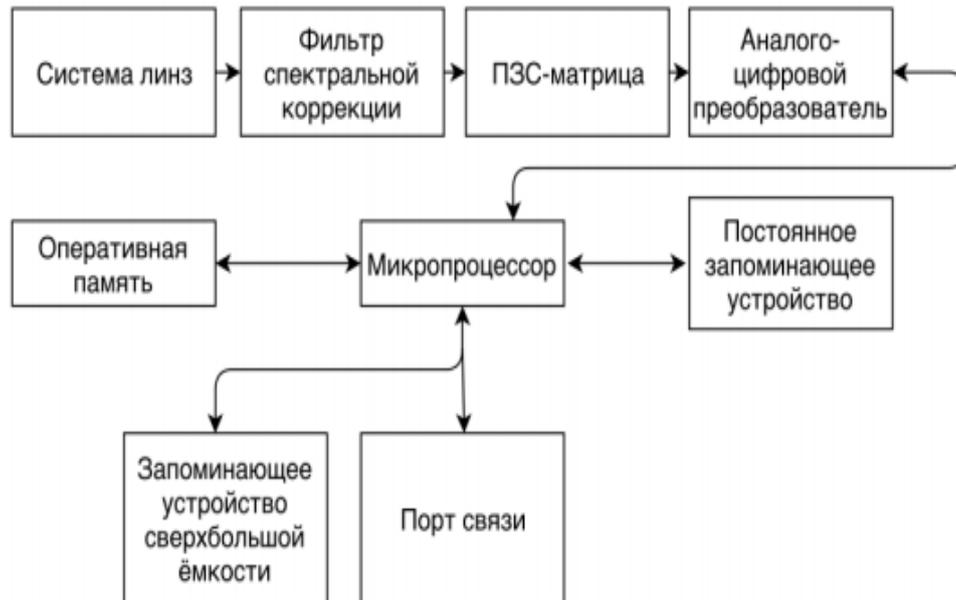


Рис. 1. Структурная схема яркомера

Таблица 1

Характеристики матрицы BSI CMOS

Тип матрицы	BSI CMOS,
Максимальное разрешение	11648x8736 Пикс.,
Датчик изображения	43,9 x 32,9 мм, КМОП с обратной цветовой подсветкой, цветовой фильтр Байера,
Число эффективных пикселей	102 млн.,
Динамический диапазон	12,3 EV,
Светочувствительность	100–12800 ISO, Auto ISO, (Расширенный режим: 100–102400 ISO)

Для моделирования яркомера необходимы габаритные характеристики. Для этого был произведён расчёт значения фокусного расстояния оптической схемы, а также определена величина углового поля.

Было определено значение углового поля $53^\circ \times 41^\circ$.

Фокусное расстояние объектива рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{r}{A \cdot L}, \quad (1)$$

где f – фокус объектива, r – расстояние до объекта, A – размер матрицы по горизонтали либо по вертикали, L – Размер объекта по горизонтали либо по вертикали.

Размер объекта, попадающего в поле наблюдения может быть оценен через размер углового поля. Размер объекта наблюдения равняется величине поля наблюдения:

$$L = r \cdot \operatorname{tg} \frac{W}{2}, \quad (2)$$

где W – угловое поле.

Полученные результаты расчетов приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Расчетные данные по горизонтали для углового поля $53^\circ \times 41^\circ$

г, м	A, м	L, м	f, мм
50,0	0,044	24,929	88,05
100,0	0,044	49,858	88,05
150,0	0,044	74,787	88,05
200,0	0,044	99,716	88,05
250,0	0,044	124,645	88,05

Таблица 3

Расчетные данные по вертикали для углового поля $53^\circ \times 41^\circ$

г, м	A, м	L, м	f, мм
50,000	0,033	18,682	88,05
100,000	0,033	37,365	88,05
150,000	0,033	56,047	88,05
200,000	0,033	74,729	88,05
250,000	0,033	93,411	88,05

В результате расчетов было получено фокусное расстояние для системы $f = 88,05$ мм.

Была произведена оценка плотности пикселей на 1 см наблюдаемого поля и плотности пикселей на источник света размерами 60 на 30 см (табл. 4, 5).

Таблица 4

Расчет количества пикселей на 1 см по горизонтали

Расстояние до объекта г, м	Количество точек на метр зоны наблюдения	Количество точек на объект 30 см высотой	Количество точек на объект 30 см высотой в расчёте на 1 см
50	467	280	4
100	233	140	2
150	155	93	1
200	116	70	1
250	93	56	1

Таблица 5

Расчет количества пикселей на 1 см по вертикали

Расстояние до объекта г, м	Количество точек на метр зоны наблюдения	Количество точек на объект 30 см высотой	Количество точек на объект 30 см высотой в расчёте на 1 см
50	467	140	4
100	233	70	2
150	155	46	1
200	116	35	1
250	93	28	1

Из результатов видно, что на расстоянии до объекта до 250 метров приходится не менее 1 пикселя на 1 сантиметр. Таким образом, проводя измерения распределения яркости в угловом поле $53^\circ \times 41^\circ$ можно будет получить не только значения распределений яркости, но и сразу определить величину яркости самых ярких источников света в поле наблюдения.

В программе Zemax OpticStudio была разработана оптическая система для яркомера. За основу был взят один из типовых объективов. Результаты разработки объектива и модуляция его работы приведены на рис. 2, 3, 4 и 5.

	Surface Type	Co	Radius	Thickness	Mat	Co	Clear Sem	Chi	Mech Semi-Dia
0	OBJECT Standard		Infinity	Infinity			Infinity	0,0..	Infinity
1	(aper) Standard		45,250	9,007 V	SK16		19,500 U	0,0..	19,500
2	(aper) Standard		203,0...	0,846 V			17,000 U	0,0..	19,500
3	(aper) Standard		34,020	6,165 V	SK4		15,500 U	0,0..	15,500
4	(aper) Standard		44,010	2,571 V	F1		13,600 U	0,0..	15,500
5	(aper) Standard		21,560	7,522 V			12,200 U	0,0..	15,500
6	STOP Standard		Infinity	5,452 V			10,084	0,0..	10,084
7	(aper) Standard		-24,960	3,995 V	F1		13,700 U	0,0..	18,800
8	(aper) Standard		125,0...	8,476 V	SK4		18,800 U	0,0..	18,800
9	(aper) Standard		-36,603	2,583 V			18,500 U	0,0..	18,800
10	(aper) Standard		467,3...	8,466 V	SK4		24,600 U	0,0..	24,600
11	(aper) Standard		-51,280	68,455 M			24,300 U	0,0..	24,600
12	IMAGE Standard		Infinity	-			43,184	0,0..	43,184

EFFL: 88,05 WFNO: 3,16123 ENPD: 28

Рис. 2. Данные объектива

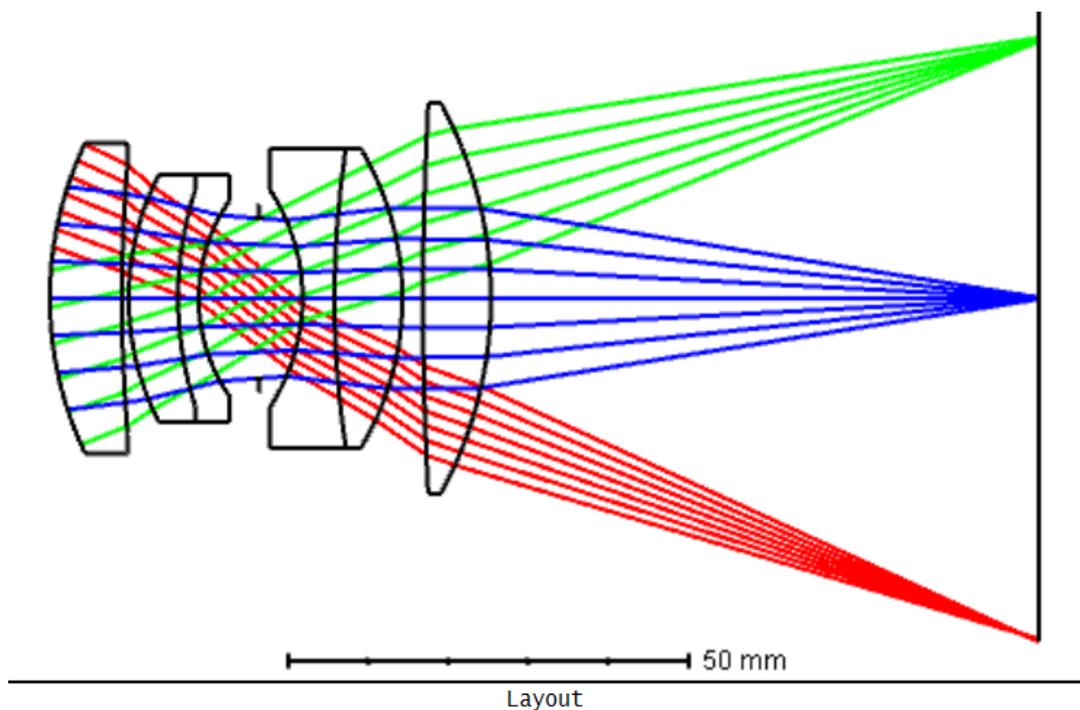


Рис. 3. Оптическая схема объектива

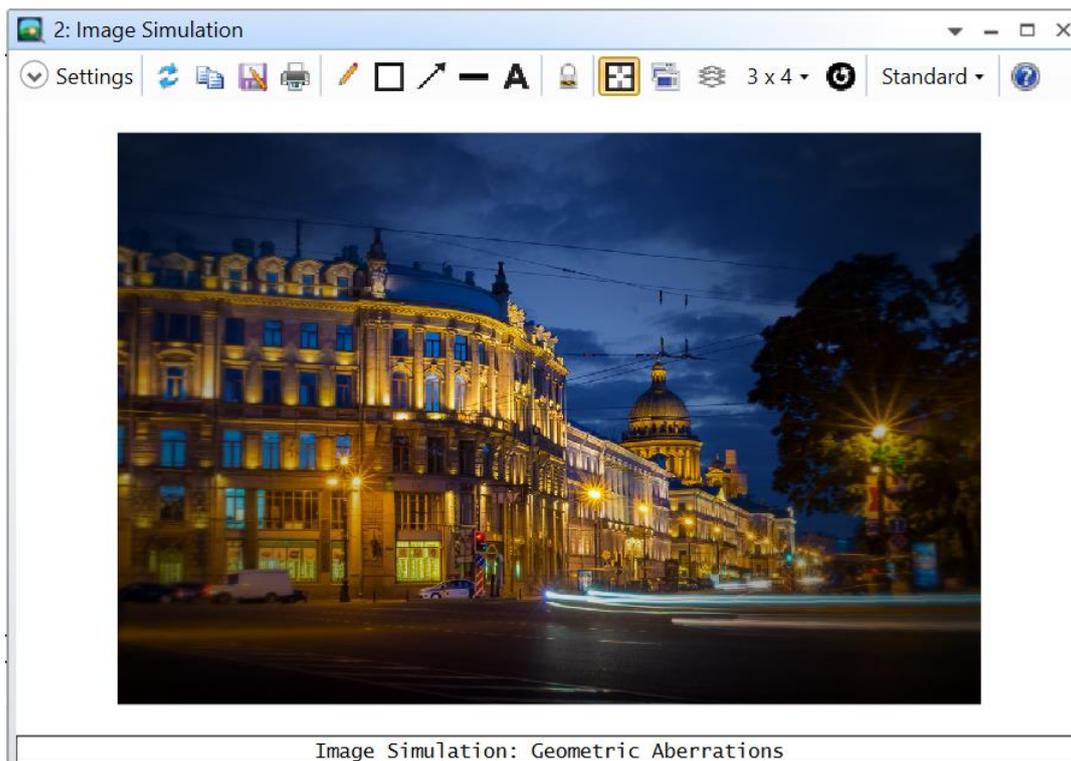


Рис. 4. Моделирование работы объектива

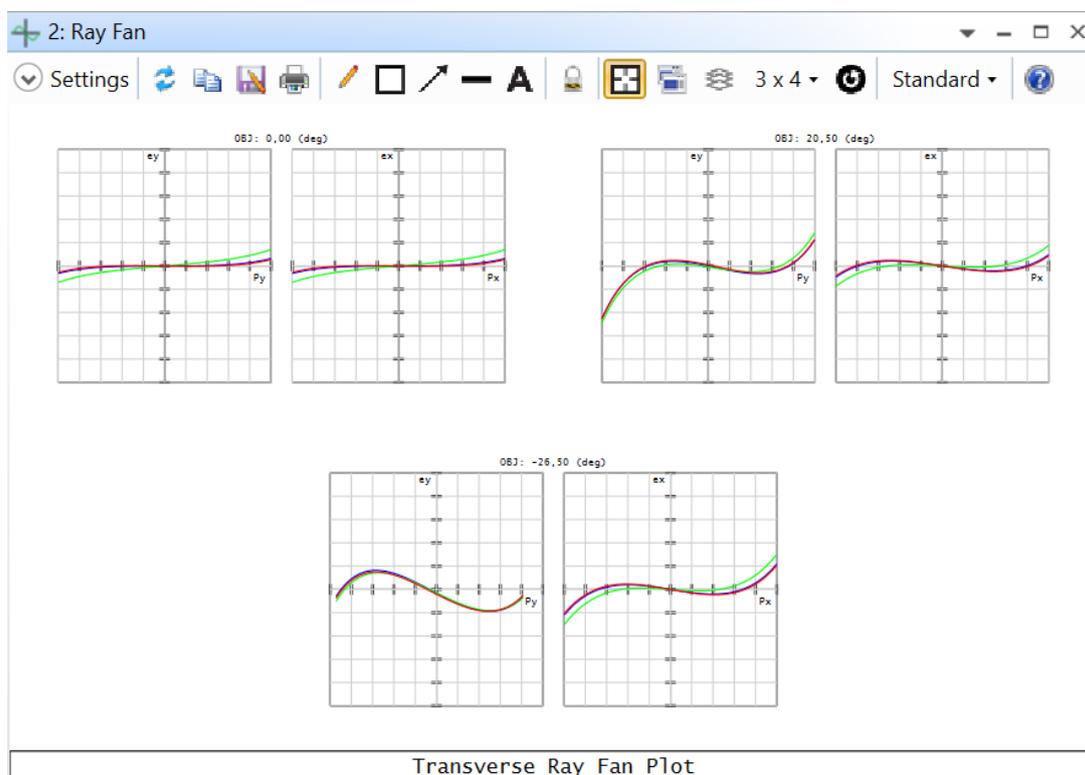


Рис. 5. Поперечные aberrации объектива

Была разработана модель корпуса, которую можно использовать для такого яркомера. Для конструкции объектива способ крепления всего объектива – насыпной в оправе. Способ крепления отдельных линз в оправе – приклеивание (рис. 6).

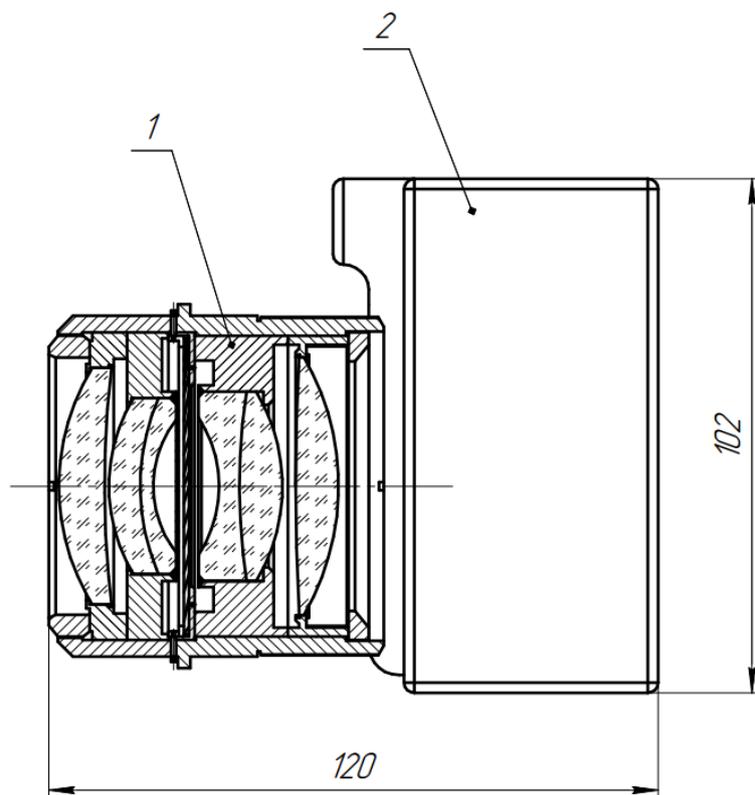


Рис. 6. Сборочный чертеж яркомера, 1 – объектив, 2 – корпус

Было проведено моделирование трассировки лучей в программном обеспечении Comsol Multiphysics с целью визуализации относительного вклада лучей в зрачке в окончательное качество изображения [2]. Полученные результаты представлены на рис. 7 и 8.

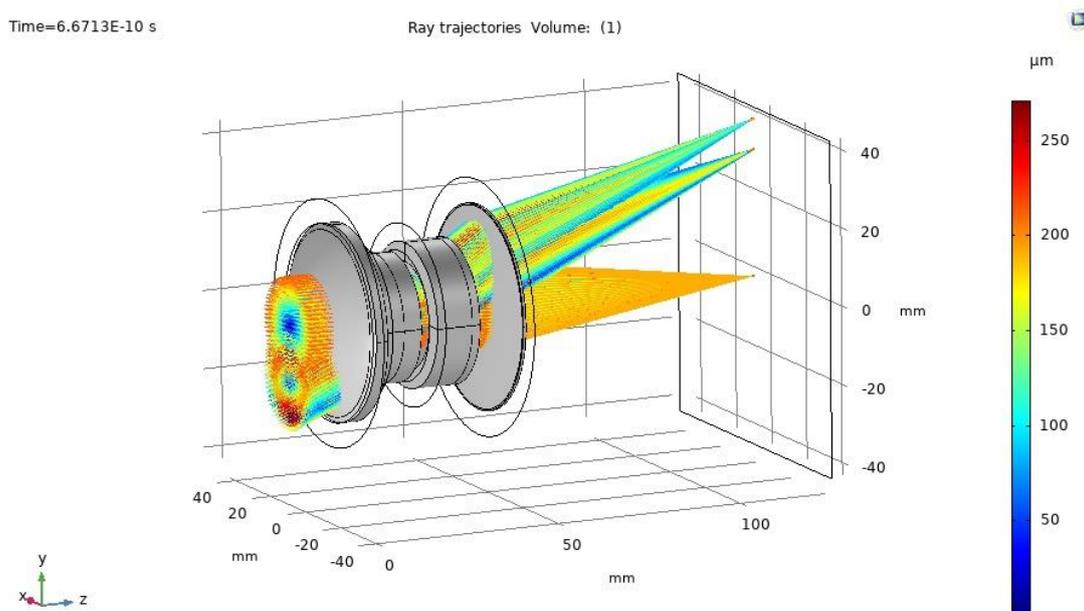


Рис. 7. Цветовое выражение, основанное на расположении лучей в плоскости изображения

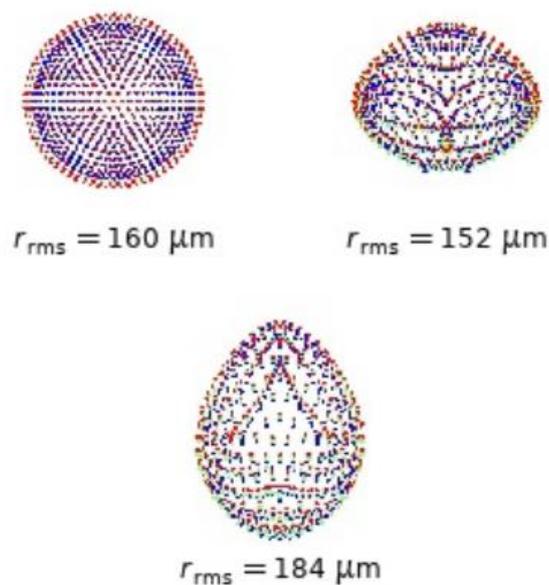


Рис. 8. Точечная диаграмма для полученного объектива, где цвет указывает длину волны

В ходе работы было приведено моделирование яркомера для измерений яркости в условиях городского пространства. Была разработана структурная схема яркомера. Был произведен расчет характеристик для работы прибора. Проведено моделирование работы полученного яркомера, и проведен анализ полученных изображений. Разработана модель корпуса прибора.

Литература

1. LMK mobile air [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.technoteam.de> (дата обращения 15.06.2021).
2. Kidger M.J., «Fundamental Optical Design»// Bellingham WA, USA: SPIE Press. 2001. p. 191.

Кузенкова Елизавета Владимировна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р3417,

направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия,

e-mail: Kuzenkova.el@yandex.ru

Кореньков Юрий Дмитриевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н., ассистент,

e-mail: ged.yuko@gmail.com

УДК 004.4'2

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА ИНТЕГРАЦИИ
СИНТАКСИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ С ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ
ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ**

Е.В. Кузенкова

Научный руководитель – к.т.н., ассистент Ю.Д. Кореньков

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

Аннотация

В работе представлено средство, обеспечивающее взаимозаменяемость различных синтаксических анализаторов и нотаций для описания грамматик, используемых при работе с инструментальным программным обеспечением. Разработанное решение было успешно интегрировано в качестве замены существующей реализации расширения PEG-Based Language Workbench для среды Microsoft Visual Studio.

Ключевые слова

Синтаксический анализатор, грамматики, нотации, инструментальное программное обеспечение, предметно-ориентированные языки.

При создании предметно-ориентированных языков разработчики сталкиваются с отсутствием полноценной поддержки со стороны IDE в части синтаксического анализа текстов программ, написанных на только что разработанном предметно-ориентированном языке. Нет возможности использовать синтаксический анализатор, отличный от предлагаемого средой разработки, или задать грамматику разрабатываемого языка программирования для предлагаемого инструментальным программным обеспечением синтаксического анализатора.

При использовании различных средств синтаксического анализа можно выделить два вида ограничений, накладываемых на способ описания разрабатываемого языка: ограничения, происходящие из особенностей алгоритмов синтаксического анализа, и ограничения, происходящие из способов реализации средств синтаксического анализа. К первым относятся, например, ограничения на структуру правил грамматики, в зависимости от способа их обработки в соответствии с алгоритмом анализа. Ко вторым относятся, например, особенности нотаций, с помощью которых записываются грамматики языков. Способ реализации средства синтаксического анализа также может

накладывая ограничения на возможные способы его использования. Например, если программная реализация анализатора полностью создается в результате статической кодогенерации, то становится практически невозможным использование такого анализатора в составе IDE в процессе разработки предметно-ориентированных языков.

Многие распространённые средства синтаксического анализа предполагают использование в составе разрабатываемого программного проекта и не рассматривают возможность работы в составе среды разработки, например, синтаксические анализаторы, генерируемые пакетами ANTLR или Bison. Несмотря на то, что для некоторых из таких средств существуют средства отладки грамматик (например, ANTLRWorks), генерируемые анализаторы не могут динамически подключаться к среде разработки по ходу редактирования грамматики создаваемого языка, одновременно обеспечивая использование этого языка в среде IDE.

Существуют расширения для сред разработки, которые добавляют поддержку подсветки, редактирования, рефакторинга, навигации по тексту грамматики, например, расширение Grammar-Kit для IntelliJ IDEA и IntelliJ Idea Plugin for ANTLR v4. Помимо использования одной нотацией, их функциональные возможности также ограничены, так задействуется не полнофункциональный анализатор, а упрощенный.

Целью данного проекта являлось обеспечение взаимной совместимости средств создания предметно-ориентированных языков. Для достижения цели были решены следующие задачи:

- 1) исследование существующих средств синтаксического анализа;
- 2) анализ существующих способов описания формальных грамматик, и их унификация;
- 3) разработка программного интерфейса, позволяющего текстовому редактору использовать структуры данных, генерируемые различными анализаторами;
- 4) разработка решения, обеспечивающего взаимозаменяемость синтаксических анализаторов и нотаций для описания грамматик, используемых при работе в IDE посредством трансляции грамматик между различными нотациями и синтаксического анализатора, динамически используемого в составе среды программирования (что часто не поддерживается существующими анализаторами), поддерживающего созданные для других анализаторов грамматики.

Необходимость разработки нового синтаксического анализатора связана с тем, что использование существующих синтаксических анализаторов в составе IDE сопряжено с рядом ограничений, среди которых:

- проблемы, связанные с обработкой рекурсии, правил, правая часть которых сводима к пустой строке, неоднозначных грамматик;
- потеря семантики при переписывании грамматик;
- необходимость полного перестроения анализатора при изменении грамматики;
- отсутствие инкрементального режима работы.

Взаимозаменяемость синтаксических анализаторов может быть обеспечена посредством унификации описания грамматик. Были проанализированы распространенная нотация БНФ (Бэкуса-Наура Форма) и её модификации, а также наиболее используемые и упоминаемые в научных работах инструменты, в которых используются отличные от БНФ нотации описания грамматик – Lemon, ANTLR, Syntax Definition Formalism, Xtext и Hime. В результате был выявлен минимальный набор возможностей, поддержка трансляции которых между различными нотациями возможна, определен способ поддержки этих возможностей в реализации созданного алгоритма синтаксического анализа. Упорядочив их в порядке от наиболее приоритетных для поддержки, получен следующий ряд: терминалы в составе правил, группировки, кванторы Клини, классы символов в регулярных терминалах, поднятие

дочерних узлов, ассоциативность и приоритеты, наборы правил, их композиция и псевдонимы, метки для классификации дочерних узлов. Практически все эти возможности, кроме меток и явного описания приоритетов, поддерживаются объектной моделью ранее разработанного средства для создания предметно-ориентированных языков [2]. Существующая объектная модель была расширена и дополнена, результирующая новая объектная модель структуры грамматик способна содержать всю необходимую информацию, извлекаемую из грамматик в рассмотренных нотациях.

Центральным элементом разработанного средства трансляции грамматик является набор программных интерфейсов для обработчиков грамматик. Для рассмотренных нотаций грамматик были созданы реализации интерфейсов `IGrammarProcessor`, `IGrammarReader` и `IGrammarWriter`, отвечающих за чтение или запись наборов правил в той или иной нотации. Реализация интерфейса `IGrammarRegistry` отвечает за автоматизацию выбора обработчика для грамматики. Процесс трансляции грамматик состоит из трёх шагов: чтение входных грамматик в исходных нотациях, объединение наборов правил и разрешение зависимостей, запись результирующего набора правил в целевой нотации.

На основе данных интерфейсов было создано средство трансляции грамматик между различными форматами записи. Оно реализовано в виде консольного приложения, принимающего посредством аргументов командной строки имя входного файла, имя выходного файла, и имени исходной и целевой грамматик. На первом этапе работы посредством реализации интерфейса `IGrammarRegistry` определяются обработчики для заданных грамматик. За счет обработчика исходного формата осуществляется чтение исходной грамматики в исходной нотации и формируется её объектная модель. На втором этапе по этой модели за счет обработчика целевого формата формируется текстовое представление грамматики в целевой нотации.

Также созданные обработчики грамматик используются разработанным синтаксическим анализатором для поддержки редактирования текстов грамматик и текстов на языках, заданных этими грамматиками, внутри IDE при разработке предметно-ориентированных языков. Разработанный для данного синтаксического анализатора алгоритм синтаксического анализа обрабатывает все контекстно-свободные языки и не требует переписывания грамматики для устранения правой, левой, прямой, косвенной рекурсии и кванторов со счетчиками [1]. Поддерживается обработка скрытой рекурсии и неоднозначных грамматик. Обработка различных итеративных паттернов обеспечивается одними и теми же механизмами разбора: проверками локального состояния анализатора, зависящими от конкретного паттерна. Предлагаемое решение представляет собой безлексерный синтаксический анализатор с возможностями композиции грамматик и частичного обновления анализатора.

Процедура разбора опирается на граф грамматики, представляющий собой общий недетерминированный конечный автомат для набора правил, дополненный узлами для обозначения контекстов правил и переходов между контекстами или правилами определённого вида. Каждый шаг синтаксического анализа, ассоциированный с поглощением очередного терминала, сводится к оценке возможных путей между узлами, соответствующими предыдущему и следующему терминалу с учетом локального контекста. Промежуточные узлы между терминалами при этом соответствуют операциям, которые необходимо выполнить для построения дерева разбора, и управляют локальным контекстом анализатора.

Возможные узлы графа грамматики:

- Start – начало контекста правила (A: ... ;)
- End – конец контекста правила
- Term – продвижение текстового указателя (... 'a' ... 'b' ... "[0-9]" ...)
- Branching – разветвление цепочки операций ...|...|...

- Call Спуск в новый дочерний узел A: ... B ... ;
- (вызов правила/нетерминала)
- Resume Подъём в родительский узел
- Loop Спуск в новый дочерний узел со счетчиком ...(…){4} ...
- (кванторы со счетчиком)
- Increment Увеличение счетчика в текущем узле
- EndLoop Исключение узла со счетчиком.

Так узлы графа грамматики представляют метаинформацию о её структуре, используемую при построении списков операций, применяемых к дереву разбора на очередном шаге анализа. Каждый узел может соответствовать некоторой конкретной операции, а может быть необходим для выявления паттернов, требующих специальной обработки. Для построения такого графа, необходимо перейти от иерархически организованных наборов правил к плоскому представлению с разрешенными ссылками между правилами. Разработанная объектная модель грамматик представляет ссылки между правилами в виде идентификаторов, которые должны быть разрешены в полные имена правил, на которые они ссылаются с учетом импортов, псевдонимов и самой иерархической структуры наборов правил.

Переход от иерархической модели грамматики к плоской выполняется посредством следующего ряда операций

- 1) формируется граф, описывающий иерархию лексических областей наборов правил, их импортирование и псевдонимы;
- 2) для каждой области разрешаются все импорты и формируются плоские коллекции непосредственно видимых правил и их наборов;
- 3) для каждого правила разрешаются все ссылки на другие правила из выражений с учетом областей видимости, для расширяемых правил автоматически формируются выражения с учетом указанных приоритетов и ассоциативности;
- 4) одновременно с п.3 для всех правил формируется список новых объектов GrammarRuleInfo, содержащий полное имя правила и его выражение;
- 5) все GrammarRuleInfo объединяются в GrammarInfo, где сохраняется ссылка на корневое правило, разрешенное на основе специального атрибута, аннотирующего первичный набор правил, с которого началась обработка.

Сформированный в результате объект GrammarInfo содержит плоскую модель грамматики с разрешенными ссылками между всеми правилами. Если в процессе его построения разрешить то или иное правило не удалось, генерируются соответствующие сообщения об ошибке. Так как разрешение каждой ссылки происходит независимо и отдельно от синтаксического анализа текста грамматики, будет обнаружено максимально возможное число ошибок, что сокращает время разработки грамматик.

Следующим этапом подготовки анализатора является построение графа грамматики. Для каждого правила формируется недетерминированный конечный автомат. Все такие автоматы объединяются в один большой автомат, в котором размечаются узлы, описывающие переход при обращении из одного правила к другому, и узлы, описывающие возвращение обратно в вызывающий контекст. Эта информация затем используется для выявления рекурсивных вызовов, обрабатываемых отличным от обычных вызовов способом. Затем формируется управляющая структура данных для анализатора – т.н. реестр грамматики, ставящий в соответствие каждому локальному состоянию анализатора ту или иную последовательность операций над локальным контекстом для перехода к следующему состоянию. Локальное состояние анализатора может быть представлено как совокупность текущего узла в графе и текущего локального контекста разбора, состоящего из позиции в тексте и иерархии контекстов правил, соответствующих правилам, к цепочкам которых относится данная позиция. Последовательность операций над графом грамматики заключается в переходе от

одного контекста правила к другому, что сопряжено с переходом от текущего терминала к следующему с сопутствующим пересечением границ правил, если они не принадлежат одному правилу.

Таким образом, реализация созданного синтаксического анализатора в ходе разбора обходит от терминала к терминалу допустимые пути по недетерминированному автомату. Недопустимые пути отбрасываются за счет локальных проверок контекста. Для этого применяется набор приёмов. При подготовке реестра грамматики выбираются только пути с непротиворечивыми последовательностями операций. Например, последовательность операций «вход в `expr`», «выход из `brace`» – является недопустимой, так как невозможно, породив узел контекста «`expr`» и перейдя в него, затем покинуть контекст «`brace`».

Для синтаксического анализатора был также сформулирован набор программных интерфейсов.

Так, реализация метода `PrepareParser(..)` интерфейса `IParserBuilder` для созданного синтаксического анализатора отвечает за подготовку управляющих структур анализатора на основе данной грамматики и формирует объект `IParserFabric`, порождающий независимые экземпляры анализатора `IParser`. Реализация метода `Parse(..)` интерфейса `IParser` выполняет синтаксический анализ для данного текста и формирует результат разбора, реализующий интерфейс `IParsingResult`, содержащий сообщения о диагностике и лес деревьев разбора.

Этот же набор программных интерфейсов может быть реализован для поддержки текстовым редактором структур данных, генерируемых различными анализаторами. Для этого в интерфейс `IParserBuilder` добавлен метод `MakeParser(string grammarFileName, string grammarText)`, позволяющий сформировать анализатор на основе исходного текста грамматики без предварительной обработки. Несмотря на сопутствующие накладные расходы, избавиться от которых для генеративных реализаций синтаксических анализаторов невозможно, такой подход позволяет решить поставленную задачу и обеспечить использование существующих анализаторов в составе IDE для данной грамматики. Была показана реализация системы обёрток для синтаксических анализаторов на базе библиотеки `Hime`, доступной при разработке на языке `C#`. Аналогичным образом строятся обёртки и для других анализаторов. Если библиотеки или инструментарий анализатора не могут быть напрямую использованы из среды IDE, обёртки включают явный вызов внешних программ из состава пакета разработчика того или иного синтаксического анализатора. Представленный подход позволяет использовать результаты работы внешних синтаксических анализаторов внутри IDE для подсветки синтаксиса в текстовом редакторе и других видов поддержки процесса создания предметно-ориентированных языков.

Разработанные решения были интегрированы в качестве замены существующей реализации расширения `PEG-Based Language Workbench [2]` для среды `Microsoft Visual Studio`. Иллюстрация работы показана на рисунке. Широкая поддержка различных режимов синтаксического анализа позволила расширить возможности, доступные при разработке предметно-ориентированных языков в среде данной IDE.

Разработанный алгоритм синтаксического анализа превосходит ранее использованный в расширении `PEG-Based Language Workbench`, так как способен корректно обрабатывать более широкий класс грамматик. Кроме этого, разработанное решение позволяет прозрачно переключаться между различными синтаксическими анализаторами, что ранее было невозможно.

На данный момент, созданный синтаксический анализатор не поддерживает инкрементальный режим работы. Это не позволяет сравнивать его производительность при работе в среде текстового редактора IDE. Предшествующая реализация [2] работает в инкрементальном режиме, что позволяет обновлять только часть дерева

разбора. Для созданного синтаксического анализатора такой режим работы тоже возможен, но его реализация не является частью данной работы. Сравнение производительности с синтаксическими анализаторами, основанными на генерировании реализации анализатора по заданной грамматике так же не целесообразно, так как они не обеспечивают сравнимой функциональности: не могут быть задействованы сразу после изменения грамматики при редактировании её текста.

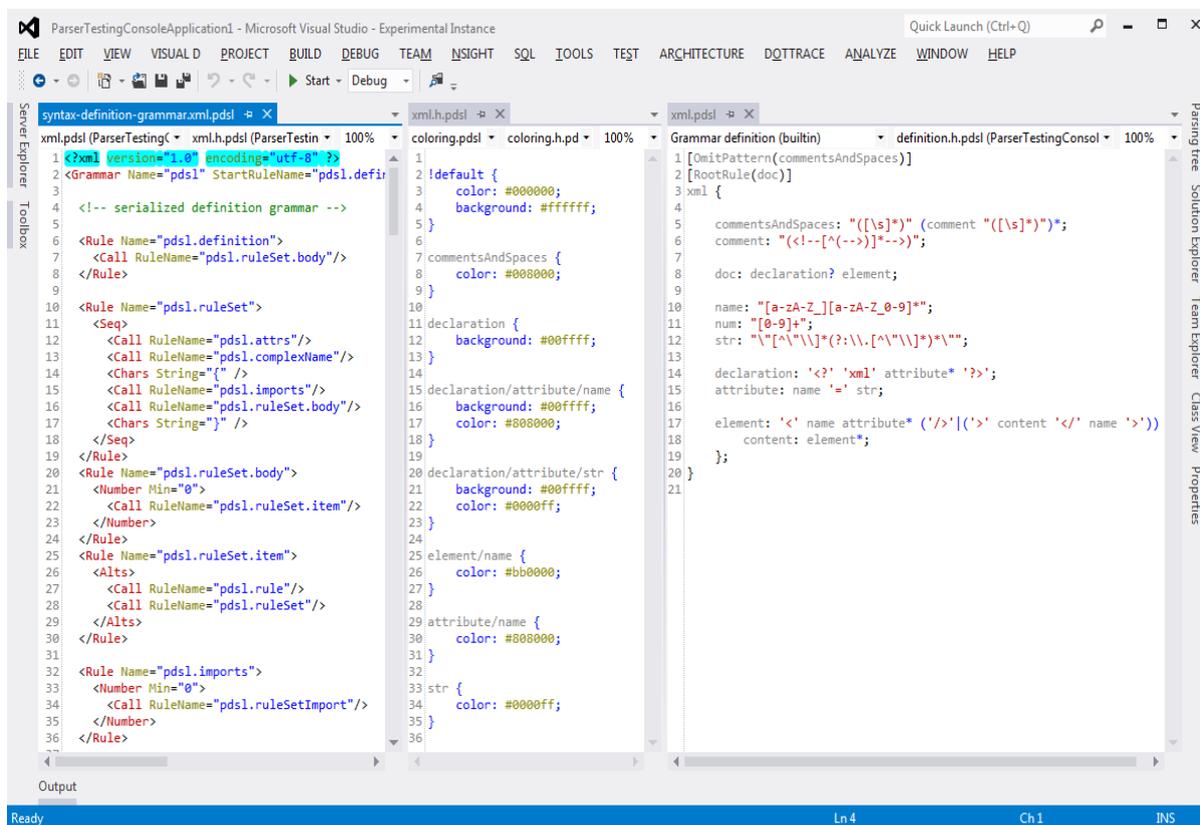


Рисунок. Иллюстрация работы разработанного синтаксического анализатора в составе расширения для Visual Studio

Так как созданные программные интерфейсы являются публичными, возможно дальнейшее улучшение созданного решения как в сторону поддержки других синтаксических анализаторов и нотаций для записи грамматик, так и в сторону улучшения производительности.

Среди возможных направлений дальнейших исследований стоит отметить оптимизацию созданного алгоритма синтаксического анализа и добавление к нему возможности инкрементального анализа.

Результатом работы является набор библиотек и программных интерфейсов, покрывающих данные задачи. Разработанные решения были успешно интегрированы в качестве замены существующей реализации расширения PEG-Based Language Workbench для среды Microsoft Visual Studio.

Разработанный алгоритм синтаксического анализа превосходит ранее использованный в расширении PEG-Based Language Workbench, так как способен корректно обрабатывать более широкий класс грамматик, позволяющий обеспечить поддержку редактирования текстов как самих грамматик, так и текстов на разрабатываемых языках, независимо от изначального целевого синтаксического анализатора. Кроме этого, разработанное решение позволяет прозрачно переключаться между различными синтаксическими анализаторами, что ранее было невозможно.

Литература

1. Кузенкова Е.В. Итеративность и адаптивный синтаксический анализ // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2021. Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/5667>, своб.
2. Korenkov Y., Loginov I., Lazdin A. PEG-based language workbench //2015 17th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). IEEE. 2015. С. 75-81.

Левашова Анастасия Алексеевна

Год рождения: 2001

Университет ИТМО,

факультет среднего профессионального образования,

студент группы №У2431,

направление подготовки: 09.02.07 – Информационные системы и программирование,

e-mail: nastya.levashova.12@mail.ru

Романова Асель

Год рождения: 1993

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

ст. преподаватель,

e-mail: asel-romanova@mail.ru

УДК 304.3

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПЛАНИРОВЩИКА
С АВТОМАТИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАДАЧ**

А.А. Левашова

Научный руководитель – ст. преподаватель А. Романова

Работа выполнена в рамках темы ВКР «Разработка мобильного планировщика с автоматическим распределением задач».

Аннотация

В работе рассмотрена разработка мобильного приложения для планирования задач с функцией автоматического распределения задач в соответствии с темпом жизни пользователя. Проведен анализ аналогичных решений, показывающий уникальность разработанного приложения, описана используемая техника тайм-менеджмента, а также представлены результаты разработки.

Ключевые слова

Тайм-менеджмент, pomodoro, планировщик, автоматическое планирование, повышение продуктивности.

В настоящее время проблема планирования собственного времени является достаточно актуальной. Люди зачастую плохо справляются с планированием своего рабочего времени, а также теряют продуктивность в работе. Мобильное приложение на основе полученных от пользователя данных о его распорядке дня, пике работоспособности и рабочих задачах автоматически расставляет занесенные пользователем задачи в зависимости от указанных продолжительности, дедлайна и сложности задачи. В качестве аналогичных решений были выбраны приложения для планирования задач с наибольшим числом установок на Google Play: Any.do, Google Keep, Todoist, ColorNote, Trello, Microsoft To-Do.

В табл. 1 представлен результат сравнения аналогичных решений.

Во всех существующих аналогах рассматриваемого приложения отсутствует функция автоматического распределения задач в соответствии с темпом жизни пользователя, позволяющая самостоятельно составлять рабочий план для пользователя, получив от него необходимую информацию о его предпочтениях и темпе жизни. Данная функция поможет людям, которые не умеют планировать свое время, максимально эффективно распределить задачи в соответствии с дедлайнами и сложностью.

Сравнительный анализ аналогичных решений

Наименование аналогов →	Any.do	Google Keep	Todoist	ColorNote	Trello	Microsoft To-Do
Функция ↓						
Добавление заметок	+	+	+	+	+	+
Карточки с задачами	-	+	-	+	+	-
Синхронизация с другими устройствами	+	-	+	+	-	-
Назначение заданий другим пользователем	-	-	+	-	+	+
Наличие версии на русском языке	+	-	+	+	+	-
Подсказки при вводе задач	+	-	-	-	+	-
Настройка внешнего вида приложения	+	-	-	-	+	-
Прикрепление файлов	+	+	+	-	+	-
Разбиение одной задачи на подзадачи	+	-	+	-	+	+
Наличие уведомлений о задачах	+	+	+	+	+	+
Список покупок	+	+	-	+	+	+
Календарь	+	-	-	+	+	-
Работа в офлайн режиме	+	-	+	+	+	+
Выставление задач по приоритету	-	-	+	-	-	-
Дублирование рутинных задач	+	-	+	-	-	-

В основе приложения лежит техника тайм-менеджмента Pomodoro, которая заключается в том, что отрезки времени, на которые делится работа, условно называются «помидорами». Один «помидор» длится 30 минут: 25 минут работы и 5 минут отдыха [1]. После четырёх отрезков наступает долгий перерыв – от 15 до 30 минут. В зависимости от сложности задачи и способности человека быстро концентрироваться, время рабочего «помидора» можно увеличить до 30 или 50 минут, тогда время отдыха составит 5 или 10 минут соответственно. Для доказательства эффективности техники Pomodoro были проведены различные исследования. К примеру, Федерико Гоббо и Маттео Ваккари наблюдали за группой программистов, работающих с техникой Pomodoro и без неё. Эффективность их работы по технике Pomodoro была выше [2].

На рис. 1 представлен главный процесс приложения. У пользователя есть возможность перехода к интерфейсу с задачами, планом задач на день, списками покупок и настройками приложения.

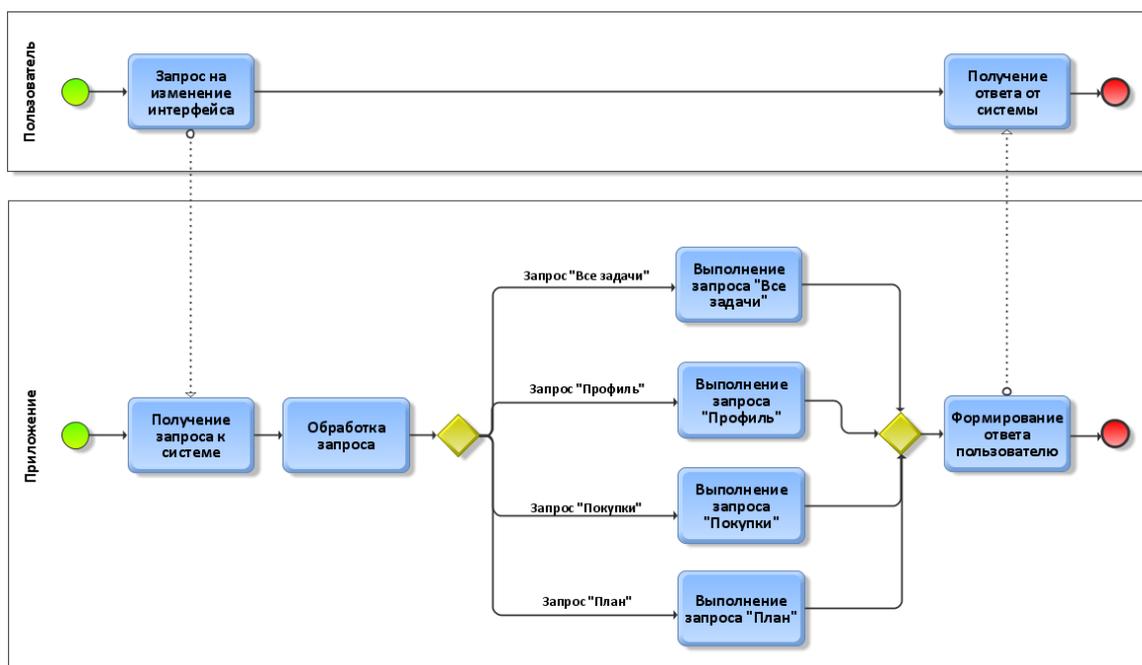


Рис. 1. Функциональная модель системы

Приложение обеспечивает выполнение следующих функций:

- автоматическое составление плана задач на выбранный день в соответствии с информацией о пользователе и внесенных задачах;
- ввод, хранение и обработку информации о задачах, составных задачах продуктах и списках покупок;
- ввод, хранение и обработку информации о пользователе и настройках приложения;
- предоставление пользователю возможности самостоятельно планировать свое время при отключенной функции автоматического распределения задач;
- предоставление пользователю возможности переноса времени начала задачи на 5, 10 или 30 минут;
- уведомление пользователя о начале и окончании задачи.

В табл. 2 представлен перечень данных, которые пользователь вводит для каждой категории.

Таблица 2

Входные данные приложения

Тип данных	Данные
О пользователе	<ul style="list-style-type: none"> • имя; • время подъема; • время отхода ко сну; • время завтрака; • время обеда; • время ужина; • время начала работы для каждого дня недели; • продолжительность рабочего дня для каждого дня недели; • пик работоспособности; • время рабочего «помидора».

продолжение таблицы

Тип данных	Данные
О разовой задаче, если выбрана категория «работа»	<ul style="list-style-type: none"> • название; • описание; • прикрепленные файлы или изображения; • время выполнения задачи; • сложность; • дедлайн; • выбор дней, когда задачу можно выполнять.
О разовой задаче, если выбрана категория «отдых» или «другое»	<ul style="list-style-type: none"> • название; • описание; • прикрепленные файлы или изображения; • приоритет; • выбор дней, когда задачу можно выполнять.
О разовой задаче, если отключена функция автоматического распределения задач	<ul style="list-style-type: none"> • название; • описание; • прикрепленные файлы или изображения; • категория; • время начала; • время окончания; • дата.
О задаче с фиксированным временем	<ul style="list-style-type: none"> • название; • описание; • прикрепленные файлы или изображения; • категория; • время начала; • время окончания; • дата.
О рутинной задаче	<ul style="list-style-type: none"> • название; • описание; • прикрепленные файлы или изображения; • категория; • время начала; • время окончания; • частота повторений.
О продукте	<ul style="list-style-type: none"> • название; • количество; • стоимость.
О составной задаче	Название
О списке покупок	Название

На рис. 2 представлен общий принцип распределения задач в соответствии с расписанием дня пользователя.

В ходе работы был разработан мобильный планировщик с автоматическим распределением задач. Приложение позволяет пользователю автоматически планировать свое рабочее и свободное время, а также способствует поддержанию работоспособности пользователя за счет используемой техники тайм-менеджмента и принципа чередования задач для смены деятельности.

На рис. 3 представлены интерфейсы для просмотра автоматически составленного плана задач на текущую неделю. Пользователь имеет возможность переключения между днями недели путем нажатия на выбранный день календаря.

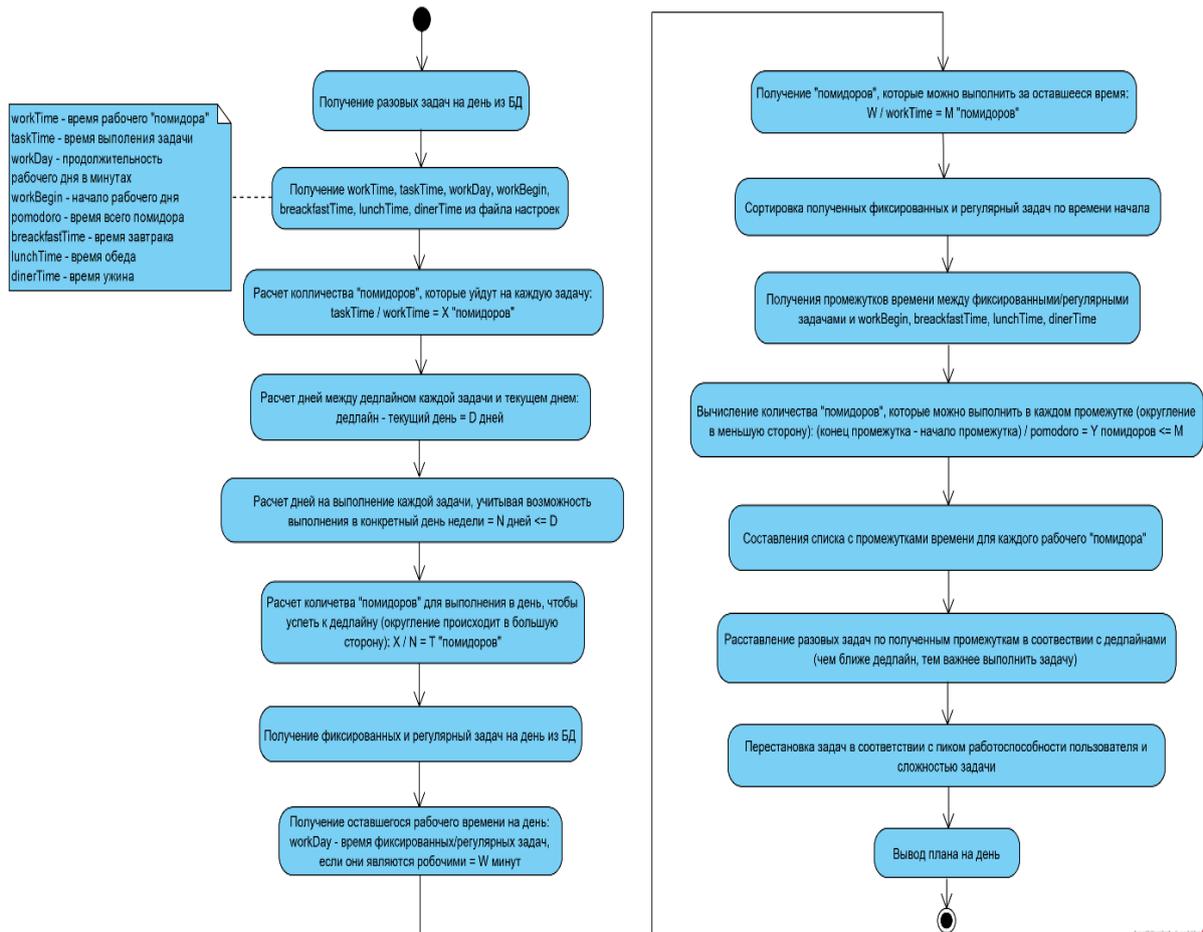


Рис. 2. Алгоритм автоматического распределения задач

План							План							План						
14 мая 2021 г.							14 мая 2021 г.							14 мая 2021 г.						
п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с	ч	п	с	в
10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16
13:00 - 14:00	Заполнение отчета						16:00 - 17:00	Конференция						18:00 - 18:25	Доклад					
14:30 - 14:55	Найти материал						17:00 - 17:25	Найти материал						18:30 - 18:55	Доклад					
15:00 - 15:25	Найти материал						17:30 - 17:55	Найти материал						19:05 - 19:30	Отчёт					
15:30 - 15:55	Найти материал						18:00 - 18:25	Доклад						19:35 - 20:00	Отчёт					
16:00 - 17:00	Конференция						18:30 - 18:55	Доклад						21:00 - 22:00	Квиз с друзьями					

Рис. 3. Интерфейс с планом задач на текущий день

В дальнейшей работе планируется расширение функционала приложения за счет функции оптимального распределения времени пользователя при большом количестве задач, которая будет реализована с использованием математических методов.

Литература

1. Как работать по методу Помодоро: разбираем технику тайм-менеджмента [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://worksection.com/blog/pomodoro_time_management.html (дата обращения: 25.06.2021).
2. The Pomodoro Technique for Sustainable Pace in Extreme Programming Teams [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/216111832_The_Pomodoro_Technique_for_Sustainable_Pace_in_Extreme_Programming_Teams (дата обращения: 25.06.2021).

Пинаев Захар Андреевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы № В3419,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: z.pinaev@gmail.com

Волынский Максим Александрович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

к.т.н., доцент,

e-mail: maxim.volynsky@gmail.com

УДК 004.855.5

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВИДЕОКОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БОДРСТВОВАНИЯ ВОДИТЕЛЯ

З.А. Пинаев

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Волынский

Аннотация

В статье рассмотрен процесс разработки системы автоматического видеоконтроля состояния бодрствования водителя, направленной на определение усталости на ранних этапах ее проявления. В рамках работы проведено исследование современных способов контроля состояния водителя, изучение визуально-различимых признаков засыпания человека, а также разработка, тренировка и тестирование системы видеоконтроля состояния бодрствования водителя.

Ключевые слова

Бдительность, системы помощи водителю, дорожно-транспортные происшествия, детектирование признаков, НМ-LSTM.

По разным оценкам, засыпание человека за рулём является причиной около 20% всех ДТП [1]. В настоящее время известны сотни запатентованных методов и устройств контроля функционального состояния водителя транспортного средства. Методы, используемые для решения описанной задачи, принято делить на две группы: контактные и бесконтактные. Сравнительный анализ обеих групп методов позволяет выделить недостатки, характерные для современных устройств контроля состояния водителя: наличие контактных датчиков, снижающих надёжность системы; наличие критических состояний, при которых возможны как ложные срабатывания, так и невозможность определения засыпания; невозможность быстрой адаптации системы под другого водителя. На основании вышеописанного исследования сделан вывод о том, что эффективным вариантом решения рассматриваемой задачи является система, состоящая из камеры телефона в совокупности с нейронной сетью для обработки информации. Такая система имеет следующие преимущества: отсутствие контактных датчиков; независимость системы от привычек водителя и стиля вождения; минимальная инертность; камера телефона является доступной и дешёвой альтернативой существующим устройствам; использование нейронной сети упростит процесс обучения и позволит достигнуть высокой точности классификации уровней бдительности.

Важным этапом работы является выбор набора данных для тренировки и тестирования нейросети, и в результате продолжительного поиска решено остановиться на Real-Life Drowsiness Dataset (RLDD). Рассматриваемый набор данных (рис. 1) предлагает значительные преимущества по сравнению с существующими общедоступными аналогами для обнаружения сонливости, независимо от того, связаны ли они с областью вождения или нет: на сегодняшний день это самый крупный общедоступный набор данных, предназначенный для обнаружения сонливости; кадры людей в сонном состоянии являются результатом съёмки настоящей сонливости; данные были получены с использованием разных камер и в разных условиях; RLDD позволяет считывать сложно уловимые лицевые признаки сонливости, а также более явные и легко наблюдаемые признаки.

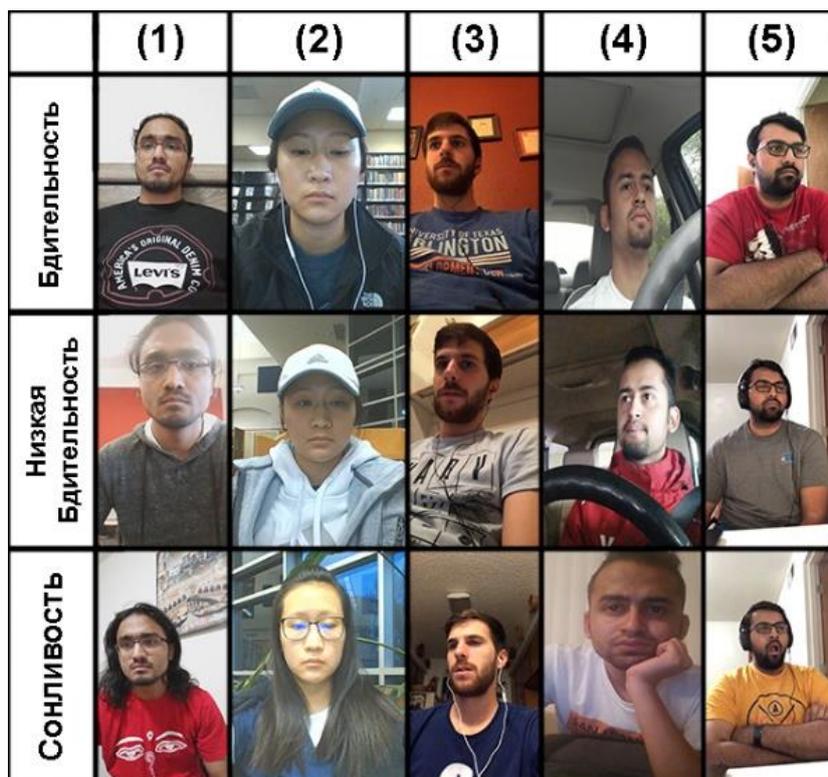


Рис. 1. Примеры кадров из набора данных RLDD в бдительном состоянии (первая строка), в состоянии низкой бдительности (вторая строка) и в сонном состоянии (третья строка)

В работе [3] в качестве основы решено использовать метод анализа временной информации видеозаписи при помощи сети Hierarchical Multiscale Long Short-Term Memory (HM-LSTM) [2], что позволило смоделировать взаимосвязь между морганиями и состоянием бдительности. В данной реализации так же решено использовать сеть HM-LSTM для решения задачи контроля состояния водителя. Идея использования признаков, связанных с морганием, заключается в том, чтобы зафиксировать временные закономерности, которые естественным образом проявляются в человеческих глазах.

Многие исследования, например [3], в качестве признаков моргания используют только их амплитуду, продолжительность, скорость и частоту. В настоящей работе, в отличие от других исследований, решено дополнить упомянутые признаки тремя дополнительными: *APCV* (соотношение амплитуды и максимальной скорости моргания), *MEANCLOS* (степень открывания глаз) и собственным аналогом *PERCLOS – PERCLOSSHRT*.

Большой проблемой при использовании признаков моргания для обнаружения сонливости является различие паттернов моргания у разных людей, поэтому признаки для каждого отдельного субъекта необходимо нормализовать для того, чтобы обучать сеть на всех данных одновременно. Для этого треть морганий в состоянии «бдительность» используется, чтобы вычислить математическое ожидание и стандартное отклонение каждого признака для каждого отдельного человека, а затем для нормализации оставшихся морганий в состоянии «бдительность», а также для двух других состояний того же человека (m) и признака (n) используется уравнение:

$$\overline{\Pi}_{n,m} = \frac{\Pi_{n,m} - \mu_{n,m}}{\sigma_{n,m}}, \quad (1)$$

где Π – признак, $\mu_{n,m}$ и $\sigma_{n,m}$ – соответственно математическое ожидание и стандартное отклонение признака n в первой трети морганий из видео во время состояния «бдительность» для субъекта m .

Сеть HM-LSTM используется для работы с временным паттерном морганий. Благодаря ячейкам сети, возможно учитывать, как каждое моргание связано с другими и сколько морганий подряд могут влиять друг на друга. В результате сеть HM-LSTM способна обучаться кратковременным паттернам благодаря слоям нижнего уровня и паттернам, протяжённым по времени, благодаря слоям высокого уровня. Такой иерархический анализ позволяет сети учитывать моргания как в коротких, так и в длинных промежутках времени.

Для того, чтобы оценить работу системы в данной работе используется два параметра: точность классификации видео (VA) и погрешность классификации видео (VRE).

Точность классификации видео (VA) – является главной метрикой точности работы системы. Она равна проценту всех видео, которые были правильно классифицированы.

Погрешность классификации видео (VRE) определяется выражением:

$$VRE = \frac{\sum_{j=1}^Q C_j^v \left| \frac{1}{K_j} \sum_{i=1}^{K_j} (out_{i,j}) - S_j \right|^2}{Q}, \quad (2)$$

где Q – количество видео в тестовом наборе, C_j^v – двоичное значение, равное 0, если j -е видео было классифицировано правильно и 1, если видео классифицировано неверно; K_j – количество всех последовательностей морганий в видео j ; $out_{i,j}$ – значение на выходе сети в диапазоне от 0 до 10, выражающее оценку уровня бдительности субъекта системой; S_j – значение, определяющее истинную принадлежность к тому или иному классу (0 – «бдительность», 5 – «низкая бдительность», 10 – «сонливость»).

Таким образом, правильно классифицированные видео не влияют на появление ошибки VRE. Для постоянного VA значение VRE отражает предельную погрешность для неправильно классифицированных видео.

Модель обучалась примерно на 7000 последовательностях морганий со значениями параметров: коэффициент скорости обучения = 0.000051; размер пакета одной итерации = 64; количество эпох = 80.

После серии испытаний выявлено, что модуль детектирования морганий хорошо справляется со своей задачей, определяя положение век и считывая признаки морганий даже в ситуациях, когда человек повернулся в сторону (рис. 2).

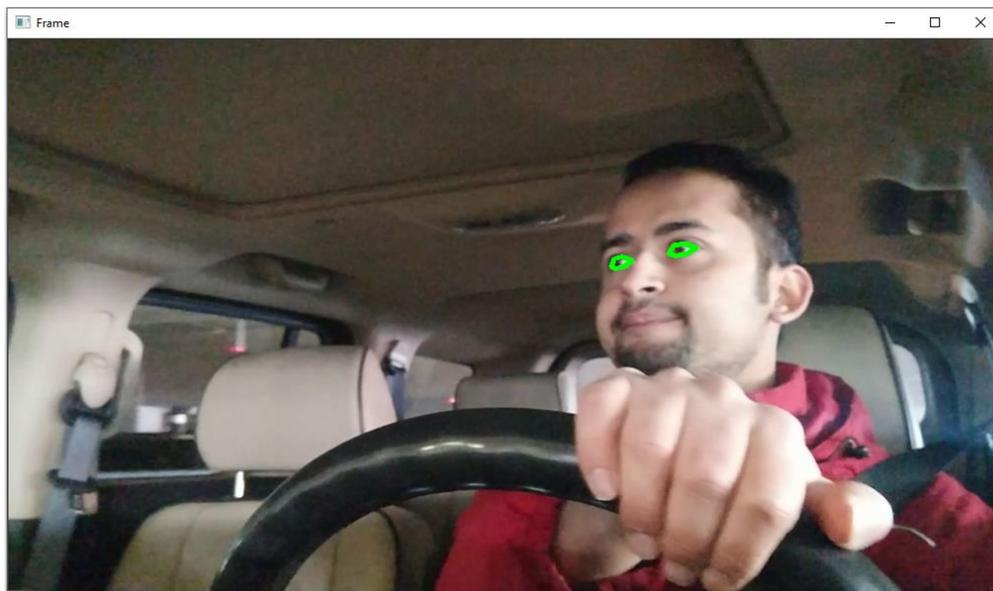


Рис. 2. Пример работы модуля считывания морганий при повороте человека в сторону

Далее произведены обучение и тестирование сети. Прежде всего эти этапы производились для сети, которая работает с 4 наиболее часто используемыми признаками морганий (амплитуда, продолжительность, скорость и частота), как, например, в работе [3]. После этого сеть была обучена заново для работы с 7 признаками морганий, 3 из которых дополнительно определены в настоящем исследовании. Этот этап позволяет сравнить эффективность работы сети в зависимости от количества признаков морганий, а также по анализу результатов можно судить о правильности выбора в настоящем исследовании дополнительных признаков.

Кроме того, чтобы объективно оценить результаты работы сети, решено сравнить их с экспериментальными данными в работе [3], в которой добровольцев просили оценить степень сонливости субъекта на видео из набора данных RLDD по шкале «Бдительность – Низкая бдительность – Сонливость». Сравнение результатов работы сети и прогнозов человека приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение эффективности работы сетей с оценкой человека по двум показателям

	Метрика оценки	
	VA	VRE
Сеть НМ-LSTM (7 признаков)	71,1%	0,63
Сеть НМ-LSTM (4 признака)	65,2%	1,14
Прогноз человека	57,8%	2,01

Анализ табл. 1 показал, что разработанная система (с 4 и 7 признаками моргания) выявляет ранние малозаметные признаки сонливости лучше, чем люди, благодаря анализу временных паттернов моргания.

Далее, для более детального сравнения в табл. 2-4 приведены соответствующие элементы матриц ошибок (confusion matrix) для сети с 7 признаками, сети с 4 признаками и прогноза человека соответственно.

Таблица 2

Элементы матрицы ошибок для предложенной системы контроля состояния бодрствования водителя по параметру VA (7 признаков)

		Исходный класс		
		Бдительность	Низкая бдительность	Сонливость
Прогноз	Бдительность	0,80	0,14	0,03
	Низкая бдительность	0,19	0,51	0,15
	Сонливость	0,01	0,35	0,82

Таблица 3

Элементы матрицы ошибок для предложенной системы контроля состояния бодрствования водителя по параметру VA (4 признака)

		Исходный класс		
		Бдительность	Низкая бдительность	Сонливость
Прогноз	Бдительность	0,81	0,12	0,05
	Низкая бдительность	0,18	0,32	0,13
	Сонливость	0,01	0,56	0,82

Таблица 4

Элементы матрицы ошибок для результатов оценки человека (по параметру VA)

		Исходный класс		
		Бдительность	Низкая бдительность	Сонливость
Прогноз	Бдительность	0,63	0,25	0,09
	Низкая бдительность	0,33	0,45	0,26
	Сонливость	0,04	0,30	0,65

Преимущество в эффективности определения состояния водителя разработанной системой перед оценкой человека подтверждается сравнением элементов матриц ошибок для разработанных систем (табл. 2, 3) с соответствующими элементами матрицы ошибок для прогноза человека (табл. 4). Также выявлено, что системы успешно классифицируют бдительных и сонливых субъектов с точностью 80% и более, что говорит о надёжности результатов на практике.

Более детальный анализ табл. 3 показал, что наиболее сложным для классификации стал класс «Низкая бдительность», вследствие чего система, которая работает с 4 признаками морганий, ошибочно классифицировала его, как «сонливый». С другой стороны, сравнивая табл. 2 и 3, впервые показано, что благодаря 3 дополнительным признакам морганий, введенным в настоящей работе, точность определения класса «Низкая бдительность» значительно выросла. Именно поэтому, как видно в табл. 1, общая точность классификации видео системой с 7 признаками почти на 6% выше, чем системой с 4 признаками.

Для портирования системы на базу мобильного устройства решено использовать сеть, которая работает с 7 признаками морганий, в силу её преимущества в

эффективности относительно системы с 4 признаками морганий. На рис. 3 представлен концепт рабочей среды приложения.

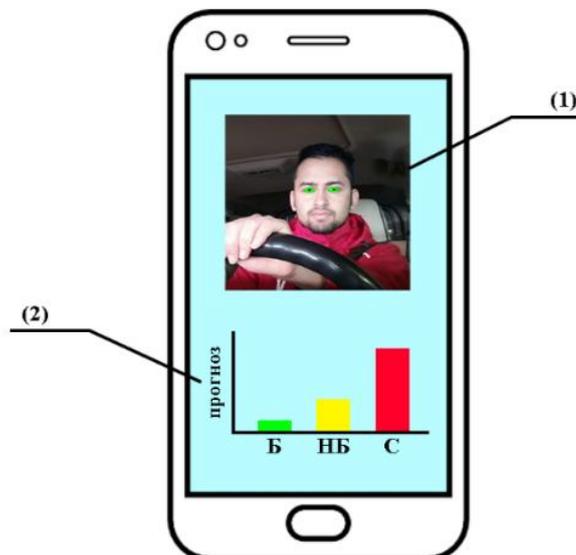


Рис. 3. Концепт приложения для контроля состояния бодрствования водителя.
(1) – изображение с фронтальной камеры, (2) – оценка бдительности разработанной системой, где «Б» – бдительность, «НБ» – низкая бдительность, «С» – сонливость

Для того, чтобы не перегружать интерфейс в приложении решено оставить два элемента – (1) окно для видеоряда, получаемого с фронтальной видеокамеры в реальном времени и (2) – график с прогнозом состояния бдительности, который обновляет свои значения с периодом равным заданному значению параметра T .

В ходе анализа рынка мобильных приложений выявлено, что на сегодняшний день в открытом доступе не существует мобильных приложений, позволяющих определить усталость человека на ранних стадиях, что говорит об уникальности разработанного решения.

В результате исследования разработана и успешно протестирована система автоматического видеоконтроля состояния бодрствования водителя.

Литература

1. World Health Organization: The top 10 causes of death. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (дата обращения 09.02.2021).
2. С.-Н. Weng, Y.-Н. Lai, S.-Н. Lai. Driver drowsiness detection via a hierarchical temporal deep belief network. In Asian Conference on Computer Vision, pages 117–133. Springer, 2016. 2, 3.
3. R. Ghoddoosian, M. Galib, V. Athitsos. A Realistic Dataset and Baseline Temporal Model for Early Drowsiness Detection. arXiv preprint arXiv: 1904.07312. 3.

Преснова Алёна Артуровна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U3476,

направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика,

e-mail: destrucclipse@gmail.ru

Рогавичене Лариса Ивановна

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: rogavichene@list.ru

УДК 339.138

**РАЗРАБОТКА И ФИНАНСИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ
ПО ПРОДВИЖЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕКСТИЛЯ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

А.А. Преснова

Научный руководитель – к.э.н., доцент Л.И. Рогавичене

Аннотация

Данная работа посвящена разработке проекта маркетинговой стратегии и плана ее финансирования для стартапа-производителя функционального текстиля на основе технологии печатной электроники. Исследование включает в себя анализ объема и динамики рынка электронного текстиля, конкурентного ландшафта, возможных потребителей продуктов проекта, разработку стратегии ценообразования, прогнозирование объема продаж и маркетингового бюджета стартапа.

Ключевые слова

Маркетинговая стратегия, стартап, электронный текстиль, маркетинговый бюджет, рынок.

В условиях постоянно трансформирующейся внешней среды, любым проектам необходимо мыслить стратегически для определения комплекса действий по реализации основных направлений ее деятельности на целевом рынке в отношении потенциальных потребителей, конкурентов и партнеров в динамике. Одним из главных инструментов полноценного управления стартапом служит маркетинговая стратегия, которая является одним из элементов его общей стратегии. В связи со спецификой стартапов как высокорисковых проектов, далеко не все инструменты маркетингового анализа можно использовать при планировании их стратегии ввиду нецелесообразности или дороговизны таких инструментов. В данном случае важно не только разработать первоначальную стратегию выхода компании на рынок, но и грамотно установить контакт с целевыми потребителями, а впоследствии регулярно вносить в разработанную стратегию коррективы и исправления.

Проект WARMR трансформирует рынок одежды объемом \$1 трлн., разрабатывая новое поколение электронного текстиля на основе технологии печатной и наноэлектроники. Главной целью проекта является разработка нагревающейся пасты и вывод на рынок текстильных изделий на ее основе.

Время нагрева такой ткани до максимальной температуры составляет 5 секунд, обеспечивается равномерное распределение тепла по всей поверхности ткани. Благодаря использованию в составе запатентованных элементов была разработана паста с положительным температурным коэффициентом сопротивления, что исключает возможность перегрева без потери эластичности. Также данная технология решает проблему с локальным «недогревом» в определенных участках пленки. Помимо этого, исключается локальный перегрев, также существует возможность управлять теплом с помощью мобильного приложения или аналоговым способом.

Главным целевым рынком высокотехнологичного проекта WARMR является мировой рынок текстиля, который, в свою очередь, включает в себя рынок электронного текстиля. Объем мирового рынка текстиля составлял 1 трлн. долл. США в 2020 году, и ожидается, что в период с 2021 по 2025 год он будет расти совокупными годовыми темпами роста в размере 4,4%. Таким образом, к 2025 году объем мирового рынка текстиля достигнет 1,21 трлн. долл. США [1]. К топ-10 растущих подотраслей рынка мирового текстиля относятся следующие: отделка тканей и текстильных изделий, производство канатов, веревок, шпагата и сетей, спецодежды, ковров и ковровых изделий, чемоданов, прочей верхней одежды, нетканых материалов, вязаных и трикотажных изделий, нательного белья.

Объем мирового рынка электронного текстиля на 2019 год – 1,6 млрд. долл. США. Ожидается, что к 2025 году объем мирового рынка электронного текстиля достигнет 5,55 млрд. долл. США, а его совокупный среднегодовой темп роста за прогнозируемый период составит 30,4% что говорит о многогранности этого рынка и перспективности выхода на него [2].

Высокие темпы роста рынка электронного текстиля в размере 30% являются признаком популяризации умной одежды и сопутствующих аксессуаров в мире, благодаря чему был сделан вывод о существовании глобального тренда на интеграцию электронного текстиля в другие его виды. Таким образом, объем мирового рынка текстиля, который в свою очередь включает в себя мировой рынок электронного текстиля на прогнозируемый 2025 год представлены на рис. 1.

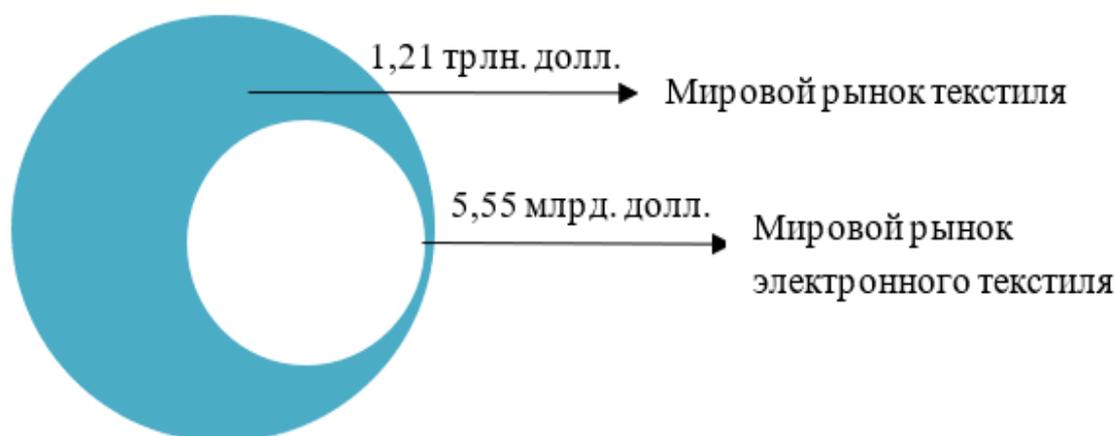


Рис. 1. Объем целевых рынков компании WARMR на 2025 год

Для определения главных конкурентных преимуществ проекта WARMR был проведен сравнительный анализ технологии стартапа с технологиями компаний Xiaomi, 30 seven и Gyde.

Главные конкурентные преимущества, которые приносит технология WARMR:

- 1) нагревательные элементы интегрированы в саму ткань, поэтому на производство не требуется нового дорогостоящего оборудования;
- 2) технология ультралегкая – вес всех нагревательных элементов менее 2 г.;
- 3) технология адаптируется в любой вид текстиля, поэтому может улучшить все выпускаемые изделия компании-потребителя.

Таким образом, был сделан вывод о том, что технология конкурентов устаревшая, в то время как WARMR предлагает комплексную технологию с лучшими потребительскими свойствами. Для определения конкурентоспособности технологии был использован метод Майкла Портера, который показал, что существует большая вероятность выхода на рынок новых игроков, однако уровень угрозы со стороны товаров-заменителей оценивается как низкий.

На первом этапе реализации маркетинговой стратегии была выбрана стратегия концентрированного маркетинга, а целевым сегментом стал сегмент производителей спортивной и outdoor одежды и аксессуаров, а также небольших проектов в сфере туризма в холодных условиях. На втором этапе инновационный бизнес WARMR будет следовать стратегии дифференцированного маркетинга, добавив к стратегии новые сегменты – производители повседневной одежды, аксессуаров из текстиля, домашнего текстиля. На рис. 2 представлены крупнейшие игроки индустрии моды с их объемом продаж, которые потенциально могут стать потребителями технологии WARMR. Таким образом, главными возможными целями для продажи технологии являются компании Dior с ежегодной выручкой с текстильной продукции в размере 43 млрд. долл. США, Nike с ежегодной выручкой в 37 млрд. долл. США, а также группа Inditex, включающая в себя такие бренды, как Zara, Massimo Dutti и Oysho с ежегодной выручкой в 33 млрд. долл. США. На данном этапе у представленных компаний нет собственных технологий электронного текстиля из-за недостатка НИОКР, из-за чего они будут вынуждены интегрировать технологию электронного текстиля для получения необходимых конкурентных преимуществ.

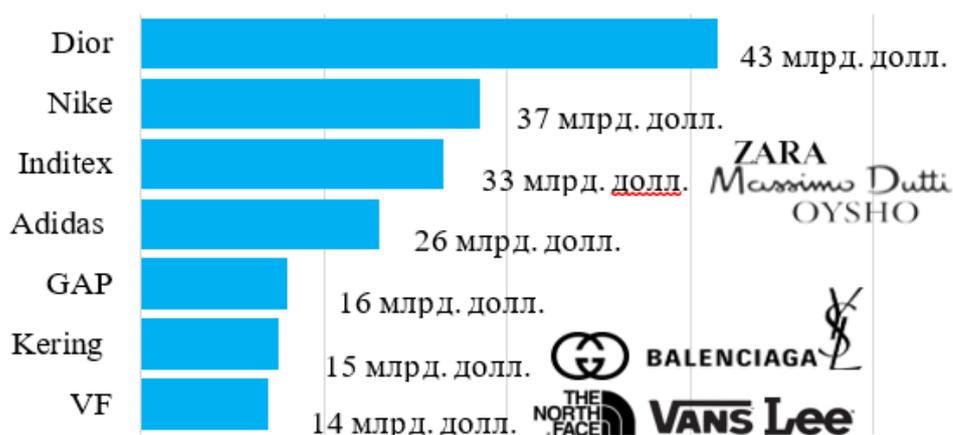


Рис. 2. Объемы продаж крупнейших игроков индустрии моды за 2019 г

На третьем этапе сегменты в стратегии дифференцированного маркетинга расширятся – к существующим сегментам добавятся производители техники для малогабаритной группы населения, военная сфера и компании из транспортной индустрии.

Востребованность предлагаемой технологии среди потенциальных потребителей доказана совместно выпущенной с компанией Red Fox инновационной курткой с

подогревом, которая функционирует при температуре минус 70°C и может управляться через мобильное приложение или аналоговым способом.

Выбранная стратегия ценообразования для технологии проекта WARMR – конкурентная стратегия снятия сливок. Выбор такой стратегии обусловлен рядом факторов:

1) технология WARMR представляет ценность для потенциальных потребителей, так как дает им уникальное конкурентное преимущество на рынке функционирования;

2) на рынке слабая конкуренция, существующие технологии-аналоги являются устаревшими и не несут ценности для потенциальных потребителей;

3) технология WARMR защищена патентом, а также были проведены затратные НИОКР.

Главной характеристикой выбранной стратегии является стремление максимизации прибыли в условиях низкой конкуренции за счет установления высокой цены на продукцию [3].

Правовой механизм перехода исключительных прав на зарегистрированный проектом WARMR патент на технологию будет реализовываться посредством лицензионного договора.

В соответствии с п.1 ст. 1235 Гражданского Кодекса Российской Федерации по лицензионному договору одна сторона – обладатель исключительного права на результат интеллектуальной деятельности или на средство индивидуализации (лицензиар) предоставляет или обязуется предоставить другой стороне (лицензиату) право использования такого результата или такого средства в предусмотренных договором пределах. Гражданское законодательство формулирует возможность выплаты вознаграждения лицензиару за передачу прав на объект лицензионного договора [4].

Исходя из определенной стратегии ценообразования, при заключении с потенциальными потребителями лицензионного договора, право на использование в производстве технологии WARMR будет передано лицензиату за вознаграждение в виде процентных отчислений в размере 10% от прибыли, полученной в результате реализации продукции с использованием запатентованной технологии печатной электроники. Объем продаж проекта был спрогнозирован исходя из объема outdoor-рынка Российской Федерации, который составляет 150 млрд руб., доли отечественных производителей одежды для активного отдыха, среди которых функционируют такие компании, как RedFox, NovaTour, Сивера, Снаряжение, а также прогнозного проникновения электронного текстиля в обычный текстиль в размере 5% на 2025 год. Исходя из этого планируемая доля проникновения технологии WARMR на Российском outdoor-рынке отечественных производителей – 10%. Продажи были поделены на каждый год с 2021 по 2030 согласно закономерности диффузии инноваций и с учетом факторов влияния – сезонности, текущего уровня продаж компании-потребителя, качества рекламной кампании, уровня конкурентных преимуществ конкурентов компании-потребителя.

Исходя из анализа рынка электронного текстиля, можно сделать вывод о потенциально возможном высоком спросе компаний-производителей текстиля на технологию проекта WARMR. Следовательно, перспективы выхода на рынок можно расценивать как достаточно высокие.

Таким образом, общий объем продаж на Российском рынке за прогнозируемые 10 лет составляет 2,4 млрд. руб. и представлен в табл. 1. Помимо этого, планируется участие в ряде отраслевых мероприятий: Rusbase forums&awards, Seasons Tech V.2 – Акселератор, а также посещение ассамблей и участие в репортажах СМИ.

Сценарий продаж на рынке РФ с учетом факторов влияния

Год	Стадия	Распределение потребителей, %	Объем продаж, руб.	Влияние факторов, %	Доход по договору, руб.
2021	Выход на рынок	Новаторы - 0,3	6885000	7	7366950
2022		Новаторы - 2,2	50490000	5	53014500
2023	Рост	Ранние последователи - 5	114750000	5	120487500
2024		Ранние последователи - 8,5	195075000	5	204828750
2025		Раннее большинство - 16	367200000	5	385560000
2026		Раннее большинство - 18	413100000	2	421362000
2027	Зрелость	Позднее большинство 18	413100000	2	421362000
2028		Позднее большинство 16	367200000	1	370872000
2029		Опоздавшие - 10	229500000	1	231795000
2030		Опоздавшие - 6	137700000	1	139077000

В качестве инструментов digital-маркетинга проекта для коммуникации с целевыми сегментами в данный момент используется веб-сайт, ведутся два аккаунта на русском и английском языках в социальной сети Instagram, бизнес-аккаунт Facebook. Представленные инструменты также будут использоваться в будущем, дополнительно планируется реализация коммерческих предложений потенциальным партнерам посредством онлайн-сервиса LinkedIn, а также ведение блога Яндекс.Дзен.

Для прогнозирования бюджета контекстной рекламы в Интернете был использован сервис Яндекс Директ. Регион контекстной рекламы был определен как Россия, сам прогноз осуществляется на 30 дней одновременно для пользователей с персональным компьютером, мобильным устройством и планшетом.

Оптимальным выбором на начальном этапе развития бизнеса будет размещение рекламы на сайте с большой проходимостью и небольшой стоимостью самой рекламы для увеличения узнаваемости самого бренда. Таким образом, бюджет на баннерную рекламу будет составлять 17500 руб/мес. с вероятностью перехода на сайт 166–250 заинтересованных предложением человек.

Однако при выборе контекстной и баннерной рекламы, особое внимание следует уделять качеству сайта и структурированной информации на нем.

Для прогнозирования бюджета на SMM стоит воспользоваться сервисом Facebook Ads Manager для таргетированной рекламы сайта стартапа WARMR в социальной сети Instagram. Исходя из определенного ранее портрета целевой аудитории, параметры поиска стоит настроить на мужчин и женщин старше 30 лет, работающих в сфере производства или бизнеса, в сфере малого и среднего предпринимательства, с интересами в предпринимательстве, новых технологиях. Средний охват по таким параметрам с дневным бюджетом в 1000 руб. составляет около 10 тыс. человек с возможными кликами на сайт в количестве 450 человек в день, автоматически определенным сервисом Ads Manager исходя из имеющейся статистики по аналогичным объявлениям других пользователей. Помимо привлечения аудитории на сайт, также рекомендуется запуск таргетированной рекламы для привлечения аудитории на страницу Instagram для повышения узнаваемости бренда. При аналогичных настройках, предполагаемые охваты за день равны 2 тыс. человек с отметками «Нравится» на странице в размере 40 штук. При настройке таргетированной рекламы стоит активировать ее только на будние дни, то есть 20 дней в течение месяца.

После проанализированных затрат на каждый канал коммуникации, в табл. 2 был составлен общий маркетинговый бюджет на месяц с метриками эффективности каждого отдельного канала.

Таблица 2

Итоговый маркетинговый бюджет на месяц

Канал коммуникации	Затраты, руб.	CTR, %
Контекстная реклама	5785	6
Баннерная реклама	17500	0,5
Таргетированная реклама, привлечение на сайт	20000	4,5
Таргетированная реклама, привлечение на аккаунт	20000	2
Email-рассылка	1750	3,5
Зарплата Интернет-маркетолога	80000	-
Зарплата SMM-специалиста	20000	-
Взносы в страховые фонды с зарплат	30000	-
Итого	195035	

Таким образом, общий маркетинговый бюджет на месяц составляет 195035 руб., однако изначально при недостаточном финансировании отдельные статьи бюджета могут исключаться или корректироваться в меньшую сторону. Напротив, при росте стартапа и выходе на самофинансирование, бюджет по необходимости может становиться больше.

В данной работе были проведены анализы объемов и динамики целевых рынков компании – мировых рынков текстиля и электронного текстиля, проведен конкурентный анализ, на основе определенной стратегии ценообразования был рассчитан потенциальный объем продаж на рынке Российской Федерации. Помимо этого, были выбраны наиболее актуальные стратегии охвата рынка – стратегии концентрированного и дифференцированного маркетинга. Потенциальные потребители технологии были разделены на три этапа, во время которых планируется выход на представленные сегменты. В заключение был рассчитан маркетинговый бюджет на реализацию выбранной стратегии, который при успешном первом раунде финансировании стартапа полностью покрывается средствами венчурного фонда.

Литература

- 1 Официальный отчет компании Grand View Research, Inc, 2021, Textile Market Size. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/textile-market>. Дата обращения: 16.04.2021.
- 2 Официальный отчет компании Grand View Research, Inc, 2019, Smart Textile Market Size. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-smart-textiles-industry>. Дата обращения: 15.04.2021.
- 3 Шаховская. Л.С. Ценообразование: учеб. Пособие // Шаховская Л.С., Чигиринская Н.В., Чигиринский Ю.Л. М: КНОРУС. 2016. С. 56–57.
- 4 Васильев В.В. Актуальные аспекты правового регулирования лицензионного договора. // Пробелы в Российском законодательстве. 2012. №6. С. 99–102.

Федоров Лев Николаевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М3402,

направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: Infedorov@yandex.ru

Хвастунов Александр Павлович

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

доцент (квалификационная категория "доцент практики"),

e-mail: alexandrhvastunov@gmail.com

УДК 004.75 + 004.8 + 004.9

**РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ИЗМЕНЕНИЙ В СЕРВИС РАНЖИРОВАНИЯ
ВИДЕО В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЯНДЕКС.ДЗЕН
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

Л.Н. Федоров

Научный руководитель – доцент А.П. Хвастунов

Работа выполнена в рамках темы ВКР «Разработка и проектирование изменений в сервис ранжирования видео в информационной системе Яндекс.Дзен на основе данных компьютерного зрения».

Аннотация

В работе рассмотрено применение методов компьютерного зрения в рекомендательной системе с целью улучшения качества ранжирования видео. Для этого была автоматизирована доставка данных от сервиса компьютерного зрения и произведен их анализ. Были спроектированы и внедрены изменения в существующие процессы, а также было проведено АВ-тестирование для того, чтобы сделать вывод о том, были ли изменения в ранжировании положительными.

Ключевые слова

Рекомендательные системы, компьютерное зрение, машинное обучение, видео, большие данные.

Яндекс.Дзен – это сервис, состоящий из издательской платформы, с помощью которой авторы могут создавать контент, а также ленты с рекомендациями для пользователей, через которую этот контент дистрибуцируется. Рекомендации для пользователей являются персональными, то есть лента выстраивается с учетом интересов пользователей. Так сервис старается улучшить пользовательский опыт, предлагая к просмотру только релевантный контент. Авторы же, благодаря этому, получают лояльную аудиторию. Это помогают сделать различные механизмы ранжирования, например, контентные модели и коллаборативная фильтрация. Первые в своих предсказаниях основываются на контенте (содержании) документа, вторые же используют историю пользователей с похожим поведением [1-4].

До недавнего времени в Дзене весь контент составляли текстовые документы, загруженные авторами платформы и сайтами. Один из новых форматов – это видео. Адаптация существующих коллаборативных моделей кажется простой задачей, а с

контентными моделями дела обстоят сложнее. До этого мы анализировали название и описание, которые у нового формата, конечно, тоже присутствуют, но основное содержание – это видеоряд. Поскольку создание новой модели является ресурсоемкой задачей, было принято решение воспользоваться наработками коллег из смежного сервиса. Одной из них является компьютерное зрение. Компьютерное зрение – это набор специальных алгоритмов, которые могут выделять объекты, их перемещения, а также производить классификацию, например, распознать появившуюся в кадре футболку или кошку. Так, с помощью этой информации можно предсказывать предпочтения пользователей и показывать им видео с соответствующим содержанием.

Целью данной работы является внедрение данных, поставляемых сервисом компьютерного зрения к каждому видео Дзена, для улучшения алгоритмов ранжирования видео (улучшение ключевых метрик сервиса).

Первое, что требовалось сделать – это анализ поставляемых данных, которые представляют из себя векторное представление каждого видео. С помощью инструмента Embedding Projector, входящего в состав Tensorboard от Tensorflow, была произведена визуализация данных. Этот инструмент позволил убедиться в том, что векторы схожих по тематике видео находятся близко друг от друга, а также объединяются в кластер. Так было проверено, что векторное представление видео хорошо описывает его содержимое. Также на основе данных были рассчитаны признаки для ранжирующей формулы. Ранжирующая формула – это модель машинного обучения, которая получает на вход список признаков и возвращает вещественное число для каждого видео, по которому можно произвести их ранжирование. С помощью внутреннего инструмента компании была произведена оценка признака на основе данных компьютерного зрения при использовании в ранжирующей формуле. Он получил “389 очков” (очки – это некоторая внутренняя метрика, отражающая значимость признака для формулы), что является хорошим результатом. По совокупности проведенных исследований было принято решение о внедрении изменений.

Доставка данных была реализована через внутреннюю разработку компании – Logbroker. Logbroker – это брокер сообщений, и ближайший к нему open-source аналог – это Kafka. Так, сервис компьютерного зрения выступает в роли писателя, а наш сервис в роли читателя. После того как данные получены, они записываются в хранилище, разбиваясь на два типа: те, которые получилось успешно привести к нужному виду, и те, при приведении которых возникли ошибки. Также вся статистика записывается в сервис метрик для того, чтобы можно было контролировать процесс, а также в случае нештатных ситуаций получать уведомления.

Размерность поставляемых векторов велика и их использование в исходном виде повлечет большие затраты ресурсов. Поэтому были опробованы два алгоритма сжатия:

– автоэнкодер – представляет из себя полносвязную нейронную сеть, состоящую из 3-х слоев, первый и последний слой имеют размерность N (исходная размерность), а средний слой размерность M (желаемая размерность после сжатия), что показано на рис. 1. Это позволит при обучении настроить функцию потерь на входные и выходные вектора, а при последующих предсказаниях можно брать состояния нейронов на среднем слое, что будет представлять из себя сжатый вектор;

– PCA (метод главных компонент) – принцип работы метода заключается в том, что переменные из заданного пространства переносятся в новое, при этом соблюдаются следующие свойства:

- переменные в новом пространстве вычисляются по следующей формуле:

$$pc_i = \alpha_{i1}x_1 + \dots + \alpha_{im}x_m + \dots + \alpha_{in}x_n;$$

- переменные не коррелируют друг с другом;
- при вычислении переменной максимизируется дисперсия.

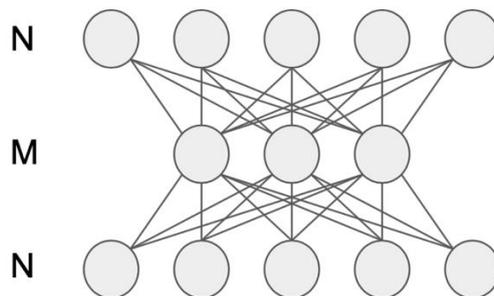


Рис. 1. Архитектура нейронной сети

Благодаря последнему свойству, мы можем отбросить последние переменные, так как при последовательном вычислении переменных наибольшую дисперсию будут иметь первые, а наименьшую последние. Таким образом произойдет уменьшение размерности, что изображено на рис. 2.

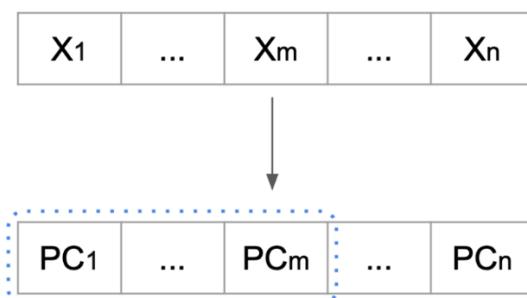


Рис. 2. Принцип сжатия с помощью PCA

При сравнении методов получились результаты, представленные в табл. 1, лучший результат показал PCA, поэтому он был выбран для дальнейшего использования.

Таблица 1

Сравнение методов сжатия

	Embedding Projector	Оценка признака
Исходные векторы	Близкие видео близки друг к другу. Видны кластера	389 очков
Автоэнкодер	Близкие видео близки друг к другу. Видны кластера	330 очков
PCA	Близкие видео близки друг к другу. Видны кластера	371 очко

В полученных данных есть внешний идентификатор видео, нам же потребуется соотнести его с внутренним, а также применить алгоритм, выбранный на предыдущем шаге. Для этого воспользуемся парадигмой MapReduce:

- на вход подается таблица с внутренними документами и данными полученными из LogBroker;
- с помощью операции map (операция, которая применяется к каждой строке таблицы и модифицирует ее заданным образом) из первой таблицы выделяются внутренний идентификатор документа и внешний идентификатор видео, а из второй внешний идентификатор видео и вектор компьютерного зрения;
- с помощью операции reduce (задается ключ, по которому будут сгруппированы строки) производится сопоставление идентификатора документа и вектора;
- с помощью операции map производится сжатие векторов и сохраняется новая таблица.

Для того, чтобы использовать полученную информацию в рекомендациях нам потребуется поместить ее в специальные структуры данных, которые в сериализованном виде доставляются на сервера и используются при запросах пользователей. Первая структура будет представлять из себя хэш-таблицу, где ключом является идентификатор видео, а значением – векторное представление, вторая же будет представлять из себя структуру, в основе которой лежит HNSW. В HNSW на вход можно подать векторное представление объекта, а на выход получить список из ближайших к заданному вектору объектов (соседей).

Также нам потребуется рассчитать профиль (вектор) пользователя. Для этого мы воспользуемся ALS – методом матричной факторизации. Он основан на том, что строится матрица взаимодействий (R) пользователей с объектами, которая изображена на рис. 3. На пересечении записывается результат взаимодействия (рейтинг), например, в классической задаче взаимодействия с текстовыми документами ставится 1, если пользователь кликнул и перешел по ссылке, а 0 - если был показ, но без клика. При этом пользователь и объект представлены вектором. Так, эту матрицу можно представить в виде произведения двух матриц: пользователей (U) и объектов (I). Заметим, что если зафиксировать матрицу U , то можно решить задачу линейной регрессии для матрицы I . После этого можно зафиксировать матрицу I и решить задачу для матрицы U . Так попеременно фиксируя матрицы мы обучаем модель и в результате получаем требуемые для нас векторы. Возвращаясь к нашей задаче, мы можем заметить, что матрица I уже посчитана (зафиксирована), таким образом нам просто требуется решить задачу линейной регрессии для матрицы U . В видео одной из ключевых метрик является время просмотра, которая уже используется в некоторых моделях и хорошо себя в них зарекомендовала, а также дала положительный эффект на этапе анализа признаков компьютерного зрения. Поэтому мы будем использовать эту метрику в качестве рейтинга.

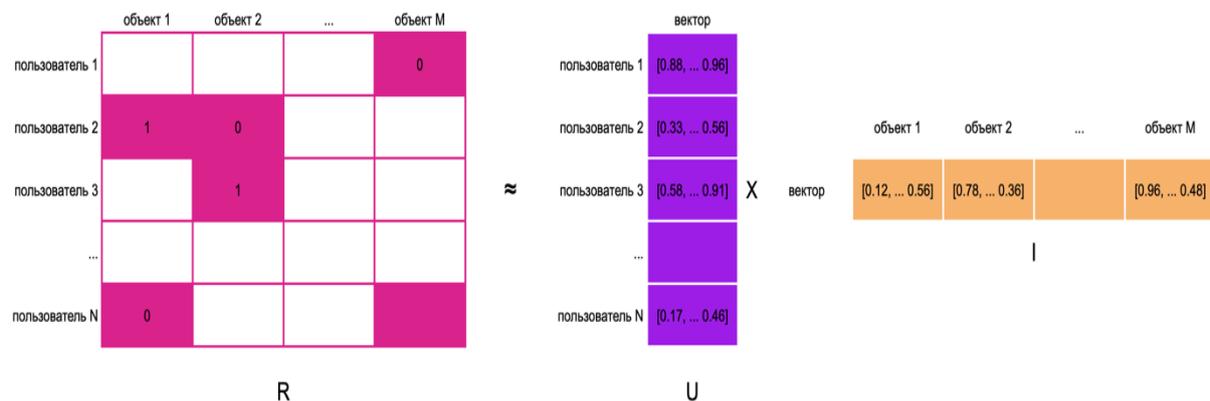


Рис. 3. Принцип работы ALS

Все вычисления, описанные выше, являются тяжелыми и производятся на серверах оффлайн контура, в основном с использованием запланированных задач. Далее будут описаны процессы, которые происходят в быстром контуре – отвечающем на запросы пользователя.

Так как наша контентная база содержит огромное количество видео, для всех из них мы не можем рассчитать факторы, применить формулы, чтобы узнать значения целевой функции и провести полное ранжирование. Поэтому существуют механизмы, которые отбирают заведомо релевантные пользователю видео и уже они ранжируются, а лучшие попадают в ленту пользователю. Данные для одного и были подготовлены в оффлайн контуре – подав на вход HNSW профиль пользователя, получаем список ближайших (наиболее похожих) к нему видео. Следующим шагом было добавление нового признака, который считается как косинус угла между вектором пользователя и вектором видео, и переобучение формулы. Это все изменения, которые требуется сделать.

Чтобы можно было включить ранжирование с использованием данных от компьютерного зрения, результатов, полученных при анализе, недостаточно. Алгоритмы могут работать корректно, но это не отражает того, какое влияние они окажут на ранжирование, а как следствие на пользователей. Поэтому для изменения ранжирования мы проводим АВ-тестирование. АВ-тестирование – это эксперимент, в котором выделяются две группы А и В с равным количеством пользователей (например, по 5% от всех пользователей в каждой группе). В одной из групп (А) используется текущий алгоритм, в другой (В) – новый (экспериментальный). Эксперимент длится некоторое время – в нашем случае 7 дней для накопления достаточной истории. Далее для каждой из этих групп рассчитываются метрики (например, количество кликов, лайков, времени ответа рантайм контура и т.д.). При сравнении метрик группы В относительно метрик группы А мы уже можем говорить об улучшении или ухудшении. В рамках нашего эксперимента менялись ключевые метрики видео представленные в табл. 2.

Таблица 2

Список изменившихся в эксперименте метрик

Метрика	Изменение
Время просмотра	+6,47%
Просмотры до конца	+27,43%
Клики	+1,68%
Подписки	+4,66%
Лайки	+3,71%
Дизлайки	-5,48%

Полученные результаты нас устраивают, эксперимент можно считать удачным и конфигурацию группы В применять на 100% пользователей. После этого был заведен обратный эксперимент – в нем используются те же группы пользователей А и В, его можно оставить на более продолжительное время, таким образом производится валидация результатов предыдущего эксперимента. В обратном эксперименте метрики менялись также как и в прямом, что подтверждает его успешность.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были спроектированы и внедрены изменения в механизмы ранжирования видео на основе данных компьютерного зрения. Для этого была автоматизирована доставка и сжатие данных. По поставляемым векторным представлениям видео были построены векторные представления пользователей. Для использования их в ранжировании был реализован механизм отбора кандидатов с использованием HNSW, расчет признаков, а также

переобучена ранжирующая формула. В проведенном эксперименте наблюдалось улучшение ключевые метрики видео и не наблюдалось падение метрик производительности. В результате новый механизм был внедрен, а ранжирование видео и платформы в целом было изменено в лучшую сторону.

Литература

1. Как работает метод главных компонент (PCA) на простом примере [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/304214/> (дата обращения: 01.05.2021).
2. Автоэнкодеры: типы архитектур и применение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/avtojenkoder-tipy-arhitektur/> (дата обращения: 01.05.2021).
3. Учебное пособие Tensorflow [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/tutorials> (дата обращения: 01.05.2021).
4. Документация CatBoost [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://catboost.ai/docs>, свободный. (дата обращения: 01.05.2021).

Чубова Софья Дмитриевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т3450,

направление подготовки: 18.03.02 – Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,

e-mail: sonia_khb@mail.ru

Динкелакер Наталья Владимировна

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

преподаватель,

e-mail: nvdinkelaker@mail.ru

УДК 504.53

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОХИМИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЧВ В ДОЛИНАХ МАЛЫХ
РЕК СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

С.Д. Чубова

Научный руководитель – преподаватель Н.В. Динкелакер

Аннотация

В данной работе рассматривается влияние вырубок разных временных периодов на почвы бассейнов малых рек Онежского полуострова. Материалы для исследования были собраны во время экспедиции 2020 года на Онежский полуостров. Исследования проводились в лаборатории экомониторинга университета ИТМО на содержания тяжелых металлов, а также на определение актуальной и обменной кислотности почв.

Ключевые слова

Онежский полуостров, почвы, лесные рубки, содержание тяжелых металлов, актуальная кислотность, обменная кислотность.

В настоящее время, леса европейского севера являются неотъемлемой частью лесозаготовки в РФ. В период с 2009 по 2013 г. в Архангельской области было пройдено концентрированными сплошными рубками более 26 тыс. га лесов (до 50 га одновременно) [1]. Активное лесопользование способствует быстрой смене исходных естественных лесов малоценными породами, а также нарушению в экосистемах: эрозия почвы, снижение биоразнообразия, закисление почвы, смыв почв в водотоки [2]. Как правило, рубке подвержены ненарушенные и старовозрастные (150 -300 лет). На Онежском полуострове за пределами национального парка «Онежское поморье» леса являются эксплуатационными, поэтому в последние годы подвержены интенсивным рубкам (рис. 1) [3].

Также, во время исследования удалось создать диаграмму, которая наглядно показывает, как увеличивались рубки в последние годы на Онежском полуострове (рис. 2). Вырубки первого года составляют более 80 процентов от всех рубок в течение двадцати лет. Стоит отметить, что диаграмма составлена на основании данных исследования, то есть обрубленности 10 малых водотоков Онежского полуострова.

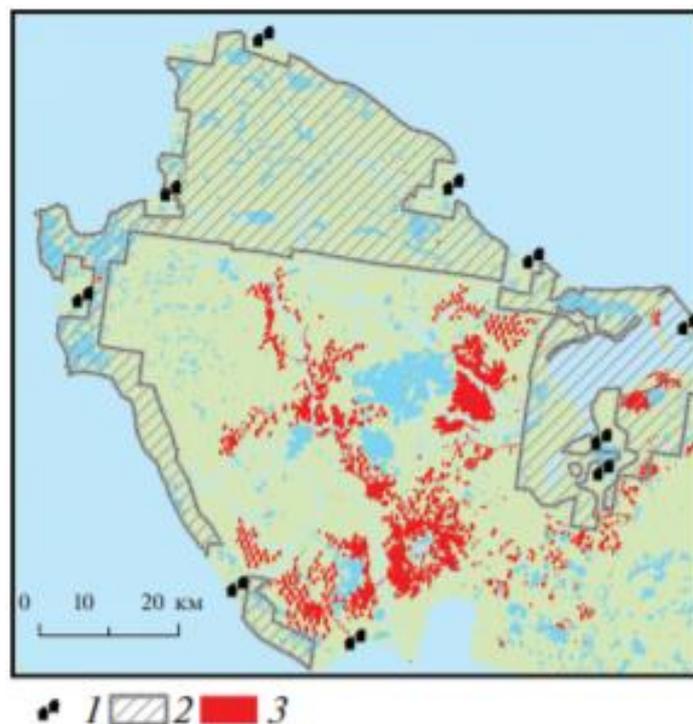


Рис. 1. Карта-схема расположения вырубок 2000-2018 года на Онежском полуострове (1 – населенные пункты, 2 – территория «Онежского поморья», 3 – расположение рубок)

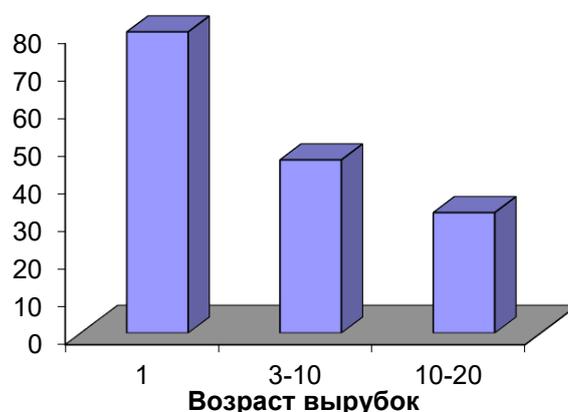


Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения интенсивности вырубок от временного диапазона

Исследование особенностей почв Онежского полуострова основано на проведении лабораторных анализов для почв в лаборатории экологического мониторинга ИТМО. Материалами для исследования являются пробы почв, собранных участниками экспедиции в августе 2020 года с территории Онежского полуострова. Экспедиция проходила по северной части полуострова и протяженность маршрута составила более 130 километров. В состав экспедиции входили высококвалифицированные сотрудники национального парка «Онежское Поморье». Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 58595–2019.

Исследование негативного воздействия рубок на почвы Онежского полуострова было организовано национальным парком «Онежское Поморье». В зону исследуемых объектов вошли 10 малых водотоков полуострова в Архангельской области, затронутых рубками давностью от 1 до 10 лет, и контрольный водоток, не имеющий нарушений леса в водосборном бассейне:

- р. Лопшеньга,
- р. Яреньга,
- р. Уна,
- р. Колода,
- ручей Березовый,
- р. Пыжма,
- р. Вежма,
- р. Кумжевая,
- ручей 1 б/н в районе Летние Золотицы,
- ручей 2 б/н в районе Летние Золотицы.

Водотоки в зоне исследования это: 1 река с ненарушенными рубками водосбором (р. Лопшеньга) и реки с притоками 1 и 2 порядка с водосборными территориями, нарушенными рубками различной давности.

В ходе исследования проводились анализы на содержание тяжелых металлов в почвах различных экосистем Онежского полуострова, а также определена обменная и актуальная кислотность почвенных вытяжек. Стоит упомянуть, что пробы были собраны в водоохраных зонах рек и ручьев полуострова, то есть, на расстоянии от 50 до 100 метров от водотоков.

Количественное определение содержания тяжелых металлов (ТМ) в образцах почв проводилось рентген-флуоресцентным методом с использованием спектрометра «Спектроскан Макс-G» (ГОСТ 33850–2016 «Почвы. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии»).

Для определения кислотности почвы было использовано 2 методики, то есть определяли актуальную и обменную кислотность почвы. Необходимо было приготовить водную и солевую вытяжки. Сам анализ (актуальная кислотность), то есть измерение pH водных вытяжек почвы проводился в соответствии с ГОСТ 26423–85, а определение pH солевой вытяжки (обменная кислотность) осуществлялось по ГОСТ 26483–85.

Что касается полученных результатов, то они представлены ниже на рис. 3. Суммарное содержание тяжелых металлов варьируется незначительно в разных речных бассейнах. Наиболее низкое содержание отмечается в ручьях, впадающих в реку Лопшеньга в месте обитания жемчужницы европейской, также эта река не имеет антропогенных нарушений лесного покрова и принята как контрольный водоток. Наиболее высокие значения – в ручьях на вырубках в районе озера Летние Золотицы (рис. 3).

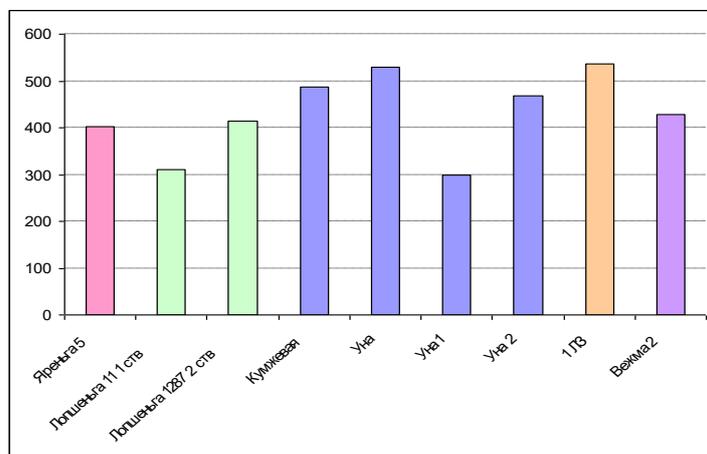


Рис. 3. Суммарное содержание ТМ в почвах в водосборных бассейнах рек Онежского полуострова

Полученные результаты по кислотности почв показывают, что средний показатель pH водных почвенных вытяжек (актуальная кислотность) составляет 5,2 при наименьшем показателе 4,1 и наибольшем 5,6. Средний показатель pH солевой вытяжки (обменная кислотность) составляет 4,07.

В целом почвы Онежского полуострова имеют кислую и в некоторых случаях даже сильнокислую реакцию среды. В общем, для почв Архангельской области данные показатели являются предсказуемыми, так как высокобонитетные еловые и сосновые леса растут зачастую на подзолистых и дерново-подзолистых почвах, которые имеют кислую или сильнокислую реакцию среды (pH_{вод} 4—5 и ниже) [4, 5].

По результатам исследования были составлены корреляции между накоплением тяжелых металлов в прибрежных почвах бассейнов рек Онежского полуострова и долей площадей вырубок. Результаты представлены на рис. 4.

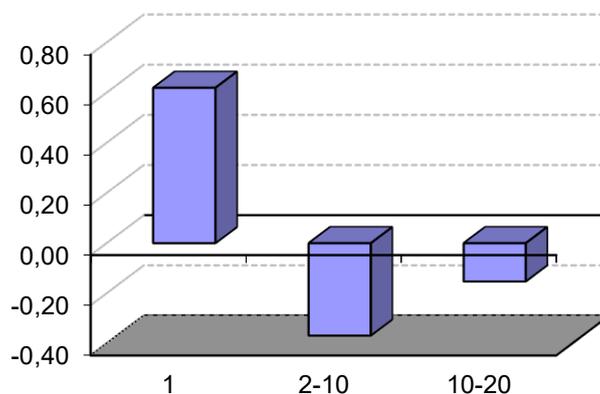


Рис. 4. Корреляция между накоплением ТМ в почвах и долей площадей лесных вырубок в водосборных бассейнах рек Онежского полуострова

Главный вывод, который можно сделать исходя из данных рис. 4 зависимость между суммарным накоплением тяжелых металлов в почве и вырубками лесного покрова наблюдается только в первый год, и то, зависимость составляет чуть больше 55%. В остальные временные периоды вырубок выраженных зависимостей установить не удалось.

Положительных корреляций между степенью кислотности почв и долей площадей лесных вырубок не было замечено (рис. 5). Самый высокий коэффициент корреляции установлен для pH водных вытяжек, он равен 0,188 в то время, как самый высокий коэффициент корреляции для pH солевых вытяжек равен 0,006. Можно отметить, что для вырубок 10 – 20 летней давности заметна обратная зависимость, в большей степени для pH водных вытяжек.

В ходе данного исследования были определены экохимические характеристики почв малых водотоков Онежского полуострова. Было измерено содержание тяжелых металлов в почве, а также была определена кислотность почв. Почвы были отобраны в местах водоохраных зон, где сильно выражены изменения в реках, имеющих в водосборном бассейне участки вырубок текущего года. Было выявлено, что для данных почв характерно повышенное содержания ТМ, преимущественно за счет свинца, никеля и цинка.

Следует отметить, что определенная во время исследования кислотность почв является нормальной для типов почв, характерных для Онежского полуострова. Высокобонитетные еловые леса преимущественно растут в районах кислых почв. В большинстве случаев характерна кислая и сильнокислая реакция среды. Также, стоит упомянуть, что pH солевых вытяжек во всех пробах почв намного ниже pH водных вытяжек.

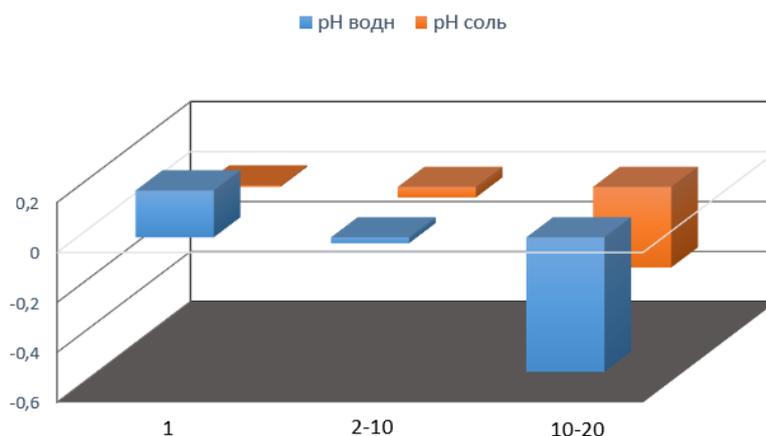


Рис. 5. Корреляции между кислотностью почв в водных и солевых вытяжках и долей площадей лесных вырубок в водосборных бассейнах рек Онежского полуострова

Также, были установлены коэффициенты корреляции между накоплением тяжелых металлов и временем сплошных рубок. Было установлено, что в первый год прослеживается хорошо выраженная зависимость между указанными величинами, что не отмечается в последующие годы. Возможно, это обусловлено тем, что со второго года начинается активное восстановление затронутого рубками лесного покрова.

Что касается корреляции между уровнем кислотности и временем вырубок, то было выявлено, что с течением времени почвы защелачиваются.

Основными негативными результатами воздействия лесохозяйственной инфраструктуры (мостов, переездов, временных и постоянных дорог) являются замедление течения, смыв почвы и поступление загрязнений от техники. Для снижения негативного воздействия лесопользования на реки Онежского полуострова желательно исключить проведение сплошных рубок в водосборных бассейнах. При невозможности такого исключения необходимо увеличение удаленности вырубок от русел основных водотоков.

Литература

1. Ильинцев А.С., Алейников А.А. Динамика лесного покрова северотаежного района в пределах Архангельской области по данным Global Forest Change // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции. Москва, 20–22 апреля 2016 г. М.: ЦЭПЛ РАН. 2016. С. 173–178.
2. Dymov A.A. The Impact of Clearcutting in Boreal Forests of Russia on Soils: A Review // Eurasian Soil Sci. 2017. V. 50. № 7. P. 780–790.
3. Браславская Т.Ю., Колбовский Е.Ю., Есипова Е.С., Коротков В.Н., Немчинова А.В., Чуракова Е.Ю., Козыкин А.В., Кулясова А.А., Алейников А.А. Ландшафтно-бассейновый подход в экологической оценке малонарушенных лесов Онежского полуострова // Известия РАН. 2020. сер. Географическая. Т.84. № 6. С. 905-910.
4. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2017 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://eco29.ru/doklad/Doklad_2017.pdf (дата обращения: 27.04.2021).
5. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области в 2019 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://29.rospotrebnadzor.ru/documents/10156/3675c920-8b7f-4094-99d8-cbb9e3464c64> (дата обращения: 27.04.2021).

**УЧАСТНИКИ КОНКУРСА
НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ
ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
БАКАЛАВРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»**

Адам Юрий Александрович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V3401,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: iuriiadam@yandex.ru

Наседкин Борис Александрович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

научный сотрудник,

e-mail: b.nasedkin@bk.ru

УДК 535.14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ю.А. Адам

Научный руководитель – научный сотрудник Б.А. Наседкин

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (Паспорт № 2019-0903).

Аннотация

Технология фантомных изображений была представлена более 25 лет назад и с тех пор нашла свое применение во многих сферах, связанных с получением изображений в сильно зашумленных каналах, а также в процессах передачи информации. В настоящее время предложено множество различных методов, направленных на улучшение качества получаемых изображений и упрощение оптической схемы. Тем не менее, скорость восстановления изображений всегда оставалась серьезной проблемой для широкого практического применения данной технологии. Таким образом, данная работа направлена на увеличение скорости восстановления изображений при помощи поиска оптимальных параметров системы и использования новых методов.

Ключевые слова

Вычислительные фантомные изображения, алгоритм бегущей строки, спекл-картина, корреляционная функция, соотношение сигнал-шум.

Фантомные изображения (ФИ) – это специальная техника визуализации, где для извлечения информации о неизвестном объекте используется функция корреляция между двумя пучками излучения. Техника ФИ на псевдотепловом источнике [1] основывается на генерации случайной спекл-структуры с помощью рассеивающей среды, после которой полученный пучок разделяется на светоделителе на две части. Первая часть попадает в зондирующее плечо, где направляется на исследуемый объект и далее на собирающий детектор, который регистрирует только суммарную прошедшую интенсивность излучения и не содержит информацию о пространственной структуре объекта. Второй пучок направляется в воспроизводящее плечо, где, никак не провзаимодействовав с объектом, регистрируется многопиксельной камерой. В результате, применив функцию корреляции к полученным данным происходит восстановление изображения объекта. На сегодняшний день одним из основных

ограничений данной технологии остается относительно медленная скорость восстановления изображения. Данная работа направлена на исследование предложенных ранее техник вычислительных ФИ (ВФИ) [2], дифференциальных ФИ (ДФИ) [3] и быстрых вычислительных ФИ (БВФИ) [4] и определение их оптимальных параметров с целью ускорения восстановления изображений.

Для выполнения поставленной цели было проведено численное моделирование указанных техник ФИ. Разработанный алгоритм основан на ВФИ, особенность которых заключается в использовании пространственного модулятора света (англ. SLM – spatial light modulator) для генерации случайной спекл-структуры, что также позволяет обходиться без воспроизводящего плеча, заменив его на «виртуальный», и, таким образом, рассчитывать распространение излучения в нем на компьютере. Однако, в отличие от оригинальной работы в созданной модели был сделан ряд существенных допущений. Во-первых, было рассмотрено приближение плоской монохроматической волны, а во-вторых, в разработанном алгоритме не использовался пропагатор для расчета распространения света в воспроизводящем плече. Вместо этого спекл-структура создавалась непосредственно в плоскости многопиксельной камеры, и, как следствие, в плоскости объекта, так как реальная и «виртуальная» структуры должны совпадать. Само изображение восстанавливалось с помощью функции корреляции флуктуаций интенсивностей:

$$G(x, y) = \langle S_B \cdot I(x, y) \rangle - \langle S_B \rangle \langle I(x, y) \rangle, \quad (1)$$

где $S_B = \sum_{x+y} T(x, y) \cdot I(x, y)$ – интенсивность собирающего детектора, $T(x, y)$ – маска

объекта, $I(x, y)$ – сгенерированная спекл-структура, $\langle \cdot \rangle = \frac{1}{N} \sum_r$ – усреднение по N итерациям. Далее упомянутые техники ФИ будут исследованы на основе данного алгоритма. Особенности каждой рассмотрены ниже.

Для увеличения скорости восстановления изображения была предложена техника БВФИ. Ее особенность заключается в замене случайной спекл структуры на сканирующую строку/столбец, что позволяет сократить число итераций до разрешения восстановленного изображения, однако это требует усложнения алгоритма постобработки. В первую очередь по аналогии с ВФИ происходит восстановление изображения отдельно для сканирующей строки $G_R(x, y)$ и столбца $G_C(x, y)$ по формуле (1). Далее у полученных изображений берется вертикальное сечение для строки $G_R^{(1)}(1, y) = G_R(i, y)$, где $i \in [1, n]$, и горизонтальное для столбца $G_C^{(1)}(x, 1) = G_C(x, j)$, где $j \in [1, m]$, а $m \times n$ – разрешение изображения. В заключение, конечное изображение восстанавливается по формуле (2)

$$G(x, y) = G_R^{(1)}(1, y) \cdot G_C^{(1)}(x, 1). \quad (2)$$

Разработанный алгоритм позволяет воспроизвести все указанные шаги с учетом рассмотренных ранее особенностей.

Еще одной техникой, направленной на ускорение восстановления изображений, стали ДФИ. Ее принцип и алгоритм ничем не отличается от классических ФИ на псевдотеплом источнике, однако она использует видоизменённую функцию корреляции, представленной формулой (3)

$$G(x, y) = \langle S_B \cdot I(x, y) \rangle - \frac{\langle S_B \rangle}{\langle S_I \rangle} \langle S_I \cdot I(x, y) \rangle, \quad (3)$$

где S_I – общая суммарная интенсивность спекл-структуры. Таким образом, данную технику можно также исследовать с помощью разработанной модели с учетом ее особенности.

Тем не менее, как будет показано позже в полученных результатах, данные техники имеют ряд существенных ограничений на форму и структуру исследуемого объекта. Например, техника БВФИ применима лишь к объектам прямоугольной формы, тогда как остальные восстанавливает неполностью или искаженно. Для решения указанной проблемы в ходе данной работы была предложена новая техника ФИ, которая была названа комбинированные вычислительные ФИ (КВФИ). Ее идея заключается в объединении изображений полученных с помощью спекл-структур $G_{sp}(x, y)$ по формуле (1) и сканирующих строк/столбцов $G_{r-c}(x, y)$ по формуле (2) в различных соотношениях

$$G(x, y) = G_{sp}(x, y) + k \cdot G_{r-c}(x, y), \quad (4)$$

где $k \in [0, 1]$ – нормировочный коэффициент. В ходе предварительного численного расчета было установлено, что его оптимальное значение равняется 0.5.

С целью сравнение рассмотренных техник был произведен расчет таких параметров, как соотношение сигнал-шум (ССШ) по формуле (5) и контрастности по формуле (6)

$$SNR = 20 \cdot \lg \left(\frac{A_s}{A_n} \right), \quad (5)$$

$$C = \frac{\langle I_o \rangle - \langle I_b \rangle}{\langle I_o \rangle}, \quad (6)$$

где $A_{s,n}$ – среднеквадратичное значение сигнала и шума, $I_{o,b}$ – среднее значение интенсивностей объекта и фона соответственно.

Для подтверждения результатов численного моделирования была собрана экспериментальная установка, оптическая схема которой представлена на рис. 1. В качестве источника был использован He-Ne лазер с длиной волны 633 нм, пучок от которого направлялся на телескопическую систему для увеличения поперечной площади излучения и создания псевдоплоской волны. Далее излучение проходило через светоделитель, а затем попадало на SLM (HOLOEYE, LETO-3), где испытывало фазовую модуляцию. Его разрешение составило 1920 на 1080 пикселей с частотой обновления 60 Гц. Соответствующие фазовые маски были получены с помощью алгоритма Герхберга–Сакстона [5] из заранее созданных масок пространственного распределения интенсивностей (спекл-структур или строк/столбцов) в плоскости объекта. От SLM излучение вновь направлялось на светоделитель, далее на объект, в плоскости которого формировалось необходимое распределение интенсивностей, и в заключение на систему регистрации. В собранной установке вместо собирающего детектора была использована камера (VS ЭВС, VAC-136) с разрешением 800 на 600 пикселей и перестраиваемой частотой от 8 до 64 Гц, которая выполняла функцию собирающего детектора путем сложения значений интенсивностей каждого пикселя, а

также позволяла контролировать получаемое распределение интенсивностей в плоскости объекта. Алгоритм постобработки данной оптической схемы в точности повторяет ранее рассмотренную математическую модель, только теперь интенсивность виртуального собирающего детектора заменена на суммарную интенсивность используемой камеры.

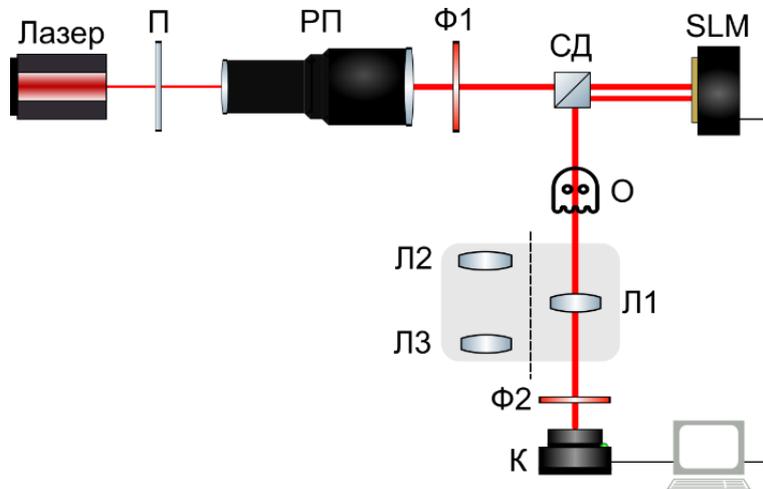


Рис. 1. Оптическая схема экспериментальной установки, где П – поляризатор, РП – расширитель пучка (или телескопическая система), Ф – фильтр, СД – светоделитель, О – объект, Л – линза, К – камера

В качестве объектов моделирования были использованы щель различной ширины и латинские буквы аббревиатуры нашего университета. Их размер составил 4 на 4 мм. В первую очередь было исследовано влияние размеров спекл на процесс восстановления изображения. Для этого был введен такой параметр, как размерное соотношение представленный формулой (7)

$$DR = \frac{\delta_{sp}}{\delta_o}, \quad (7)$$

где δ_{sp} – размер спекла, а δ_o – минимальная различимая ширина объекта. Например, для щели эта будет просто ее ширина. Полученные данные представлены на рис. 2. По ним можно увидеть, что наилучшее восстановление изображения происходит при значении размерного соотношения приближенном к единице. Здесь важно отметить, что при значении данного соотношения меньше единицы изображение все равно будет восстановлено, тогда как при превышении данного значения восстановленное изображение будет расплывчатым и искаженным.

Далее была исследована техника ДФИ. Полученные результаты представлены на рис. 3. Если объект имеет простую форму и однородный коэффициент пропускания, то разница с техникой ВФИ незначительна. Однако, если объект обладает более сложной структурой и неоднородным коэффициентом пропускания, например картина Леонардо да Винчи «Мона Лиза», то разница указанных техник становится гораздо значительней. В итоге, ДФИ при исследовании сложного объекта восстанавливают его изображение в 1.25 раз быстрее чем ВФИ. Стоит упомянуть, что данные результаты получены только с помощью численного моделирования.

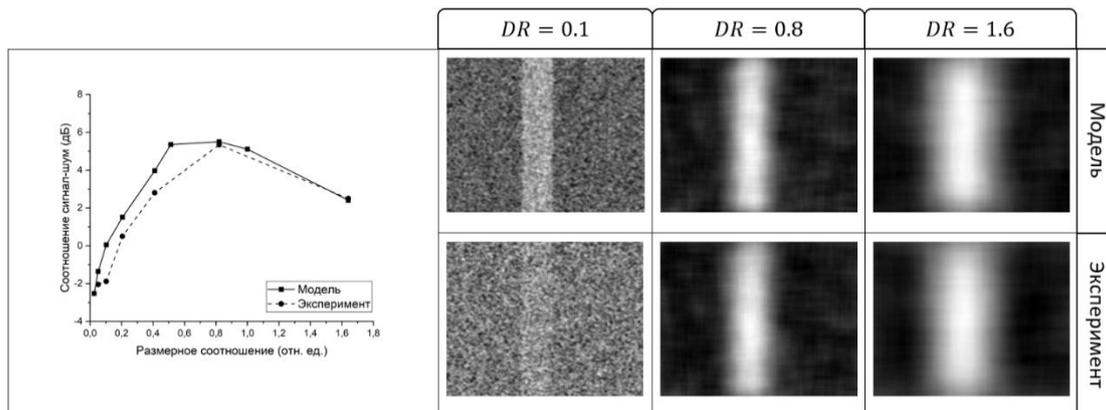


Рис. 2. Зависимость ССШ от размерного соотношения и восстановленные изображения щели для численного моделирования и эксперимента

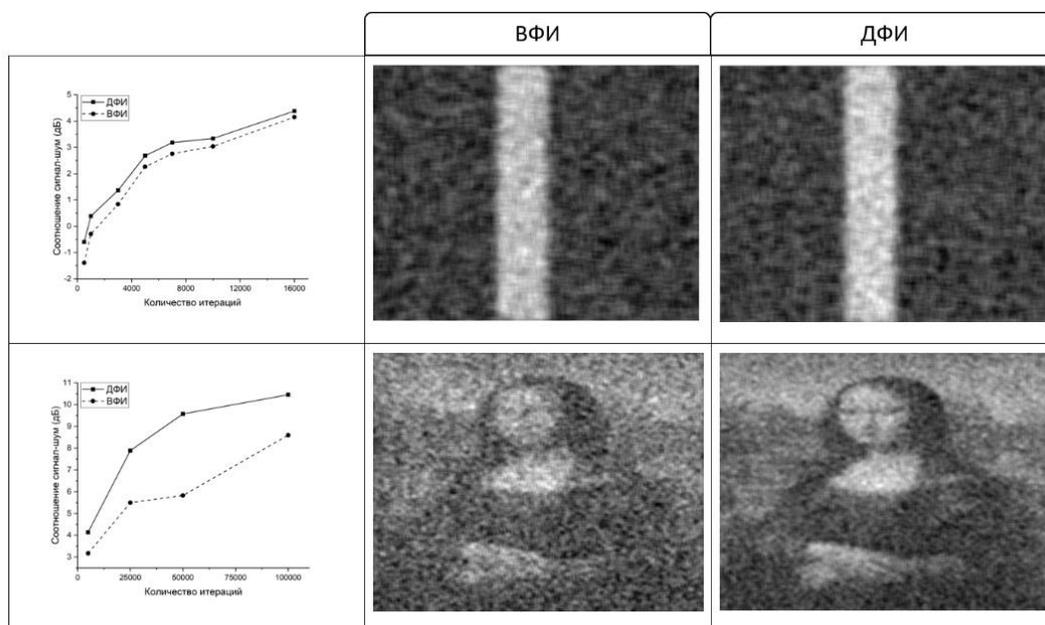


Рис. 3 Зависимость ССШ от количества итераций для щели и «Мона Лизы» при использовании техник ДФИ и ВФИ и их восстановленные изображения при 10 000 и 25 000 итераций соответственно

Заключительным шагом стало исследование техники БВФИ. Как показано на рис. 4, данный метод восстанавливает изображение быстрее чем техника обычных ВФИ на спекл-структурах. Однако БВФИ применимы лишь к объектам прямоугольной формы и не подходят для широкого практического применения. Как было сказано ранее, для решения данной проблемы была предложена техника КВФИ, сравнение которой с другими представлено на рис. 5. Из полученных результатов можно сделать вывод, что техника КВФИ, с одной стороны, смогла полностью восстановить все формы объектов в отличие от БВФИ, а с другой стороны, уровень шума у нее оказался несколько ниже чем у ВФИ, что также подтверждается результатами приведенными на рис. 6. Из них также видно, что разность ССШ для двух техник остается практически неизменной и составляет 1.5 раза, тогда как разность контрастности уменьшается от 0.4 до 0.1 при увеличении числа итераций. Это свидетельствует о том, что предложенный метод наиболее эффективен при относительно небольшом числе итераций.

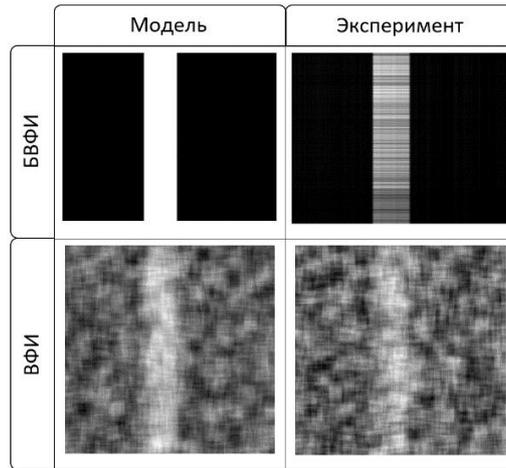


Рис. 4 Восстановленные изображения щели при использовании техник БВФИ и ВФИ при 516 итерациях

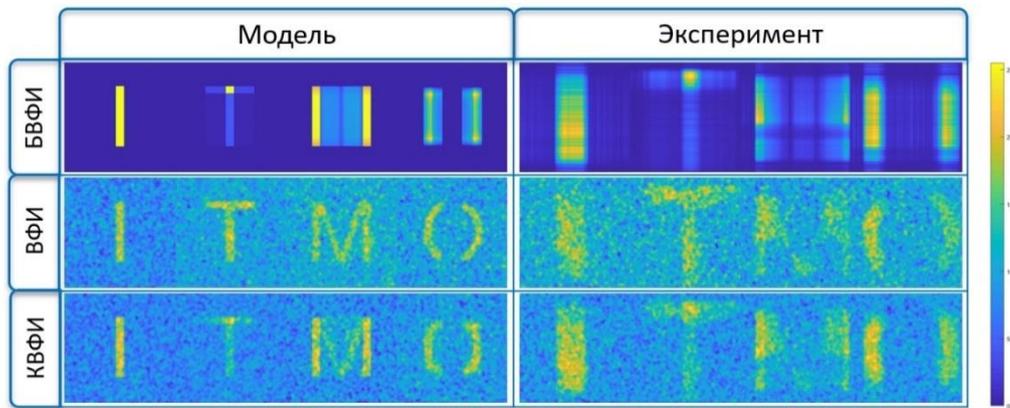


Рис. 5 Сравнение техник БВФИ, ВФИ и КВФИ на примере восстановленных изображений букв «I», «T», «M» и «O»

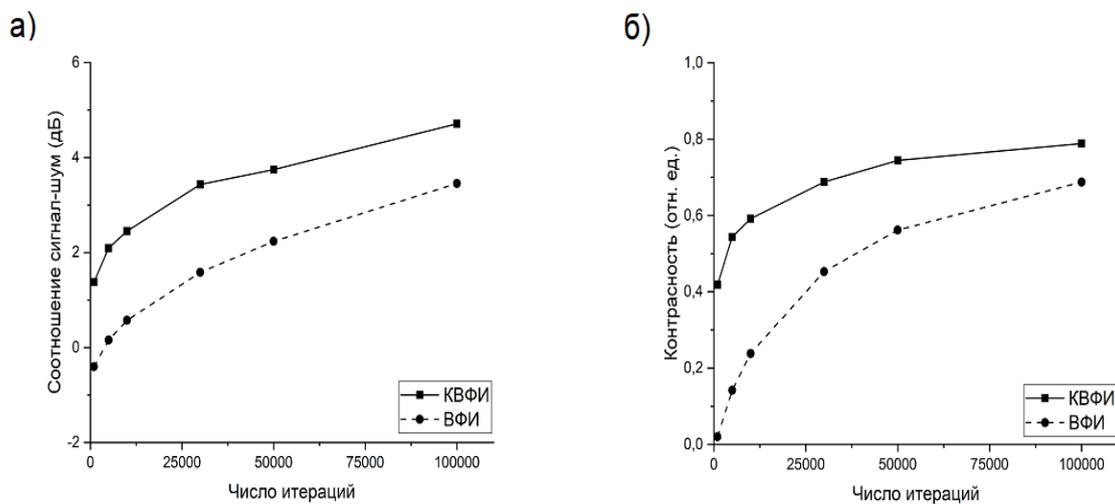


Рис. 6. Зависимость ССШ (а) и контрастности (б) от числа итераций для техник КВФИ и ВФИ

В заключение, была разработана численная модель и осуществлена экспериментальная реализация рассмотренных схем ФИ. Определены их оптимальные

параметры для ускоренного восстановления изображения. Также в ходе данной работы была предложена новая техника ФИ, которая объединяет в себе преимущества как спекл-структур, так и сканирующих строк/столбцов, и восстанавливает изображение в 1.5 раза быстрее чем классическая схема на псевдотепловом источнике.

Литература

1. Gatti A. et al. Correlated imaging, quantum and classical //Physical Review A. 2004. Т. 70. №. 1. С. 013802.
2. Bromberg Y., Katz O., Silberberg Y. Ghost imaging with a single detector //Physical Review A. 2009. Т. 79. №. 5. С. 053840.
3. Ferri F. et al. Differential ghost imaging //Physical review letters. 2010. Т. 104. №. 25. С. 253603.
4. Rajabi-Ghaleh S. et al. Ultra-fast vivid computational ghost imaging of still and moving objects by sweeping random patterns //Journal of Optics. 2020. Т. 22. №. 9. С. 095701.
5. Gerchberg R.W. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures //Optik. 1972. Т. 35. С. 237-246.

Алексеев Павел Сергеевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U3494,

направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика,

e-mail: alex12071999@gmail.com

Мурашова Светлана Витальевна

Год рождения: 1967

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

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

e-mail: fpp5@list.ru

УДК 336.763

ФИНАНСИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ ФОНДОВОГО РЫНКА

П.С. Алексеев

Научный руководитель –к.э.н., доцент С.В. Мурашова

Аннотация

В данной работе были изучены инструменты фондового рынка по привлечению внешнего финансирования инновационными компаниями. Также были раскрыты понятие, сущность и механизм реализации первичного публичного размещения акций компании. В ходе работы проанализированы современные механизмы вывода российских инновационных компаний на фондовый рынок и определена оптимальная траектория их вывода. В заключении были определены проблемы финансирования посредством инструментов фондового рынка и сформулированы рекомендации по повышению эффективности по привлечению финансирования на фондовом рынке для инновационных компаний.

Ключевые слова

Первичное публичное размещение, фондовый рынок, финансирование, инновации, инновационные компании.

В сложной бизнес-среде компании ищут новые формы успешной деятельности, где инновации становятся одним из важнейших факторов успеха для развития бизнеса. Однако инновационная деятельность может повлиять на финансовые показатели компании двумя способами: за счет увеличения расходов на необходимые инвестиции и увеличения доходов за счет притока новых инновационных продуктов. Инновации часто требуют больших денежных вложений на начальном этапе, поэтому, если у компании нет свободных средств, необходимо привлечение внешних источников финансирования.

На текущий момент у компаний есть множество различных путей привлечения внешнего финансирования. Все пути имеют свои сильные и слабые стороны. Все чаще инновационные компании склоняются к привлечению внешнего финансирования с помощью первичного публичного размещения (IPO). При IPO частная компания размещает свои акции на фондовой бирже, делая их доступными для покупки заинтересованным миноритарным и мажоритарным инвесторам.

В тоже время процесс IPO сложный и трудоемкий процесс, который требует больших финансовых вложений.

Актуальность темы обусловлена тем, что международный рынок стремительно восстанавливается после кризиса 2020 года. В то же время заметен отток финансовых средств из фондов и инструментов фиксированной доходности со стороны институциональных инвесторов. Наблюдается переход денежных средств из частного капитала и накоплений физических лиц на биржу. Данные факторы значительно увеличивают привлекательность финансирования инновационных компаний с помощью инструментов фондового рынка.

Несмотря на благоприятные условия на рынке, привлечение финансирования с помощью инструментов фондового рынка остается достаточно сложным и рискованным процессом. Выход на биржу может осуществляться разными способами, от выбора которых напрямую зависит дальнейшее финансовое состояние и развитие компании.

Привлечение средств с помощью акционерного финансирования для инновационных компаний позволяет:

- 1) получить достаточно большой объем средств, необходимый для проведения НИОКР и адаптации инновационного продукта под условия рынка,
- 2) не выплачивать дивиденды при отсутствии прибыли (если такое решение было поддержано большинством акционеров), что позволяет компании сконцентрироваться на решении возникших проблем,
- 3) не задумываться о возврате средств, так как акции не имеют срока годности, а для акционерного финансирования не характерен принцип возвратности, то есть привлекается бессрочный капитал, который увеличивает собственный капитал компании, что улучшает ее финансовое состояние.

Несмотря на все плюсы, привлечение финансирования через акции для молодой компании может оказаться неудачным, так как ее акции могут быть неинтересны инвесторам, которые будут вкладывать свои средства в более надежные и зрелые компании [1].

После размещения ценных бумаг компания меняет свою форму с частной на публичную, что также добавляет обязанности. Например, компании обязательно нужно представлять отчет о своей деятельности, от полноты и ясности которого возможен дополнительный приток инвесторов и наоборот. Также добавляются расходы на поддержание бумаг на бирже.

При выпуске ценных бумаг контроль над компанией ослабевает. Рынок моментально реагирует на любое заявление, сделанное от лица компании или ее основных членов, что может негативно отразиться при озвучивании планов компании о стратегическом изменении направления или внедрении рискованных инноваций. Оценка компании сильно зависит от ситуации на рынках [2].

Но у изменения формы компании на публичную также имеются и свои плюсы:

- компания может дозированно привлекать необходимые финансовые средства, выпуская на рынок необходимое количество акций.
- повышение капитализации компании,
- повышение интереса к компании,
- усиление бренда,
- получение адекватной рыночной оценки.

Из-за трудной экономической ситуации, связанной с пандемией COVID-19, значительно увеличилась активность инвесторов на фондовых рынках по всему миру, что позволило повысить привлекательность финансирования с помощью инструментов фондового рынка для компаний. Подтверждение этому – рост числа первичных

публичных размещений [3]. Всего за 2020 год было проведено 872 IPO, что на 14% больше, чем в прошлом году (рис. 1).

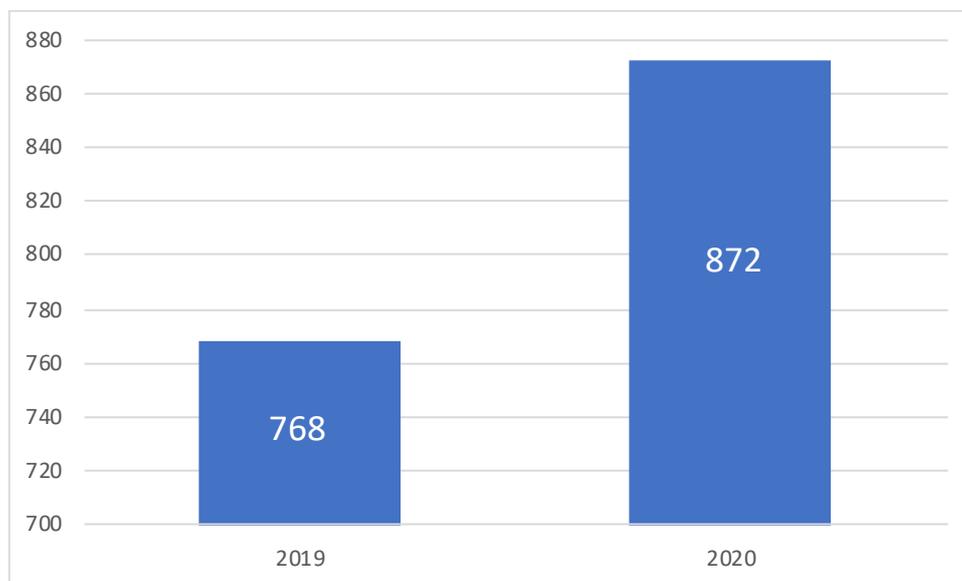


Рис. 1. Количество проведенных IPO в мире за 2019 и 2020 гг. (Составлено автором)

Объем привлеченных средств с помощью первичного публичного размещения во всем мире увеличился на 43,12%. Больше всего увеличился объем привлекаемых средств в Азиатско-Тихоокеанском регионе и составил 85,3 млрд\$, что почти в 2 раза больше аналогичного показателя за 2019 год. Объем средств, привлеченных с помощью IPO в Америке, увеличился на треть. В странах ЕБВА наблюдается снижение на 24% (таблица).

Таблица

Объем привлеченных средств с помощью IPO, в млрд\$ (составлено автором)

	2019	2020	Прирост
Мир	\$115,5	\$165,3	43,12%
Америка	\$46,9	\$62,4	33,05%
Азиатско-Тихоокеанский регион	\$45,4	\$85,3	87,89%
ЕБВА	\$23,2	\$17,6	-24,14%

IPO в секторе инновационных технологий привлекли больше всего средств, что составило треть от мирового объема. Следующими по величине привлекли сектора промышленности (20%) и здравоохранения (14%) (рис. 2).

Для оценки современного состояния рынка ценных бумаг инновационных компаний был исследован один из наиболее отслеживаемых мировым сообществом индекс NASDAQ Composite — индекс фондового рынка, который состоит из акций, котирующихся на фондовой бирже NASDAQ.

Благодаря относительно более простым и выгодным условиям для листинга биржу NASDAQ выбирают молодые инновационные компании.

Так как в основном на бирже торгуются инновационные компании, индекс NASDAQ Composite показывает текущее состояние рынка ценных бумаг инновационных компаний [4]. С 4 января 2021 значение индекса увеличилось на 8,2 % (рис. 3).



Рис. 2. Объем привлеченных средств через IPO по секторам, в млрд\$ (составлено автором)

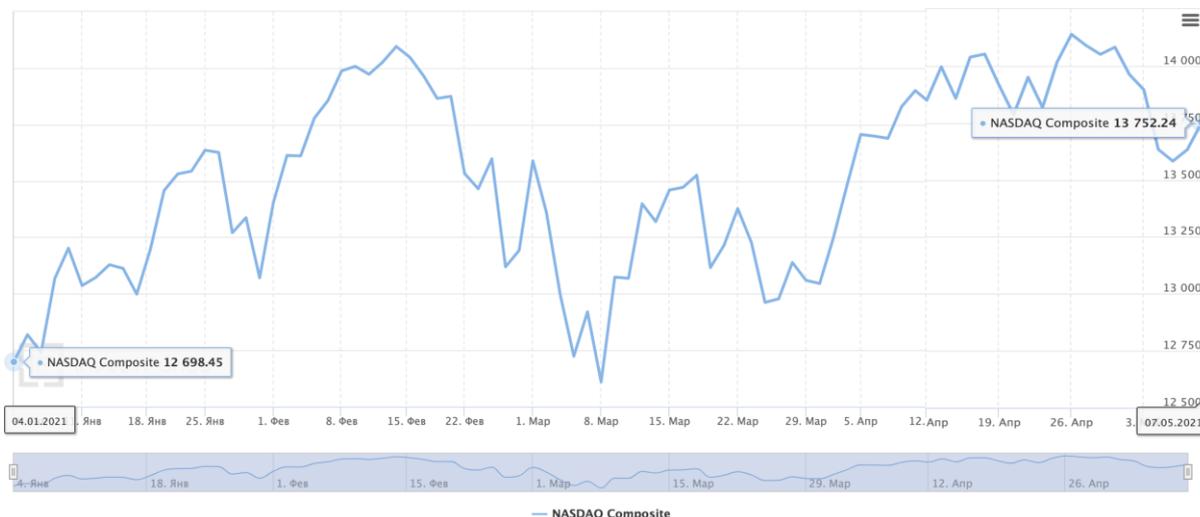


Рис. 3. Изменение значения индекса NASDAQ Composite с 4.01.2021 по 7.05.2021

По сравнению с другими важными индексами S&P 500 и Dow Jones Industrial average прирост значения NASDAQ Composite на 7.05.2021 оказался меньше. Связано это с началом второй волны пандемии COVID-19 и соответствующих ограничительных мер по ее предотвращению, так как инновационные компании сильно реагируют на любые ограничения, мешающие ведению бизнеса, из-за чего во время угроз инвесторы выбирают более надежные и стабильные компании для инвестиций. С начала 2021 года индекс показывал положительную динамику, опережающую S&P 500 и Dow Jones, что было связано с ослаблением ограничений из-за пандемии (рис. 4).

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о том, что на данный момент стоимость ценных бумаг инновационных компаний в основном показывает положительную динамику. Так как деятельность инновационных компаний является

высокорисковой, любые ограничения или угрозы нормальному функционированию вызывают незамедлительную реакцию рынка, из-за чего стоимость ценных бумаг понижается. Обратная ситуация происходит во время ослабления ограничений.

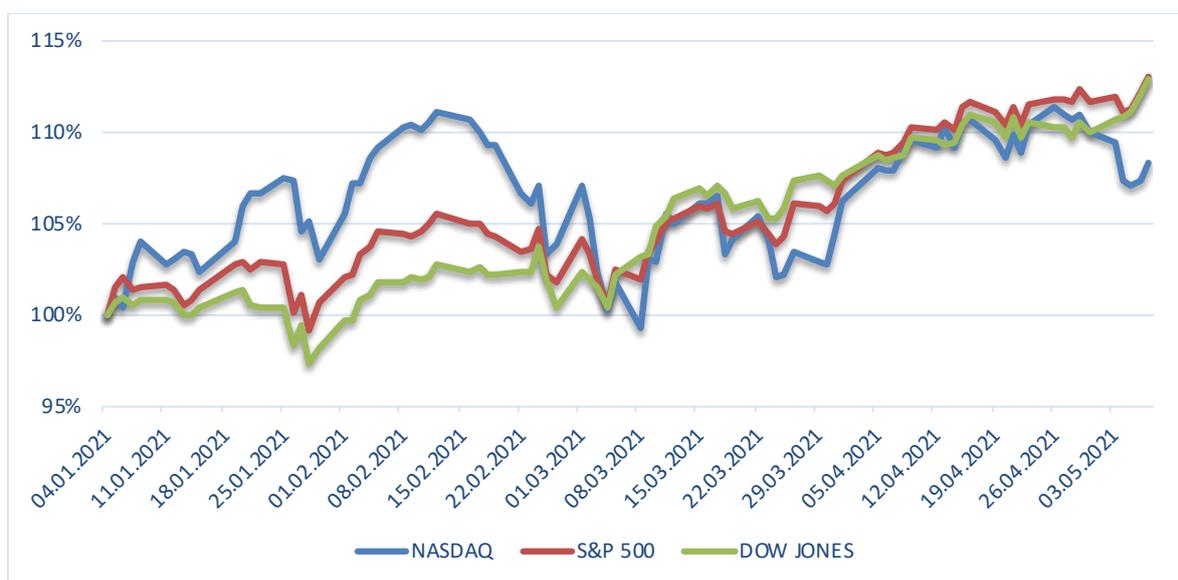


Рис. 4. Сравнение динамики роста показателей индексов NASDAQ Composite, S&P 500 и Dow Jones Industrial Average (Составлено автором)

Одна из основных проблем привлечения финансирования с помощью инструментов фондового рынка – недооценка стоимости ценных бумаг компании. Недооцененным IPO считается в случае, если после первого дня торгов цена за акцию была выше, чем цена первоначального размещения. Недооценка означает, что компания могла бы привлечь большее количество средств, установив цену за акцию изначально выше.

Установление цены первичного размещения чрезвычайно сложный процесс, поэтому недооценка присуща почти каждому IPO. Наиболее сильно недооценка проявилась во время пузыря дот-комов в 2000 году и составила в среднем практически 60% (рис. 5).

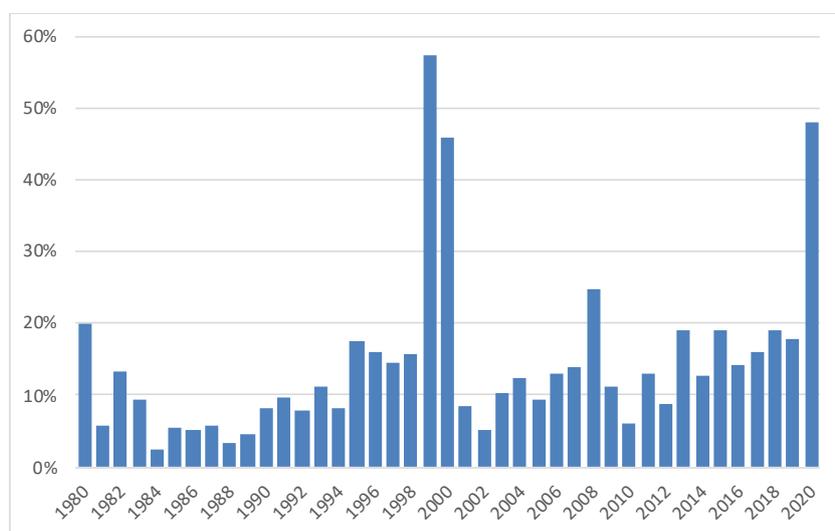


Рис. 5. Среднее значение переоценки IPO в период с 1980 по 2020 гг. (составлено автором)

Компания заинтересована в минимальном уровне недооценки, что позволит ей получить количество средств, соизмеримое с рыночной стоимостью компании. Из-за сильной недооценки компании теряют миллиарды долларов, которые могли бы потратить на разработки и т. д. (рис. 6).

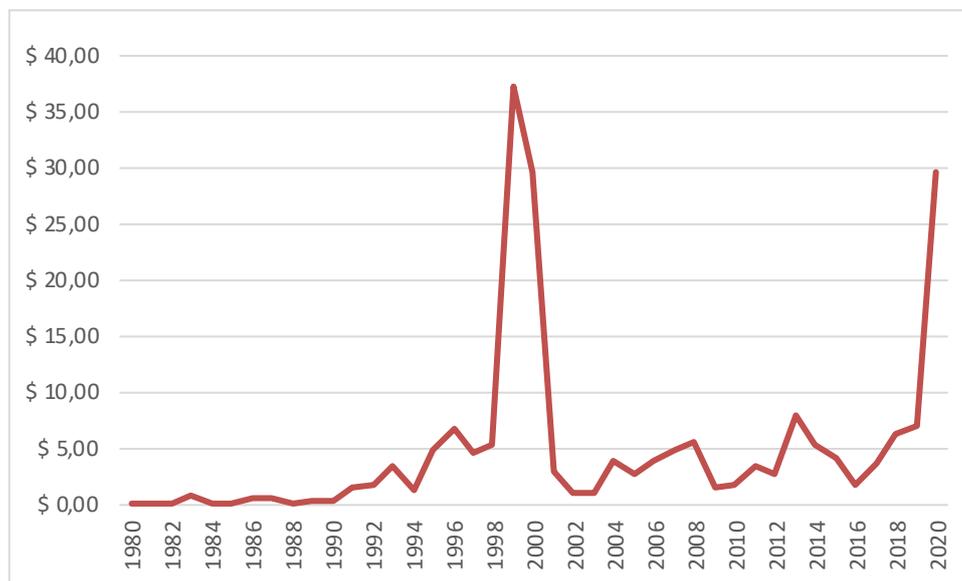


Рис. 6. Средние потери компаний с 1980 по 2020 гг., в млрд \$(составлено автором)

Основными проблемами привлечения финансирования для российских инновационных компаний на российских рынках являются:

1. Отток иностранных инвесторов, что связано не только с высокорисковой деятельностью инновационных компаний, но и со страновым риском (санкции и т. д.) [5]. В 2020 году приток прямых иностранных инвестиций уменьшился в 20 раз и составил 1,4 млрд\$ (рис. 7).

2. Недоверие отечественных и зарубежных инвесторов к российским компаниям.

3. Высокая стоимость проведения IPO и большая привлекательность размещения на зарубежном рынке.

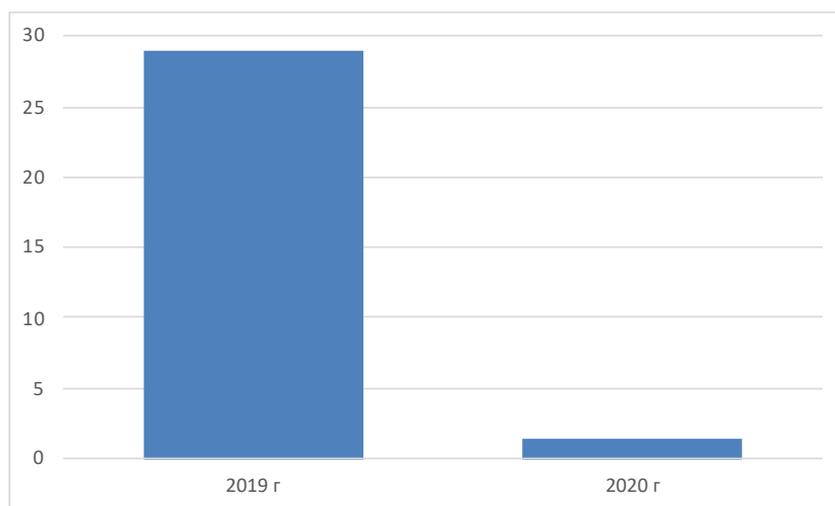


Рис. 7. Приток прямых иностранных инвестиций за 2019 и 2020 гг., в млрд \$ (составлено автором)

На основе проведенного исследования мною были предложены следующие решения для повышения эффективности привлечения финансирования для российских инновационных компаний с помощью инструментов фондового рынка:

1. Субсидирование и поощрение заключения договоров с международными андеррайтерами, аудиторскими компаниями и т.д. Важным условием субсидирования будет являться приоритетное размещение компании на российской бирже и соответствие критериям инновационной. Данный шаг позволит компаниям проводить более эффективное первичное публичное размещение, а за счет того, что компания сможет привлекать более квалифицированных поставщиков услуг, это повысит уровень доверия и заинтересованности со стороны международных и отечественных инвесторов.

2. Налоговые Льготы иностранным инвесторам для вложений в инновационные компании России. Данный шаг позволит повысить интерес зарубежных инвесторов к рынку ценных бумаг инновационных компаний России.

3. Начинать публичную жизнь заранее. Такой шаг позволит потенциальным инвесторам наблюдать за текущим положением дел в компании, что повысит уровень доверия отечественных и зарубежных инвесторов.

4. Субсидирование процесса первичного размещения для молодых инновационных компаний и всяческая поддержка в СМИ для увеличения ликвидности бумаги, что сделает размещение на локальных биржах еще более доступным и привлекательным.

Литература

1. Black S.E., Devereux P.J., Lundborg P., Majlesi K. (2017) On the Origins of Risk-Taking in Financial Market. *Journal of Finance*. Vol. 72. P. 2229- 2278.
2. Brav A., Jilang W., Ma S., Tian X. (2018) How does hedge fund activism reshape corporate innovations? *Journal of Financial Economics*. Vol. 130. P. 237-264.
3. Global IPO trends: Q3 2020/ EY (Ernst & Young). 2020. 36 p.
4. WARRINGTON [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://site.warrington.ufl.edu/> (дата обращения 17.03.2021).
5. Центральный банк Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cbr.ru> (дата обращения 20.03.2021).

Бузмакова Анастасия Алексеевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U3494,

направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика,

e-mail: buzmakova.anastasii@gmail.com

Николаев Андрей Сергеевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: nikand@itmo.ru

УДК 330.34, 65.011

ПОВЫШЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ОТКРЫТОСТИ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ

А.А. Бузмакова

Научный руководитель – к.э.н., доцент А.С. Николаев

Аннотация

В работе была проанализирована инновационная деятельность фармкомпаний в России и за рубежом, определены основные инструменты, применяемые организациями, выявлены особенности использования доступного инструментария для повышения инновационной открытости компаний в фармацевтической отрасли, рассмотрены основные социальные сети, используемые компаниями. На основе анализа определен перечень проблем российских фармкомпаний и пути их решения в контексте инновационной открытости.

Ключевые слова

Инновационная открытость, открытые инновации, управление инновациями, инновационный менеджмент, инновации, стратегический менеджмент, социальные сети.

Интерес к теме открытых инноваций в научном сообществе увеличивается с каждым годом. Об этом свидетельствует растущая динамика количества упоминаний словосочетания «open innovation» с 2003 года, когда данный термин впервые был сформулирован Генри Чесбро (рис. 1).

С увеличением скорости протекания инновационных процессов, также увеличивается значимость внедрения инноваций в деятельность организаций. Чтобы оставаться конкурентоспособными, компании вынуждены разрабатывать инновационную стратегию для своей организации и следовать ей. Таким образом в современном мире одной из главных характеристик компаний становится инновационная открытость – умение претерпевать изменения и применять новые практики и подходы в своей деятельности, – что подтверждает актуальность настоящего исследования.

В работе было принято решение сузить предмет исследования до фармацевтической отрасли ввиду ее особой актуальности в современных условиях.

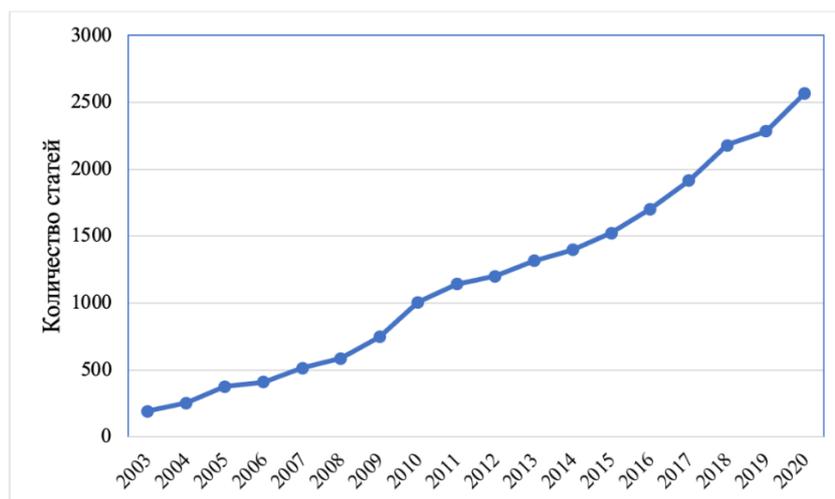


Рис. 1. Динамика роста количества статей по теме «open innovation» в базе данных Scopus (дата запроса 18.03.21) (создано автором на основе [1])

Для анализа инновационной открытости компаний, были отобраны иностранные компании-лидеры в области фармацевтики, представленные на российском рынке, а также российские компании, входящие в рейтинг «20 лучших фармкомпаний России» по версии «Forbes» [2]. Главным критерием отбора было наличие оригинальных лекарственных препаратов в портфеле компаний.

Данные о компаниях представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ фармацевтических компаний в контексте инновационной открытости (разработано автором)

Название компании	Sanofi	Johnson & Johnson	AstraZeneca	BIOCAD	Фармасинтез
1	2	3	4	5	6
Местоположение штаб-квартиры	Франция	США	Великобритания	Россия	Россия
Численность сотрудников (чел.)	110 000	134 000	57 500	2 200	3 000
Описание	Выход на развивающиеся рынки, расширение текущей бизнес-модели	Выход на развивающиеся рынки, расширение текущей бизнес-модели	Выход на развивающиеся рынки, расширение текущей бизнес-модели	Инновации несут улучшающий характер, происходит совершенствование текущих характеристик, снижение затрат и увеличение прибыли	Инновации несут улучшающий характер, происходит совершенствование текущих характеристик, снижение затрат и увеличение прибыли

продолжение таблицы

Название компании	Sanofi	Johnson & Johnson	AstraZeneca	BIOCAD	Фармасинтез
1	2	3	4	5	6
Фокус	Поиск новых инновационных решений, трансформирующих существующий рынок	Улучшающие инновации на уже сформированных рынках, инвестиции в прорывные инновации	Улучшающие инновации на уже сформированных рынках, поиск новых решений на стыке наук	Поддержание текущего положения на рынке и рост прибыли	Поддержание текущего положения на рынке и рост прибыли
Продуктовые направления	1. Эндокринология 2. Неврология 3. Вакцины 4. Гинекология 5. Онкология 6. Иммунология 7. Редкие заболевания крови	1. Эндокринология 2. Неврология 3. Вакцины 4. Гинекология 5. Онкология 6. Иммунология 7. Инфекционные заболевания 8. Сердечно-сосудистые и метаболические заболевания	1. Онкология 2. Сердечно-сосудистые заболевания и нарушение обмена веществ 3. Респираторные заболевания 4. Воспалительные и аутоиммунные заболевания	1. Онкология 2. Аутоиммунные заболевания 3. Инфекционные заболевания	1. Эндокринология 2. Онкология 3. ВИЧ 4. Инфекционные заболевания

Российские компании наравне с зарубежными ставят в приоритет создание инновационного продукта. Характер целевых инноваций у них разный: ввиду меньшего финансирования, инновации у российских компаний носят улучшающий характер, в то время как зарубежные компании нацелены на создание прорывных инноваций.

Портфели компаний схожи между собой. Следует отметить, что часть продукции, находящаяся в портфеле компаний, входит в перечень жизненно необходимых и важных лекарственных препаратов (ЖНВЛП), следовательно данные компании могут рассчитывать на государственные закупки.

Существует большое количество инструментов, которые помогают компании повысить инновационную открытость. На рис. 2 продемонстрированы возможные инструменты повышения инновационной открытости и проклассифицированы в соответствии с областью применения и затратам на использование.

Проанализировав использование инструментов повышения инновационной открытости компаниями, стоит акцентировать внимание на характерный для фармацевтической отрасли внутренний инструмент – R&D подразделение, функции которого могут выполнять отдельные компании или группа компаний (табл. 2).

Помимо R&D подразделения типичным для фармацевтической области инструментом является партнерство с университетами и медицинскими центрами (табл. 3).

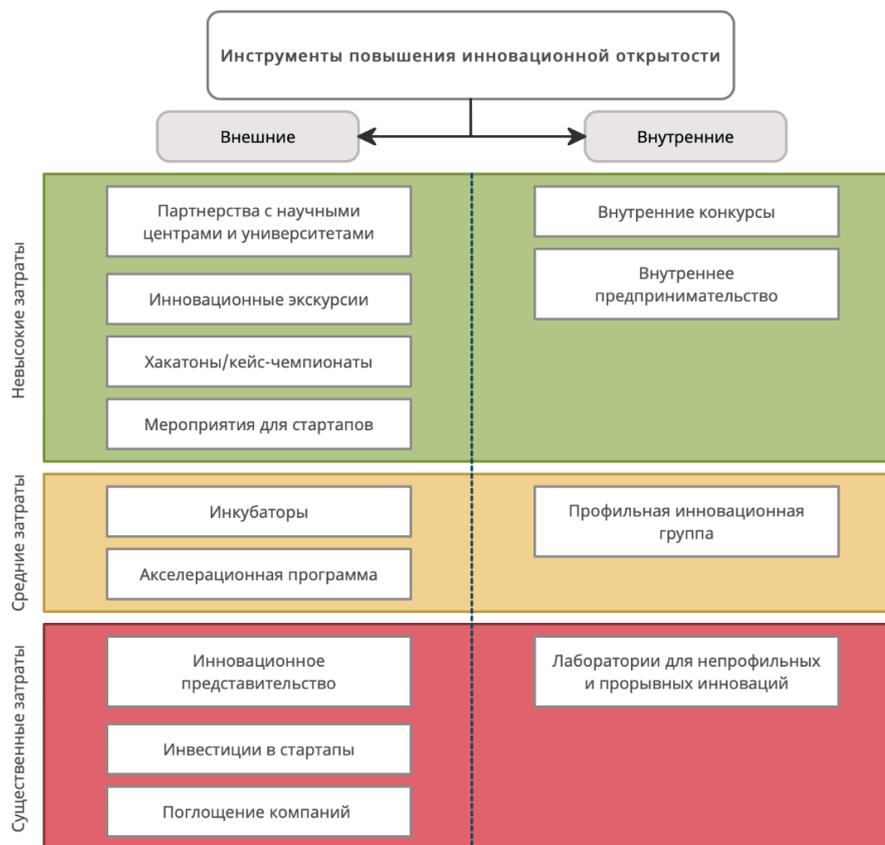


Рис. 2. Классификация инструментов повышения инновационной открытости в зависимости от затрат (разработано автором на основе [3, 4])

Таблица 2

Использованные внутренние инструменты повышения инновационной открытости

Sanofi	Johnson & Johnson	AstraZeneca	BIOCAD	Фармасинтез
R&D компании	R&D компании, лаборатория для прорывных инноваций (в сотрудничестве)	R&D компании	R&D компания	R&D отдел, внутренний конкурс

Таблица 3

Использованные внешние инструменты повышения инновационной открытости

Sanofi	Johnson & Johnson	AstraZeneca	BIOCAD	Фармасинтез
Акселерационная программа, поглощение компаний, инновационное представительство, партнерство с университетами, хакатоны	JLABS (Бизнес-инкубатор и акселератор), сотрудничество с медицинским центром, инновационное представительство, поглощение компаний, хакатоны	CoSolve Open Innovation Challenge (поиск новых партнеров), сотрудничество с университетами, бизнес-инкубатор	Сотрудничество с университетами, инновационное представительство, партнерство с компаниями	Сотрудничество с университетами

Представленные компании преимущественно используют внешние инструменты для повышения инновационной открытости, причем с увеличением масштаба компании, увеличивается, как и количество, так и разнообразие применяемых инструментов, поскольку с повышением затрат на использование инструментов возрастает не только потенциальная выгода, но также увеличиваются и возможные риски, связанные с их применением, которые могут принять только компании, уверенно чувствующие себя на рынке.

Еще одним индикатором инновационной открытости является открытость компаний в социальных сетях. Современные компании стараются быть ближе к своим потребителям. Проанализировав активность использования социальных сетей компаниями, были выявлены основные сети и форматы подачи материала в них, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Социальные сети компаний и характер публикаций

Instagram	Facebook	ВКонтакте	Twitter	YouTube
<ul style="list-style-type: none">• Освещение событий• Новости компании• Участие в акциях• Просвещение	<ul style="list-style-type: none">• Освещение событий• Новости компании• Участие в акциях	<ul style="list-style-type: none">• Освещение событий• Новости компаний• Вакансии	<ul style="list-style-type: none">• Новости компании и• Участие в акциях	<ul style="list-style-type: none">• Репортажи• Просвещение

Для российского рынка характерной чертой является наличие тематических карьерных групп компаний в сети «ВКонтакте», где публикуются актуальные вакансии и информация о стажировках. Более официальной информацией для бизнес-сообщества компании делятся в «Facebook» ввиду специфики предназначения данной социальной сети, а «Instagram» традиционно отведен для освещения внутренних событий компаний, ее социально-ответственной позиции и просветительской деятельности. «Twitter» и «YouTube» обновляются редко, поэтому, скорее, являются дополнительными.

Отечественные компании сталкиваются с некоторыми проблемами даже на своем рынке. Российским организациям нелегко конкурировать с иностранными. Заграничные компании, выходя на российский рынок, используют Россию только для конечного производства, имея все лаборатории за рубежом. Таким образом зарубежные компании изначально имеют гораздо больше ресурсов, чем отечественные. В дополнение к этому, конкуренцию обостряет недоверие россиян к лекарственным препаратам отечественного производства

Главным шагом на пути к решению проблемы является повышение открытости компании к потребителям.

Согласно статистике, социальные сети являются самым эффективным каналом взаимодействия с потребителями [5]. Таким образом социальные сети – это инвестиции в отношения с потребителями, которые укрепляют их лояльность к бренду. Исходя из анализа следует, что наиболее подходящей социальной сетью для сокращения дистанции между компанией и пациентами является «Instagram», поскольку аудитория этой сети более расположена к потреблению разнообразного локального контента, вовлекающего в жизнь компании. Помимо ведения социальных сетей, стоит упомянуть такие элементы маркетинга как публикации в СМИ и запись подкастов, поскольку повышение частоты упоминания компании позволит повысить доверие к ней.

Уменьшить конкурентный разрыв также поможет вхождение продукции компании в список жизненно важных лекарственных препаратов. Таким образом данные организации могут рассчитывать на поддержку со стороны государства и государственные закупки, что обеспечит больше финансовых ресурсов для исследований и разработок.

Третьим шагом для сокращения конкурентного разрыва является использование инструментов инновационной открытости. Все компании в разной мере применяют их, исходя из масштабов и доступных финансовых ресурсов. Крупные фармацевтические компании делают акцент на внешние технологические ресурсы, работая на расширение влияния. Отечественные компании так же повышают инновационную открытость в основном за счет внешних инструментов, но использование внешних инструментов влечет к использованию существующих наработок в формате трансфера технологий или перенимании опыта у других компаний, а не к развитию своей инновационной экосистемы и созданию своих собственных ресурсов. Поэтому использование отечественными производителями инструментов, направленных внутрь компаний, позволят им развиваться интенсивно и улучшать внутреннюю технологическую базу корпорации, которая должна являться основой для инновационных процессов компании.

Литература

1. Scopus Preview [Электронный ресурс]. URL: <https://www.scopus.com/home.uri> (дата обращения 18.03.2021).
2. 20 лучших фармкомпаний России: первый рейтинг Forbes [Электронный ресурс] / Попов И., Ганжур Е., Злобин А. [и др.] // Forbes. 2020. URL: <https://www.forbes.ru/biznes-photogallery/408079-20-luchshih-farmkompaniy-rossii-pervyy-reyting-forbes> (дата обращения 19.06.2021).
3. Модель повышения инновационной открытости крупных компаний / Голубев Н., Назаров А., Козлов А. [и др.] // АСИ. 2019. 188 с.
4. Jeremiah Owyang, Crowd Companies: The Corporate Innovation Imperative – 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.slideshare.net/WCGWorld/jeremiah-owyang-crowd-companies-the-corporate-innovation-imperative> (дата обращения: 28.06.2021).
5. BrandsGetReal: What consumers want from brands in a divided society | SproutSocial [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sproutsocial.com/insights/data/social-media-connection/> (дата обращения: 28.03.2021)

Булыга Дмитрий Владимирович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V3427,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: dvbuluga@niuitmo.ru

Евстропьев Сергей Константинович

Год рождения: 1961

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.х.н., доцент,

e-mail: evstropiev@bk.ru

УДК 535.37, 54.057

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНО-СОЛЕВОГО СИНТЕЗА
НАНОКРИСТАЛЛОВ АЛЮМОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА,
ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ ИТТЕРБИЯ**

Д.В. Булыга

Научный руководитель – д.х.н., доцент С.К. Евстропьев

Аннотация

В ходе работы были исследованы структурные и люминесцентные свойства нанодисперсных порошков $Y_3Al_5O_{12}:Yb^{3+}$, синтезированных полимерно-солевым методом. Было исследовано влияние температуры синтеза, концентрации иттербия и наличия поливинилпирролидона в исходном растворе на средний размер нанокристаллов, морфологию частиц порошка и люминесцентные свойства полученного материала. Показано, что увеличение температуры синтеза приводит к увеличению среднего размера кристаллов, увеличение концентрации иттербия приводит к уменьшению времени жизни люминесценции. Использование поливинилпирролидона в ходе синтеза приводит к уменьшению среднего размера нанокристаллов и их агрегатов.

Ключевые слова

Алюмоиттриевый гранат, полимерно-солевой метод, поливинилпирролидон, иттербий, люминесценция.

Алюмоиттриевый гранат (АИГ, YAG) является одной из наиболее распространённых и хорошо изученных лазерных сред. Кристалл YAG характеризуется оптической изотропией, высокой твердостью, химической и термической стойкостью [1].

Ионный радиус Y^{3+} близок к ионному радиусу Yb^{3+} , что позволяет синтезировать АИГ, активированный иттербием, без значительных искажений кристаллической структуры. Алюмоиттриевый гранат, активированный иттербием (Yb:YAG), является перспективным лазерным материалом и может быть использован при создании фемтосекундных лазеров [2].

Альтернативой монокристаллическому Yb:YAG являются лазерные керамики на основе АИГ, активированного иттербием. Использование керамических материалов позволяет изготавливать лазерные элементы произвольной формы, а разработка технологии производства керамических лазерных материалов позволит уменьшить

затраты электроэнергии при производстве. Основной задачей разработки технологии синтеза лазерных керамик является повышение их прозрачности.

Прозрачные лазерные керамики Yb:YAG могут быть получены путем спекания нанокристаллических порошков Yb:YAG. Такие порошки могут быть получены с использованием твердофазных, газофазных или жидкофазных методов [3].

Основным недостатком твердофазных методов является низкая скорость химических реакций в твердом теле, что приводит к необходимости повышения температуры синтеза. Газофазные методы позволяют получать наноматериалы высокого качества, однако для газофазного синтеза требуется сложное и дорогостоящее оборудование. Применение жидкофазных методов позволяет существенно снизить температуру синтеза материала. К жидкофазным методам относятся, например, золь-гель метод и методы, основанные на сжигании органического топлива [3]. К последним относится полимерно-солевой метод, использованный в данной работе.

Методика полимерно-солевого синтеза заключается в приготовлении раствора, содержащего нитраты или другие соли металлов и водорастворимый полимер, высушивании раствора и термообработке полученной полимерно-солевой композиции. Смешение компонентов осуществляется на молекулярном уровне, а наличие водорастворимого полимера позволяет сохранить однородность раствора в процессе высушивания, поэтому такой подход позволяет получить материал с высокой степенью однородности химического состава. Водорастворимый полимер также выступает в качестве топлива в ходе термообработки. При его разложении выделяется большой объем газов (оксидов углерода и азота, водяного пара), что позволяет уменьшить средний размер частиц синтезируемого порошка и повысить его дисперсность. Помимо этого, разложение полимера повышает локальную температуру в ходе синтеза [3].

В ходе работы в качестве водорастворимого полимера был использован поливинилпирролидон (ПВП). Для синтеза порошков были приготовлены водные растворы, содержащие нитраты алюминия и иттрия, сульфат иттербия и ПВП. Массы солей были взяты в стехиометрических соотношениях. Массы воды и ПВП были взяты из расчета 400 г воды и 20 г ПВП на 5 г конечного продукта. Перемешивание раствора осуществлялось при помощи магнитной мешалки в течение 2 ч. Растворы были высушены при температуре 70 °С. Полученные полимерно-солевые композиции были подвергнуты термообработке при температурах 900, 1000 или 1100 °С. Внешний вид одного из растворов, а также полимерно-солевой композиции и порошков представлен на рис. 1.

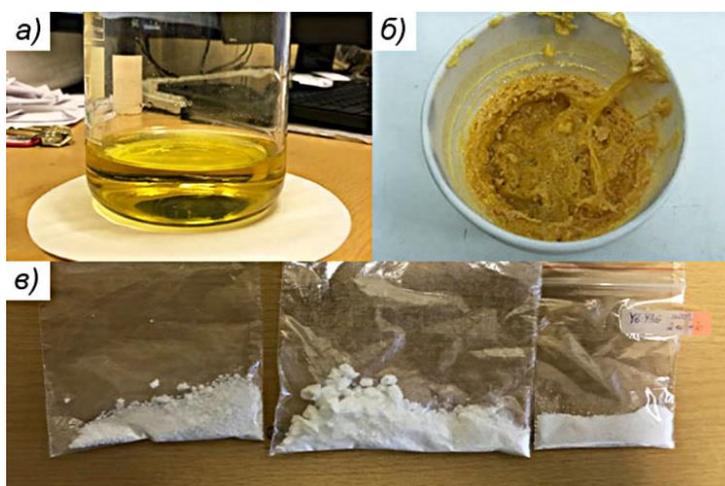


Рис. 1. Раствор, содержащий соли и ПВП (а), полимерно-солевая композиция (б), порошки Yb:YAG (в)

В ходе работы были получены и исследованы 2 серии образцов. Образцы из серии 1 были синтезированы при температуре 1000 °С с различной концентрацией иттербия (1; 2; 2,9; 3,8 масс.%). Образцы из серии 2 были синтезированы при различных температурах (900, 1000 и 1100 °С) и содержат 1 масс. % иттербия. Также был синтезирован образец без использования поливинилпирролидона (1 масс. % Yb, 1000 °С).

Спектры ИК поглощения порошков были получены при помощи фурье-спектрометра Bruker ALPHA в режиме нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Полученные спектры представлены на рис. 2.

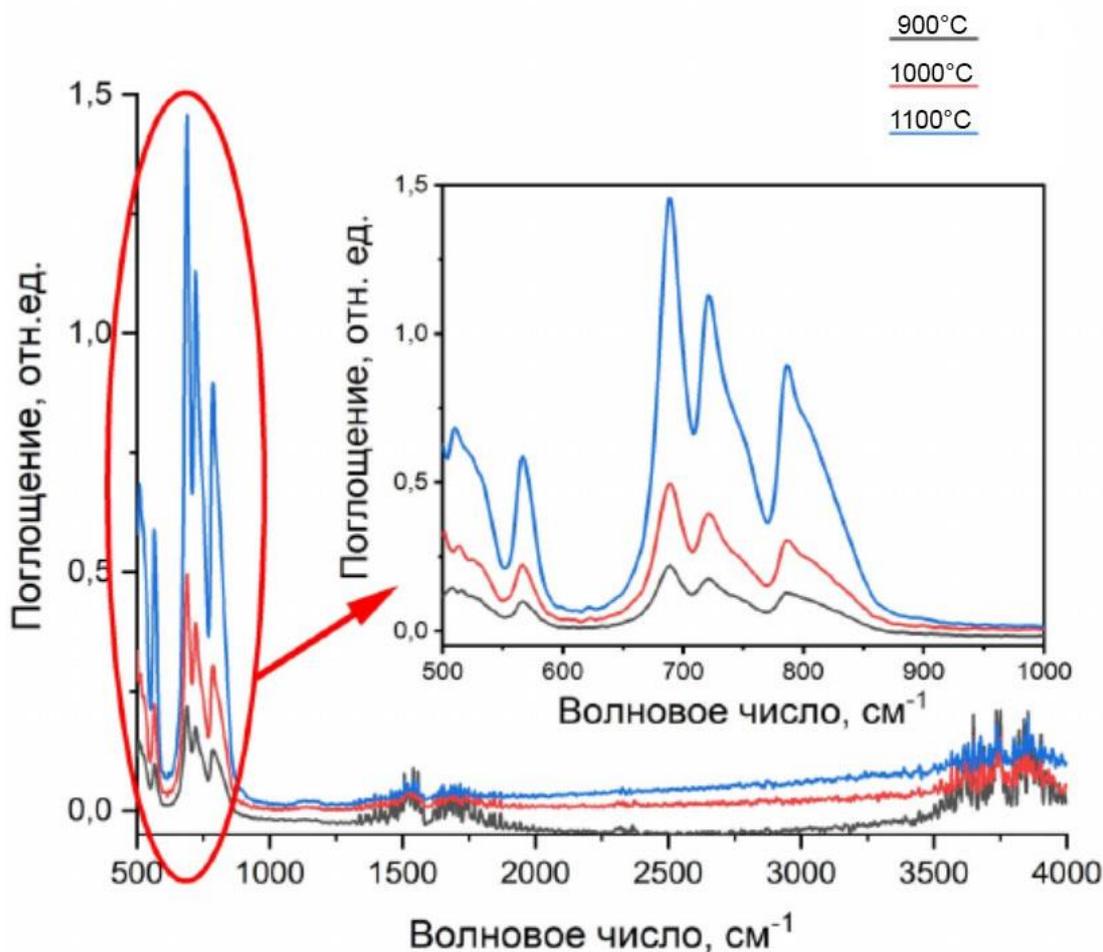


Рис. 2. Спектры ИК поглощения порошков, синтезированных при различных температурах

В спектрах наблюдаются полосы поглощения с максимумами около 566, 690, 720, 790 см^{-1} , характерные для алюмоиттриевого граната [4]. Форма спектров ИК поглощения образцов, синтезированных при различных температурах, не различается.

Наличие фазы алюмоиттриевого граната подтверждается данными рентгенофазового анализа (РФА). Рентгеновские дифрактограммы были получены при помощи дифрактометра Rigaku Ultima IV. Согласно данным РФА, все образцы состоят преимущественно из фазы YAG, также в дифрактограммах наблюдаются слабые пики, соответствующие фазе моноалюмината иттрия. Дифрактограммы, полученные для различных образцов, практически не отличаются друг от друга. Одна из них представлена на рис. 3.

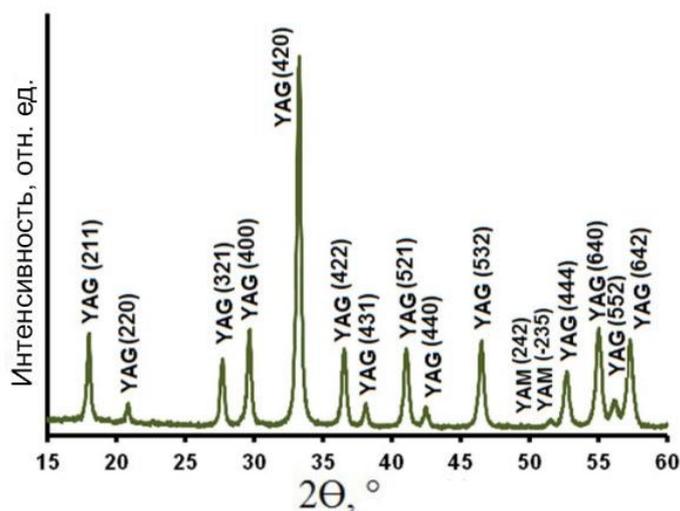


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма, полученная для образца, синтезированного при температуре 1000°C

Значения среднего размера нанокристаллов в порошках, рассчитанные из рентгеновских дифрактограмм по формуле Шеррера, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средний размер кристаллов в порошках Yb:YAG

Образец	Средний размер нанокристаллов, нм
900°C	18,9
1000°C	22,7
1100°C	30,9
без ПВП, 1000°C	34,51

Уменьшение температуры синтеза, а также наличие поливинилпирролидона в растворе приводят к уменьшению среднего размера кристаллов в порошках.

На рис. 4 представлены изображения порошков, синтезированных с использованием ПВП и без использования полимера. Изображения получены при помощи электронного микроскопа Tesla BS-301. Синтезированные порошки состоят из агрегированных наночастиц. Использование ПВП в процессе синтеза позволяет уменьшить размеры не только нанокристаллов, но и их агрегатов.

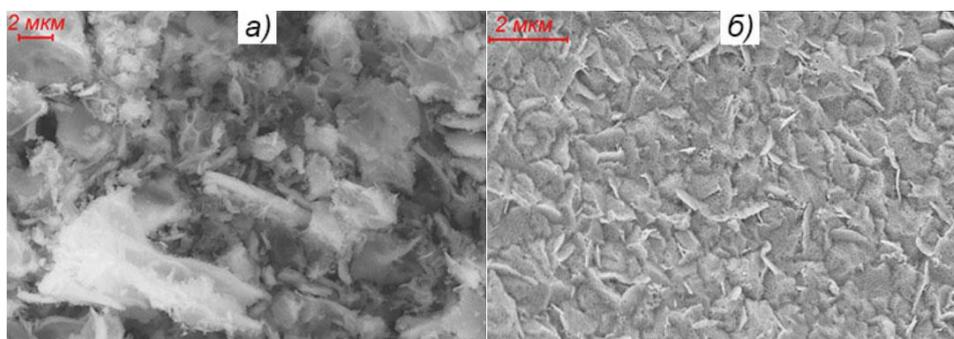


Рис. 4. СЭМ-изображения частиц порошков, синтезированных при температуре 1000°C с использованием ПВП (а) и без использования ПВП (б)

Возбуждение люминесценции в порошках Yb:YAG осуществлялось при помощи полупроводникового лазера с длиной волны излучения 975 нм. Спектры люминесценции были получены при помощи монохроматора и InGaAs фотоприёмника. На рис. 5 представлены спектры образцов, синтезированных при различных температурах. В спектрах наблюдаются полосы с максимумами около 1010, 1030 и 1050 нм. Положение максимумов и соотношение интенсивностей полос соответствуют спектру люминесценции монокристаллического Yb:YAG [5]. Форма спектров не зависит от температуры термообработки.

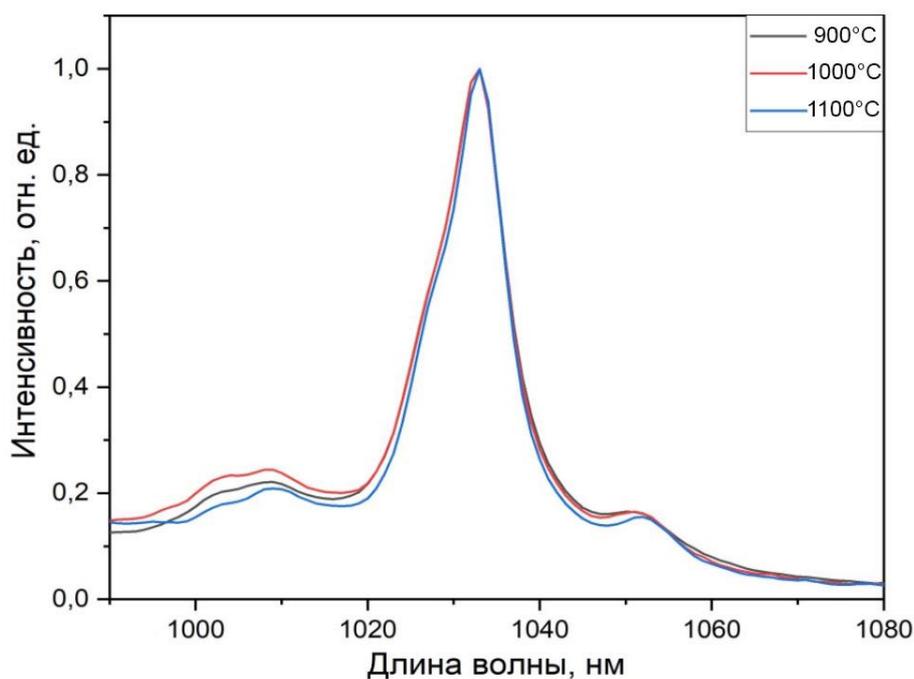


Рис. 5. Спектры люминесценции порошков Yb:YAG

В табл. 2 представлены значения времени жизни люминесценции синтезированных порошков. Возбуждение люминесценции осуществлялось при помощи полупроводникового лазера в импульсном режиме (длительность импульса 80 мкс), кривые затухания люминесценции на длине волны 1030 нм, выделяемой монохроматором, регистрировались при помощи цифрового осциллографа. Время жизни было определено путем аппроксимации кривых затухания экспоненциальной функцией.

Таблица 2

Значения времени жизни люминесценции

Образец	Время жизни люминесценции, мс
900 °C; 1 масс.% Yb	1,95
1000 °C; 1 масс.% Yb	1,86
1100 °C; 1 масс.% Yb	1,89
1000 °C; 1 масс.% Yb	1,84
1000 °C; 2 масс.% Yb	1,67
1000 °C; 2,9 масс.% Yb	1,51
1000 °C; 3,8 масс.% Yb	1,38

Зависимость времени жизни люминесценции от температуры синтеза не была обнаружена. Увеличение концентрации иттербия приводит к уменьшению времени жизни люминесценции. Столь сильное концентрационное тушение люминесценции не характерно для иттербия в кристалле YAG. Это явление может быть связано с повышенной дефектностью нанокристаллов, связанной с их малым размером и низкой температурой и продолжительностью синтеза, или с неполным формированием центров люминесценции.

В ходе работы были исследованы свойства нанокристаллических порошков Yb:YAG, синтезированных полимерно-солевым методом. Полученные порошки состоят из агрегированных нанокристаллов YAG со средним размером 19-35 нм. Положение максимумов и соотношение интенсивностей полос люминесценции соответствуют спектру монокристаллического материала. Таким образом, синтезированные порошки могут быть использованы при производстве лазерной керамики.

В ходе дальнейшей работы планируется изготовление лазерной керамики на основе синтезированных порошков Yb:YAG, а также синтез и исследование свойств порошков иттрий-алюминий-гадолиниевого граната, легированного иттербием.

Литература

1. Каминский А.А. Лазерные кристаллы. М.: Наука. 1975. 256 с.
2. Ilday F., Buckley J., Kuznetsova L., Wise F., Generation of 36- femtosecond pulses from a ytterbium fiber laser // *Optics Express*. 2003. V. 11. P.3550 – 3554.
3. Жидкостные методы получения оптических наноматериалов / Евстропьев С.К., Никоноров. Н. В. СПб.: Университет ИТМО. 2018. 84 с.
4. Lu R., Jackson K.D., Hofmeister A.M. Infrared spectra from solid solutions of spessartine and yttrium aluminum garnet // *Canadian Mineralogist*. 1993. V. 31. P.381 – 390.
5. Soares de Lima Filho E., Nemova G., Loranger S., Kashyap R. Laser-induced cooling of a Yb:YAG crystal in air at atmospheric pressure // *Optics Express*. 2013. V. 21. P. 24711 – 24720.

Веневцев Илья Вячеславович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3447,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: ilya.venya@gmail.com

Коржук Виктория Михайловна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: vmkorzhuk@itmo.ru

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЗАЩИТЫ ОТ СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ АТАК НА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

И.В. Веневцев

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.М. Коржук

Аннотация

В работе рассмотрен алгоритм противодействия состязательным атакам на системы анализа текстовых документов, основанный на объединении алгоритмов орфографической проверки и семантической проверки и дополнительной защиты в виде состязательного обучения. Проведен эксперимент, показывающий жизнеспособность данного алгоритма и преимущество перед другими алгоритмами.

Ключевые слова

Состязательные атаки, ансамбль окрестностей Дирихле, состязательное обучение, системы интеллектуального анализа текста, системы обработки естественного языка.

В современном мире большую роль в развитии и жизни предприятий играет генерируемая информация. Начиная с 2018 года, за год генерируется более 33 зеттабайт информации, а начиная с 2025 года эта цифра превысит 175 зеттабайт. При этом только 20% генерируемой информации является структурированной, следовательно большой объем информации остается неучтенным, так как обработка неструктурированной информации требует больше ресурсов из-за невозможности автоматической обработки [1]. Для того, чтобы структурировать информацию, существуют различные системы обработки естественного языка (NLP системы) и системы интеллектуального анализа текста (ИАТ). Данные системы основываются на различных методах машинного обучения, следовательно эти системы подвержены состязательным атакам, понижающих точность работы системы и эффективность при анализе данных. Требуется защита от состязательных атак всех типов на системы анализа текстовых документов.

При структурировании информации данные преобразуется в общий формат, удобный для дальнейшей обработки, зачастую данный формат является текстовым. После чего происходит анализ текстовых документов в 5 этапов: сбор данных одного формата, предварительная обработка данных, извлечение информации, анализ данных и оценка результатов анализа. Из которых нас интересуют этап предварительной обработки, на котором происходит сегментация и токенизация (выделение

предложений и слов) а также лемматизация (приведение слов в один формат), этап извлечения информации, на котором для каждого токена рассчитываются в числовом формате эмбединги (значимость слова) и иные критерии в зависимости от поставленных системе задач, и этап анализа данных, на котором на основе данных с предыдущего этапа и поставленных задач выполняется обработка текста. Именно эти этапы должен пройти состязательный пример, чтобы атака считалась успешной.

Состязательные атаки бывают различных типов: изменение символов, изменение слов, изменение предложений и комбинированные атаки. Каждая из данных атак направлена на изменение эмбединга определенного слова во время его обработки. При изменении символов токен может неправильно обрабатываться при извлечении информации, следовательно для этого токена не правильно будет рассчитан эмбединг, что повлияет на другие эмбединги. При семантическом изменении (изменение слова или предложения) эмбединг также может неправильно рассчитываться.

Существуют различные методы противодействия атакам разных типов: для атаки на символы орфографическая проверка на этапе предварительной обработки, для семантических атак семантическая проверка различного рода, состязательное обучение, подходящее под все виды атак, но не отличающееся высокой точностью. Данные методы защиты не могут в полной мере обеспечить достаточную точность работы системы на состязательных примерах всех типов. Поэтому для противодействия атакам всех типов их следует объединить с использованием определенных алгоритмов.

Для защиты от состязательных атак на символы был выбран алгоритм орфографической проверки, основанный на модели seq2seq с использованием двунаправленной нейронной сети LSTM и вниманием Лоунга. Данный алгоритм имеет точность работы 0,8921 на сложных примерах, что является достаточной точностью для текстовых данных [2]. Внедряется данный алгоритм на этап предварительной обработки и выполняется первостепенно, для предотвращения неточной лемматизации. Кроме защиты от состязательных атак на символы данный алгоритм также может повысить точность системы на чистом тексте, так как исходные данные также могут нести в себе орфографические ошибки.

Для защиты от семантических состязательных атак был выбран алгоритм семантической проверки, основанный на определении ансамбля окрестностей Дирихле [3]. Данный метод определяет вероятность вхождения случайного слова из полученной последовательности в определенные окрестности семантических синонимов. После чего происходит увеличение площади покрытия синонимов данного слова. Также определяются худшие случаи изменение данного слова и попадание его в зону покрытия. Таким образом зона покрытия синонимов изменяется в зависимости от текста, а вероятность попадания определенного слова в эту зону, а также наихудшие случаи его замены влияют на общий эмбединг токена в предложении, но не настолько сильно, чтобы токен влиял на общую семантику предложения. Точность работы системы с данным алгоритмом при семантических состязательных атаках не опускается ниже 80%.

Для увеличения степени защищенности также используется состязательное обучение, смежное с нормальным обучением. При этом состязательные примеры на каждом обучении усложняются пока система работает в пределах определенной точности. Таким образом, данная модель состязательного обучения направлена на повышения уровня защищенности от сильных состязательных атак при минимизации потерь в точности на «чистых» данных.

Итоговая система включает в себя каждый из предложенных алгоритмов защиты на разных этапах обработки текста. Итоговый алгоритм представлен на рисунке.



Рисунок. Алгоритм работы системы ИАТ

Для проверки эффективности работы системы был проведен эксперимент. Для проведения эксперимента был выбран набор данных классификации текста, состоящий из 50000 обзоров фильмов с сайта IMDb с бинарным ответом (положительный и отрицательный). Перед проведением обучения модели из базы данных случайным образом выбирается 1000 примеров для дальнейшего применения к ним атак. Была взята реализация предложенной системы на модели LSTM. Эксперименты проводились для системы без внедренных алгоритмов защиты от атак (ORG), системы с защитой в виде состязательного обучения (ADV), с использованием ансамбля окрестностей Дирихле (DNE) и для разработанной системы (SDA) [3]. Выбор примеров для состязательного текста и генерация состязательных примеров для каждой системы происходит непосредственно перед каждой атакой на данную систему.

Для проведения атак были выбраны следующие алгоритмы атак: DeepWordBug (для атаки, основанной на замене символов; DWB), PWWS (для атаки, основанной на семантическом сходстве) и IGA (для сложных комбинированных атак), а также эксперимент на «чистом» тексте (CLN). Данные атаки были реализованы с помощью утилиты TextAttack на выбранные 1000 примеров, для каждой атаки примеры выбираются заново, следовательно обучение системы происходит заново [4].

Для оценивания результатов эксперимента были введены 2 критерия оценивания: точность работы системы и коэффициент потери точности. Точность работы системы – это отношения правильно обработанных примеров к общему количеству примеров. Коэффициент потери точности – это отношение разницы точности на чистом тексте и на состязательных примерах к точности на чистом тексте. При показателях коэффициента потери точности от 5 % до 15 % не включительно будем считать алгоритм эффективным, при показателях ниже 5 % будем считать алгоритм крайне эффективным

В табл. 1 представлена точность системы с различными алгоритмами защиты от состязательных атак. В табл. 2 представлен коэффициент потери точности систем.

Таблица 1

Точность работы систем на наборе данных IMDB

Система	CLN, %	DWB, %	PWWS, %	IGA, %
ORG	88,7	5,6	1,4	0,8
ADV	87,4	35,0	37,8	28,6
DNE	85,2	31,2	80,3	74,6
SDA	83,4	82,0	81,5	79,6

Таблица 2

Коэффициент потери точности систем на наборе данных IMDB

Система	CLN, %	DWB, %	PWWS, %	IGA, %
ORG	0	93,7	98,4	99,1
ADV	1,4	60	56,8	67,3
DNE	3,9	63,4	6,1	12,4
SDA	6	1,7	2,3	4,6

Из результатов видно, что использование предложенного алгоритма повышает точность работы системы на состязательных примерах, при этом коэффициент потери точности не превышает 5 % на состязательных примерах и составляет 6 % по отношению к оригинальной системе.

В ходе работы разработан алгоритм защиты от состязательных атак на системы анализа текстовых документов. Проведенные эксперименты подтвердили эффективность предложенного алгоритма для защиты от атак, что характеризовалось снижением коэффициента потери точности до 4,6 % на состязательных примерах.

В дальнейшей работе планируется замена используемых алгоритмов на более современный и эффективные, а также доработка алгоритма состязательного обучения для уменьшения потери точности при состязательном обучении.

Литература

1. Rydning D.R.J.G.J. The digitization of the world from edge to core //Framingham: International Data Corporation. 2018.
2. DeepCorrection 3: Spell correction and simple grammar correction. 23.12.2018. URL: <https://praneethbedapudi.medium.com/deepcorrection-3-spell-correction-and-simple-grammar-correction-d033a52bc11d> (дата обращения 07.04.2021).
3. Zhou Y. et al. Defense against adversarial attacks in nlp via dirichlet neighborhood ensemble //arXiv preprint arXiv:2006.11627. 2020.
4. Morris J. X. et al. TextAttack: A framework for adversarial attacks in natural language processing //arXiv preprint arXiv:2005.05909. 2020.

Вязников Иван Дмитриевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет Программной инженерии и компьютерной техники,

студент группы №Р3412,

направление подготовки: 09.03.04 – Системное и прикладное

программное обеспечение,

e-mail: raskalov.ivann@rambler.ru

Исаев Илья Владимирович

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

ассистент (квалификационная категория "ассистент"),

e-mail: ivisaev@itmo.ru

УДК 519.68

**МЕТОД МЕЖПРОЦЕДУРНОГО АНАЛИЗА
КОДА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ
ДЕФЕКТОВ В ПО НА ЯЗЫКЕ JAVA**

И.Д. Вязников

Научный руководитель – ассистент И.В. Исаев

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

Аннотация

Разработан метод межпроцедурного анализа кода на основе построения AST и объектного представления анализируемого проекта. Разработанный метод позволяет обнаруживать нарушения инкапсуляции, недескриптивное присвоение имен, нарушения принципов единственной ответственности и инверсии зависимостей, а так же дефектов при реализации шаблонов проектирования Visitor, Decorator, Singleton и Factory method в Java проектах. Разработанный на основе метода инструмент удовлетворяет промышленным требованиям к производительности и легко расширяется.

Ключевые слова

Статический анализ, межпроцедурный анализ, архитектура ПО, внутривпроцедурный анализ, обнаружение дефектов в коде.

Большую роль в процессе разработки программного обеспечения играет оценка качества написанного кода. Помимо привычного динамического тестирования с написанием тестовых сценариев для проверки корректности функционирования разработанного ПО и неавтоматизированных проверок (рецензий, инспекций), активно используются статические анализаторы, которые обнаруживают различные дефекты в исходном коде и могут применяться с самого начала разработки. Многие стандарты сертификации требуют проверки программного обеспечения на наличие дефектов, в том числе посредством статических анализаторов, например ГОСТ Р 56939-2016.

К средствам статического анализа предъявляются три основных требования: обнаружение высокого процента дефектов, отсутствие ложных срабатываний и приемлемое время работы – не больше часа на анализ проекта объёмом в несколько сотен тысяч строк кода. Стоит указать, что задача создания статического анализатора, который бы гарантированно находил все дефекты и при этом не имел ложных

срабатываний, алгоритмически неразрешима [1]. Поэтому в анализаторах используется нестрогий анализ. Часто реализуются приближения сверху или снизу – какие-то анализаторы гарантированно находят все дефекты, но допускают ложные срабатывания, а какие-то ложных срабатываний не имеют, но могут пропустить некоторые дефекты.

Большая часть существующих инструментов статического анализа фокусируется на ошибках уровня отдельных выражений в исходном коде и ошибками использования API стандартной библиотеки Java. В то же время существует проблема обнаружения более высокоуровневых, архитектурных ошибок. Неправильно реализованные шаблоны проектирования, отходы от принятых практик разработки объектно-ориентированных систем без веских на то причин, слишком высокая связанность модулей могут не приводить к ошибкам времени исполнения, но значительно усложняют тестирование и поддержку кода. Расширять ПО с такими нарушениями становится труднее из-за не интуитивно понятных ошибок, несвязных API, большого количества зависимостей. Существуют всего два известных решения, которые позволяют искать ошибки подобного плана: JArchitect и Semmlе. Оба средства имеют поддержку языка запросов – в первом пользователь может использовать Linq, во втором – реализованный той же компанией язык QL, синтаксически похожий на SQL. Но есть две проблемы: во-первых, оба инструмента не позволяют работать с отдельными языковыми конструкциями внутри функций, что ограничивает их возможности, во-вторых, при использовании обоих разработчики (или тестировщики) должны сами описывать правила проверки кода при помощи языков запроса, а в таком случае результат будет зависеть от человеческого фактора.

Среди способов проведения нестрогого анализа кода можно выделить метод абстрактной интерпретации, предложенный французскими математиками Патриком и Радией Кузо [2]. Суть этого метода заключается в замене конкретной семантики программ на абстрактную, оперирующую множествами состояний программ. Данный подход вводит аппроксимацию сверху всех возможных состояний программы. При этом если в результате анализа полученной аппроксимации не обнаруживается ошибок, то и в исходной программе их гарантированно нет. Однако при использовании метода допускаются ложные срабатывания. Таким образом, данный подход может быть использован для доказательства корректности программ. Метод абстрактной интерпретации был реализован в инструменте статического анализа Astree для языка C. В его разработке принимали участие Патрик и Радия Кузо. Astree использовался для доказательства отсутствия ошибок в программах, но на данный момент используется редко из-за большого количества ограничений, накладываемых на анализируемую программу (нельзя использовать динамическое выделение памяти, рекурсивные функции, параллельные вычисления).

Ещё одним методом статического анализа кода является метод CEGAR – counter example guided abstraction refinement. Его используют для верификации программ путём проверки достижимости ошибочных состояний из начальной точки программы. В данном методе модель программы с конкретной семантикой заменяется на упрощённую модель таким образом, что если некое состояние оказывается недостижимым на упрощённой модели, то оно недостижимо и в реальной программе [3, с. 231]. Для достижения такого свойства упрощённой модели используется итеративное уточнение построенной модели. Для проверки достижимости состояния (точки в программе) используется контрпример – путь исполнения в исходной программе, приводящий от начального состояния к заданному. Найденный в результате анализа упрощённой модели путь проверяется на исходной программе. источником ошибок являются абстрактные состояния – они могут содержать несуществующие в исходной программе состояния. Отсюда следует, что все пути в исходной программе оказываются покрыты в абстрактном дереве достижимости, но оно также может содержать несуществующие

пути, что приводит к ложным срабатываниям. Тем не менее, в общем случае метод показывал хорошие результаты, а потому широко используется в таких инструментах, как BLAST, CPAChecker и SLAM. Первые два используются в проекте по верификации драйверов Linux Driver Verification, а SLAM входит в состав инструмента Static Driver Verifier, используемого разработчиками драйверов для Windows.

С целью расширить применимость статических анализаторов в 1999 году был предложен метод Bounded Model Checking (BMC). Его суть заключается в поиске путей ограниченной длины в программе, приводящих к ошибочному состоянию [4]. Проверяется путь длиной i , если на нем ошибочные состояния не достижимы, то проверяются пути длиной $i+1$, и так до тех пор, пока не будет найден дефект или длина пути не достигнет предельной величины, устанавливаемой заранее, как правило это значение колеблется в интервале от 60 до 80. Таким образом, данный метод так же предполагает нестрогий анализ. Для реализации BMC вместо бинарных таблиц решений используются методы решения задачи выполнимости булевых функций (так называемые SAT решатели, от английского сокращения названия задачи – propositional satisfiability problem) [4]. Их задача заключается в поиске набора значений параметров булевой функции таких, что результат функции удовлетворяет заданному условию.

По результатам данного краткого исследования методов, а также инструментов PMD, Checkstyle и Find security bugs можно сделать несколько выводов. Во-первых, анализаторов, не допускающих пропуск ошибок и ложных срабатываний, не существует (и не может существовать), поэтому статический анализ всегда нестрогий. Во-вторых, на настоящий момент для анализа исходного кода наиболее часто используется следующий подход: в ходе внутривычислительного анализа программы выстраивается её упрощённое внутреннее представление, на котором основывается межпроцедурный анализ. Это может быть набор резюме функций, полученных в ходе символьного исполнения или других методов трансляции исходного кода в SAT функции, АСТ, графы и схемы потоков управления и данных, полученные в результате использования методов абстрактной интерпретации или CEGAR, объектные представления классов программы, полученные при помощи анализа байт кода. Причём эти структуры данных не заменяют, а дополняют друг друга.

С учётом того, что разрабатываемый метод должен обнаруживать архитектурные дефекты, необходимо в качестве внутривычислительного метода анализа выбрать такой, который предоставлял бы информацию о структуре программы, то есть получение метаданных о всех классах, их полях и методах. Наиболее очевидным решением является использование метода построения АСТ анализируемой программы.

Для реализации и тестирования данного метода межпроцедурного анализа предложен статический анализатор для языка Java, получивший название-акроним JADA (Java Architecture Defects Analyser), исходный код которого опубликован в открытом доступе в виде репозитория на платформе GitHub [5].

Разработанный метод межпроцедурного анализа заключается в следующем: на основе АСТ строится объектное представление классов анализируемой программы с привязкой к элементам синтаксического дерева, что позволит анализировать как метаданные об элементах программы, так и их содержимое. Для поиска дефектов используются правила - наборы предикатов, которые, в случае верности каждого из них для какого-то из элементов программы, сигнализируют о потенциальном дефекте.

Собранное объектное представление передается исполнителю правил (модуль RuleRunner). Модуль исполняет все правила на полученном объектном представлении и сохраняет все сообщения и предупреждения в структуре данных, которую затем передает в модуль экспорта результатов. Диаграмма последовательности метода приведена на рисунке.

Архитектура анализатора расширяема, есть возможность добавлять новые правила, формы экспорта результатов и новые исполнители правил (например, можно реализовать исполнитель, который будет останавливаться после первого найденного дефекта). Это возможно благодаря реализованному в анализаторе механизму инъекции зависимостей.



Рисунок. Диаграмма последовательности разработанного метода

На данный момент реализованы восемь правил – проверка инкапсуляции, дескриптивности имен, соблюдения принципа единственной ответственности, соблюдения принципа инверсии зависимостей, проверка инкапсуляции и потокобезопасности реализации шаблона синглтон, проверка оправданности реализации шаблона фабричный метод, проверка консистентности иерархии классов при реализации шаблона визитор и поиск мест, где реализация шаблона декоратор была бы уместна.

В ходе тестирования работа анализатора была проверена на трех проектах. Один из них – это тестовое приложение, содержащее ряд классов, которые содержат архитектурные дефекты, а также классы, содержащие ситуации, которые близки к дефектам, но таковыми не являются. При помощи данного проекта проверялось соответствие анализатора функциональным требованиям – обнаружению дефектов. Все дефекты были обнаружены, ложных срабатываний не было.

Для проверки соответствия разработанного метода и инструмента анализа критерию производительности было решено использовать исходный код проекта Apache JMeter (586 классов, 84000 строк кода) и серверную часть проекта Elasticsearch (4433 класса, 560571 строк кода). Тестирование проводилось на персональном ноутбуке под управлением ОС Ubuntu с процессором Intel Core i7 - 8550U (4 физических ядра, 8 виртуальных) с частотой 1,8 ГГц и объемом оперативной памяти 16 Гб. Анализ JMeter занял 55 секунд, были обнаружены 8 потенциально упущенных декораторов, 228 недескриптивных имен, 9 классов с нарушением принципа единственной ответственности, 55 дефектов, связанных с недостаточной инкапсуляцией и 12 дефектов при реализации шаблона фабричный метод. Анализ Elasticsearch занял 13 минут 32 секунды, были обнаружены 74 дефекта при реализации шаблона фабричный метод, 48 нарушений инверсии зависимостей, 53 нарушения принципа единственной ответственности, 6 нарушений при реализации синглтона, 1008 недескриптивных имен, 463 нарушения инкапсуляции и 24 упущенных декоратора.

Построена таблица по полученным данным.

Время работы анализатора при тестировании

Проект	Объем, строк кода	Время анализа, с
Тестовый	975	4,7
JMeter	84000	55
Elasticsearch	560571	812

Таким образом, разработанный метод межпроцедурного анализа и статический анализатор на его основе удовлетворяет как функциональным, так и нефункциональным требованиям.

В дальнейших работах возможны доработки разработанного инструмента анализа, такие как интеграция его с наиболее популярными IDE, такие как IntelliJ IDEA и Eclipse, а также со средствами непрерывной интеграции. Ещё одной крупной доработкой, которая значительно бы ускорила работу анализатора, может быть реализация инкрементного анализа, при котором при повторном анализе проекта осуществлялся бы поиск дефектов только в модифицированных частях программы.

Литература

1. Кошелев В.К. Межпроцедурный статический анализ для поиска ошибок в исходном коде программ на языке C#: дисс. к. ф. м. н. М. ИСП РАН, 2017, С.104.
2. Большая энциклопедия нефти и газа: Абстрактная интерпретация. URL: <https://www.ngpedia.ru/id62403p1.html> (дата обращения: 02.03.2021).
3. Мандрыкин М.У., Мутилин В.С., Хорошилов А.В. Введение в метод CEGAR - уточнение абстракции по контрпримерам. Труды Института системного программирования РАН. 2013;24.
4. Armin Biere, Alessandro Cimatti, Edmund M. Clarke, Ofer Strichman, Yunshan Zhu Bounded Model Checking : Vol. 58 of Advances in Computers, 2003. Academic Press.
5. Репозиторий проекта JADA на платформе GitHub. URL: https://github.com/Diploma-works/interprocedural_analyzer (дата обращения 02.03.2021).

Глеклер Эдуард Викторович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы № М304,

направление подготовки: 9.03.03 – Прикладная информатика,

e-mail: eduard.glekler@yandex.ru

Суховицкий Андрей Александрович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

преподаватель (квалификационная категория "преподаватель практики"),

e-mail: andrsuh13@yandex.ru

УДК 004.4

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В РАМКАХ КУРСА
ПО МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ**

Э.В. Глеклер

Научный руководитель – преподаватель А.А. Суховицкий

Работа была выполнена в инициативном порядке.

Аннотация

В работе представлены основные этапы разработки информационной системы, созданной в целях обеспечения учебного процесса в рамках курса по микросервисной архитектуре Университета ИТМО и предназначенной для обеспечения автоматической сборки и развертывания микросервисов, а также мониторинга их состояния.

Ключевые слова

Средства кластеризации, CI/CD, DevOps, развертывание микросервисов, теория массового обслуживания, тестирование черного ящика.

В образовательной программе Университета ИТМО предусмотрен курс по микросервисной архитектуре «Технологии разработки программного обеспечения», в рамках которого студенты выполняют работы по совместной разработке микросервисных приложений. Ранее, в период до 2020–2021 учебного года, студенты вынуждены были выполнять значительное количество вспомогательных работ, непосредственно не связанных с основной целью курса, однако необходимых для успешной сборки и развертывания разрабатываемых микросервисов. Студенты курса сталкивались с такими проблемами, как нехватка времени и практического опыта для обеспечения необходимой для разрабатываемых микросервисов инфраструктуры, несовместимость используемого программного обеспечения, сложность организации совместной разработки при отсутствии общего рабочего окружения.

По итогам неудовлетворительных результатов работ студентов в период до 2020–2021 учебного года, заказчиком (преподавателем курса) была сформулирована идея о создании доступной для студентов инфраструктуры, обеспечивающей учебный процесс, лишенный вышеперечисленных недостатков, что позволило бы студентам уделить больше времени выполнению основных работ в рамках курса, а именно

написанию программного кода разрабатываемых микросервисов и коммуникации для осуществления совместной разработки.

Таким образом, возникла необходимость разработки информационной системы, автоматизирующей процессы сборки и развертывания разрабатываемых студентами микросервисов в рамках курса по микросервисной архитектуре, а также обеспечивающей возможность и эргономичность мониторинга их состояния в целях облегчения процесса совместной разработки.

Выявление и анализ требований

В табл. 1 приведено соответствие заинтересованных лиц определенным бизнес-ценностям проекта [1].

Таблица 1

Бизнес-ценности проекта

1. Заинтересованные лица	2. Ценность
3. Команды разработки микросервисов (KPM)	4. Облегчение развертывания микросервисов
5. KPM	6. Обеспечение взаимодействия микросервисов
7. Преподаватели	8. Обеспечение объективного оценивания результатов работ KPM
9. DevOps-инженеры	10. Поддержка работоспособности кластера
11. KPM, преподаватели, DevOps-инженеры	12. Мониторинг состояния микросервисов

В табл. 2 приведено соответствие бизнес-ценностей проекта планируемым результатам проекта.

Таблица 2

Соответствие ценностей и результатов проекта

13. Ценность проекта	14. Результат проекта	15. Содержание результата
16. Облегчение развертывания микросервисов, обеспечение взаимодействия микросервисов, обеспечение объективного оценивания результатов работ KPM *, поддержка работоспособности кластера *	17. Автоматическая сборка и развертывание микросервисов	18. Кластер, обеспечивающий работоспособность микросервисов; Сервисы, автоматически отслеживающие обновления содержимого репозитория микросервисов и развертывающие соответствующие версионные сборки в кластере (сервисы развертывания)
19. Мониторинг состояния микросервисов, обеспечение объективного оценивания результатов работ KPM*	20. Мониторинг состояния микросервисов	21. Сервисы, обеспечивающие представление логов и метрик микросервисов
22. Поддержка работоспособности кластера *	23. Администрирование системы	24. Сервисы, обеспечивающие автоматизированное конфигурирование сервисов развертывания

* - частичное соответствие результату

В ходе итеративного интервью с заказчиком было получено дерево декомпозиции функциональности разрабатываемой системы, корневыми элементами которого являются вышеописанные результаты проекта, что позволило получить итоговый список функциональных требований к системе.

Среди нефункциональных требований ключевыми являются требование об устойчивости инфраструктуры системы к выходу из строя одного (любого) из узлов кластера, а также требование о максимальном времени обработки заявки пользователя.

Проектирование системы

Система (в единственном экземпляре) должна быть развернута на нескольких виртуальных машинах, находящихся в одной локальной сети. При этом, согласно требованиям, микросервисы пользователей должны быть развернуты с использованием Docker. В целях унификации используемых решений все прочие сервисы системы (СУБД, брокеры сообщений и т. п.) было решено развернуть так же с использованием Docker. В качестве средства кластеризации системы (обеспечивающего сетевое взаимодействие Docker-контейнеров на различных виртуальных машинах, а также распределение нагрузки между виртуальными машинами), было принято решение использовать встроенное средство кластеризации Docker – Docker Swarm. От альтернативных вариантов, таких как Kubernetes, по желанию заказчика было решено отказаться в целях предотвращения избыточного увеличения сложности системы (за счет увеличения количества используемых программных средств).

Однако, Docker Swarm не предоставляет возможности обращения сервиса (Docker-контейнера), запущенного на каком-либо узле (виртуальной машине), к данным (таким как Docker volume), расположенным на другом узле, что может потребоваться, например, при перераспределении нагрузки кластера, когда Docker Swarm останавливает какой-либо сервис на одном из узлов, где изначально были размещены данные данного сервиса, и развертывает его на другом узле (данные сервиса при этом остаются на прежнем узле, что лишает его возможности обращения к ним). Одним из стандартных решений данной проблемы, предложенным в официальной документации Docker, является Docker-плагин «vieux/sshfs». Однако, данный плагин не предоставляет возможности репликации данных, что не обеспечивает требований к надежности. В качестве решения, обеспечивающего как возможность репликации данных, так и обращение к одним и тем же данным с различных узлов локальной сети, было выбрано использование файловой системы GlusterFS. Данное решение позволяет, в частности, хранить реплицированные данные сервисов на двух и более узлах кластера, а также обеспечивать доступ к этим данным с любого узла кластера за счет сетевого монтирования соответствующих директорий с данными на все узлы системы.

Кроме того, был подробно обоснован выбор средств сборки и развертывания микросервисов [2] (Jenkins, Apache Maven, JFrog Artifactory, Docker Registry), средств сбора, хранения и представления логов (Elasticsearch, Logstash, Kibana) и метрик (Prometheus, Grafana), а также программных средств, необходимых для обеспечения функциональности микросервисов (Kafka, ZooKeeper, PostgreSQL, MongoDB).

Для обеспечения требований к безопасности системы потребовалось создание подсистемы «Docker проху», обеспечивающей авторизацию пользователей Docker, реализация которой подразумевает фильтрацию их сетевых запросов к Docker-сокету. Был обоснован выбор таких средств проксирования и фильтрации запросов, как Netflix Zuul (в связке с фреймворком Spring Boot) и Nginx.

Таким образом, для реализации системы используются следующие программные средства и технологии: Docker, Docker Swarm, GlusterFS, Jenkins, GitHub, Apache

Maven, JFrog Artifactory, Docker Registry, Elasticsearch, Logstash, Kibana, Prometheus, Grafana, Kafka, ZooKeeper, PostgreSQL, MongoDB, Spring Boot, Netflix Zuul, Nginx.

Все представленные выше сервисы и обеспечиваемая ими функциональность представлены на диаграмме развёртывания системы, приведенной на рис. 1. Сетевое взаимодействие сервисов осуществляется посредством overlay сети, обеспечиваемой используемым средством кластеризации Docker Swarm.

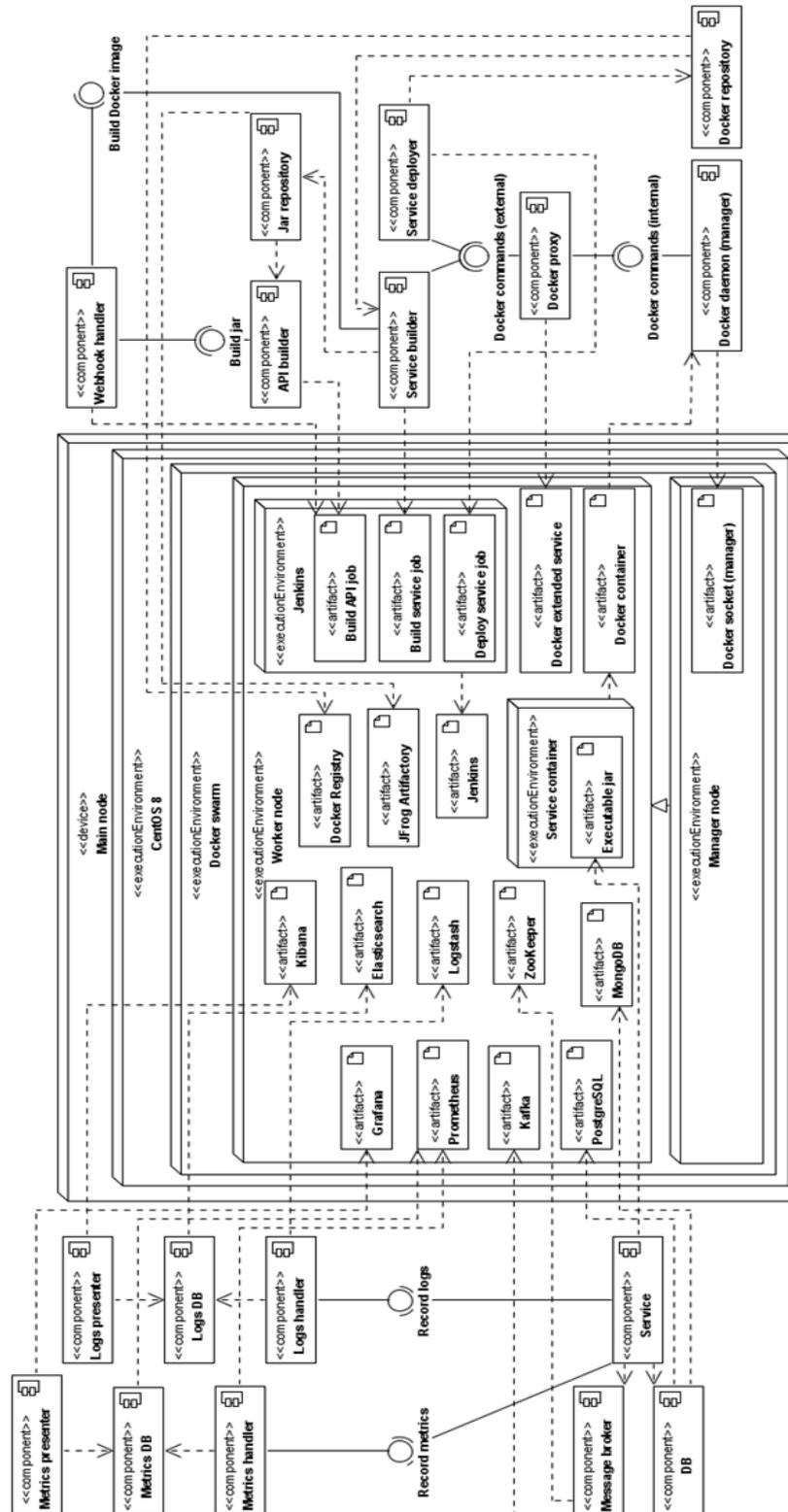


Рис. 1. Диаграмма развёртывания системы

Кроме того, для подсистемы «Docker проху» была отдельно разработана программная архитектура и архитектура данных.

Реализация системы

Были спланированы, проанализированы, приоритизированы и осуществлены конкретные работы по реализации системы [3]. На основе выявленных приоритетов и взаимозависимостей данных работ составлен план релизов, частично приведённый в табл. 3.

Таблица 3

План релизов

25. Номер релиза	26. Основной адресат	27. Ценность
28. 1	29. КРМ	30. Обеспечивается возможность полуавтоматического развертывания микросервисов в кластере, однако запускать процесс сборки Docker-образов и добавлять собственные зависимости необходимо вручную
31. 2	32. КРМ	33. Обеспечивается возможность полуавтоматической сборки API-библиотек (собственных зависимостей), однако запускать процесс сборки необходимо вручную
34. 3	35. КРМ	36. Обеспечивается автоматический процесс сборки Docker-образов и API-библиотек при каждом обновлении соответствующего репозитория
37. 4	38. КРМ	39. Обеспечивается версионность сборок микросервисов (важно ввиду значительной частоты обновлений репозитория независимо в параллельных ветвях)
40. 5	41. КРМ	42. Обеспечивается верификация пользовательских данных (важно ввиду их значительной сложности и потенциальной угрозы стабильности кластера)
43. 6 (MVP)	44. КРМ	45. За счет разделения прав пользователей обеспечивается возможность эксплуатации системы на Production-серверах

Тестирование системы

Было проведено ручное системное тестирование реализованной функциональности. При создании тестовых ситуаций были использованы техники разбиения на классы эквивалентности, граничных значений, таблиц решений и предположения об ошибке [4].

Кроме того, было проведено нефункциональное тестирование устойчивости кластера к выходу из строя одного (любого) из узлов, а также автоматического развертывания сервисов инфраструктуры на всех узлах кластера.

Доказательство удовлетворения системы требованию о максимальном времени обработки запроса пользователя подразумевает определение нагрузки на систему. Расчет ожидаемой нагрузки на систему был произведен с применением теории массового обслуживания [5]. Принятые и обоснованные в работе допущения позволяют считать процесс обработки заявок пользователей марковским, а входной и выходящий потоки заявок – простейшими.

С учетом определенных статистически интенсивностей входного потока λ ($\lambda = 0,36$) и выходящего потока заявок μ ($\mu = 0,28$, для одного обработчика; всего имеется 2 обработчика), вектор вероятностей состояний $P = (p_0; p_1; p_2; p_3; p_4; p_5; p_6)$ в каждый момент времени t был найден путем численного решения (методом Эйлера) системы дифференциальных уравнений 1:

$$\begin{cases} p'_0(t) = -0,36p_0 + 0,28p_1 + 0p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 0p_5 + 0p_6 \\ p'_1(t) = 0,36p_0 - 0,64p_1 + 0,56p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 0p_5 + 0p_6 \\ p'_2(t) = 0p_0 + 0,36p_1 - 0,92p_2 + 0,56p_3 + 0p_4 + 0p_5 + 0p_6 \\ p'_3(t) = 0p_0 + 0p_1 + 0,36p_2 - 0,92p_3 + 0,56p_4 + 0p_5 + 0p_6 \\ p'_4(t) = 0p_0 + 0p_1 + 0p_2 + 0,36p_3 - 0,92p_4 + 0,56p_5 + 0p_6 \\ p'_5(t) = 0p_0 + 0p_1 + 0p_2 + 0p_3 + 0,36p_4 - 0,92p_5 + 0,56p_6 \\ p'_6(t) = 0p_0 + 0p_1 + 0p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 0,36p_5 - 0,56p_6 \end{cases} \quad (1)$$

Начальный вектор вероятностей состояний $P_0 = (0.59; 0.22; 0.11; 0.05; 0.03; 0; 0)$ был определен статистически.

На рис. 2 представлено решение системы дифференциальных уравнений 1 в виде графиков функций зависимости вероятностей состояний системы от времени.

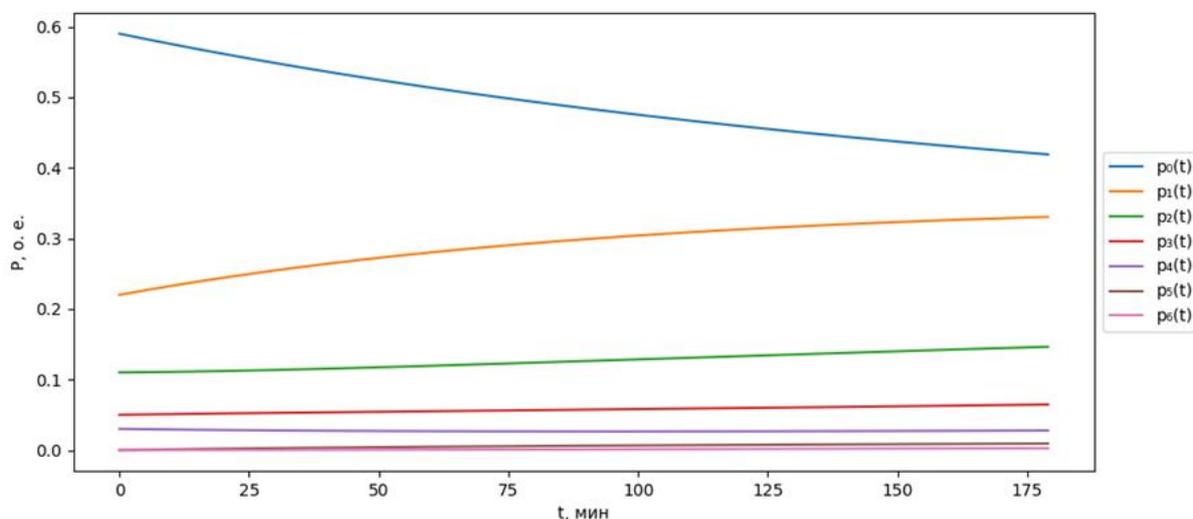


Рис. 2. Графики функций вероятностей состояний системы

Конечный вектор вероятностей $P_{\text{end}} = (0,42; 0,33; 0,15; 0,06; 0,03; 0,01; 0)$. Вероятность превышения максимального времени обработки заявки (состояние p_5) не превышает требуемой заказчиком.

Сопровождение системы

Были разработаны регламенты работы с системой, а также концепция ее дальнейшего сопровождения (согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 14764-2002). Данная концепция доказала свою эффективность в ходе процесса сопровождения, осуществляемого командой сопровождения под руководством автора в течение года.

В ходе выполнения работы успешно достигнута ее основная цель – с помощью разработанной системы автоматической сборки, развертывания и мониторинга состояний микросервисов был успешно организован и обеспечен курс по микросервисной архитектуре «Технологии разработки программного обеспечения», предусмотренный образовательной программой Университета ИТМО за 2020–2021 учебный год. В ходе разработки системы были получены следующие практические результаты:

1) выявлены и проанализированы функциональные и нефункциональные требования к разрабатываемой системе, определено соответствие данных требований планируемым результатам разработки, связанным с конкретными бизнес-ценностями проекта для определенных заинтересованных лиц;

2) спроектированы системная и программная архитектура системы, а также архитектура данных; обоснован выбор используемых технологий и программных средств для реализации системы;

3) спланированы, проанализированы, приоритезированы и осуществлены конкретные работы по реализации системы; осуществлено функциональное и нефункциональное тестирование системы, в рамках которого применены техники тестирования черного ящика, а также элементы теории массового обслуживания;

4) разработаны регламенты работы с системой и концепция ее дальнейшего сопровождения.

Запланированные работы были выполнены в полном объеме, однако некоторые программные компоненты системы, связанные, в частности, с обеспечением требований к безопасности системы, требуют повышения эргономичности для их дальнейшего практического применения. Кроме того, требуется увеличение объема выборки данных о запросах пользователей системы, что позволит устранить некоторые допущения модели системы массового обслуживания, увеличить точность и осуществить доработку используемой теоретической модели нагрузки на систему.

Литература

1. Леффингуэлл Д., Уидриг Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход. СПб: Вильямс 2002. 448 с.
2. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга СПб.: Питер, 2019. 544 с.
3. Швабер К. Скрам: гибкое управление продуктом и бизнесом. М. Альпина Паблишер. 2020. 240 с.
4. Бейзер Б. Тестирование черного ящика. Технологии функционального тестирования программного обеспечения и систем. СПб. Питер. 2004. 320 с.
5. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. Учебное пособие. Москва: Либроком. 2015. 306 с.

Горифьянов Роман Геннадьевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет оптических и квантовых технологий в коммуникациях,

студент группы №V3401,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: gorifrom@yandex.ru

Иванов Сергей Александрович

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

к.ф.-м.н., ведущий инженер,

e-mail: ykkapoh@gmail.com

УДК 535.92

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ АПОДИЗИРОВАННЫХ
БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК НА ЭФФЕКТЕ МУАРА**

Р.Г. Горифьянов

Научный руководитель – к.ф.-м.н., ведущий инженер С.А. Иванов

Аннотация

В работе рассмотрен, смоделирован и реализован метод записи объемных брэгговских решеток с аподизированным профилем в спектре отражения. Подавление побочных максимумов позволяет использовать такие решетки для реализации одночастотных лазеров. Такая решетка была изготовлена путем последовательной записи двух брэгговских решеток с разными, около резонансными, длинами волн на фото-термо-рефрактивном стекле.

Ключевые слова

Объемная брэгговская решетка, аподизация, отражательная решетка, фото-термо-рефрактивное стекло, голографическая среда, подавление побочных максимумов.

Брэгговские решётки (БР) широко используются в различных областях современной волоконной оптики. Растущий интерес к оптоволоконным брэгговским решёткам приводит к появлению множества их разновидностей. В последние десятилетия волоконно-оптические решетки становятся все более привлекательными для медицинского применения из-за их уникальных свойств, таких как малый размер, биосовместимость, устойчивость к электромагнитным помехам, высокая чувствительность и способность к мультиплексированию. БР были использованы в разработке хирургических инструментов, вспомогательных устройств и биосенсоров, показывая большой потенциал для медицинского использования. Особое внимание уделяется сенсорным решениям для биомеханики, малоинвазивной хирургии, физиологического мониторинга [1]. Каждая задача предъявляет определенные требования к спектральным характеристикам БР, которые планируются на этапе изготовления решёток. Стоит отметить, что важным элементом, определяющим качество брэгговских решеток, является размер боковых пиков, встречающихся в их спектральных характеристиках. Причиной появления боковых пиков связана с тем, что структура брэгговской решетки имеет конечную длину. Крайне важно устранить отражающие факторы боковых пиков или свести их к минимуму. Наиболее

распространенным методом это сделать является аподизация. Аподизация заключается в том, что амплитуда коэффициента отражения модулируется таким образом, что она постепенно увеличивается и уменьшается в соответствии с применяемой функцией. Если грамотно реализовать модуляцию внутри такого образца, то с помощью аподизации можно будет минимизировать вторичные пики [2]. Один из распространённых методов реализации аподизации является метод Муара. Он основан на последовательной записи двух интерференционных картин с разными периодами, но с одинаковыми амплитудами модуляции. В результате такой записи получается муаровый рисунок модуляции показателя преломления (МПП) с постоянным средним показателем преломления, направленным вдоль распространения луча. Подобный метод аподизации был реализован ранее для волоконных брэгговских решёток [3]. После термического проявления аподизированный образец ОБР обрезают до такого размера, чтобы он включал только один полупериод синусоидальной огибающей МПП (рис. 1).

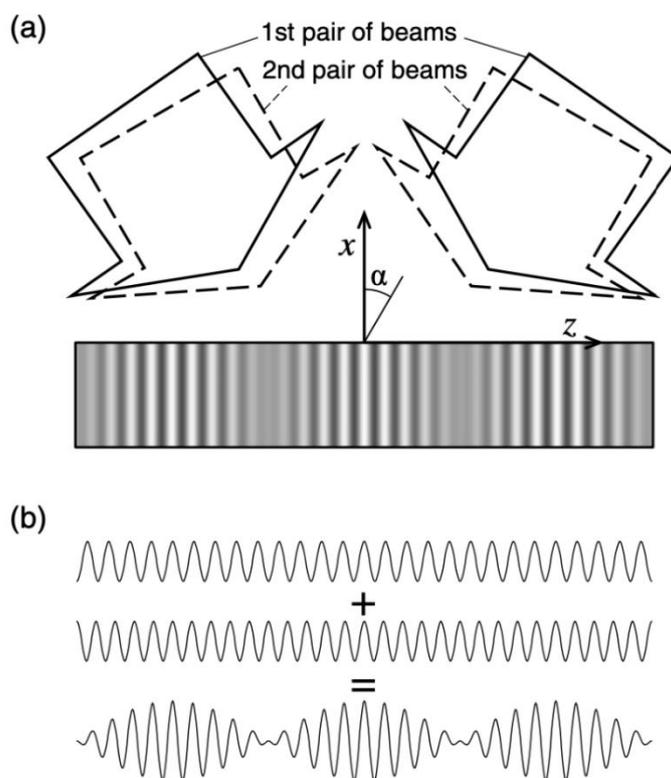


Рис. 1. (а) Запись муарового рисунка модуляции показателя преломления внутри ФТРС с использованием двух последовательных УФ-экспозиций. (б) Образование муарового рисунка путем наложения двух однородных периодических синусоид с немного отличающимися периодами

Используя теория связанных волн Когельника, была построена модель и получена зависимость коэффициента отражения ОБР от величины Φ , называемой отстройкой. Отстройка показывает насколько сильно идет отклонение от условий Брэгга, меняя длину волны. В результате анализа параметров решетки было установлено, что качество аподизации не определяется толщиной решетки, а зависит от точности резки образца после записи. Тем самым, возможно реализовывать решетки нужных геометрических параметров, не причиняя вреда качеству получаемой аподизации (рис. 2).

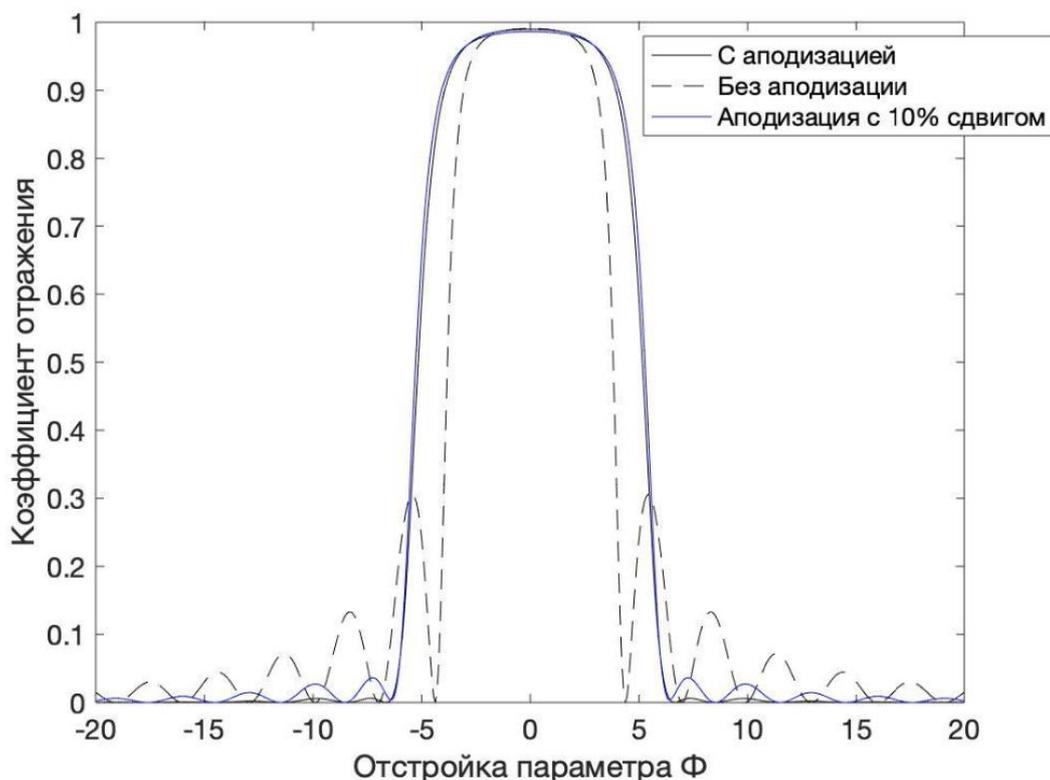


Рис. 2. Смоделированная зависимость коэффициента отражения от безразмерной отстройки Φ для различных ОБР: аподизированной ОБР (сплошная черная линия), однородной ОБР с максимальным отражением в 99% (пунктирная линия) и аподизированной ОБР с рассогласованием в профиле аподизации на 10% (сплошная синяя линия)

В зависимости от точности резки образца, меняется и качество подавления побочных пиков. Из табл. 1 видно, что при промахе на 30% относительно нулей полупериода огибающей, аподизация не принесет никаких результатов по сравнению с однородной решеткой.

Таблица 1

Показатели интенсивностей побочных пиков в зависимости от сдвига полупериода огибающей

Сдвиг относительно нулей полупериода огибающей, %	Интенсивность второго пика, $\frac{\eta}{\eta_0}$	Интенсивность третьего пика, $\frac{\eta}{\eta_0}$
10	0,036	0,027
20	0,168	0,081
30	0,358	0,153
40	0,489	0,211
50	0,531	0,240
Однородная ОБР	0,309	0,128

Практическая реализация аподизированной решетки состояла из нескольких этапов. На первом этапе записывались две брэгговские решетки в фото-термо-рефрактивном стекле по схеме на пропускание с $\lambda = 325$ нм. После записи образец помещался в муфельную программируемую печь для термообработки, вследствие которой и появлялась модуляция показателя преломления. Далее образец разрезали с

помощью алмазной пилы и исследовали в схеме на отражение с $\lambda = 1064$ нм. В результате исследований и с помощью математического пакета была получена все та же зависимость коэффициента отражения от отстройки параметра Φ для экспериментальной решетки (рис. 3).

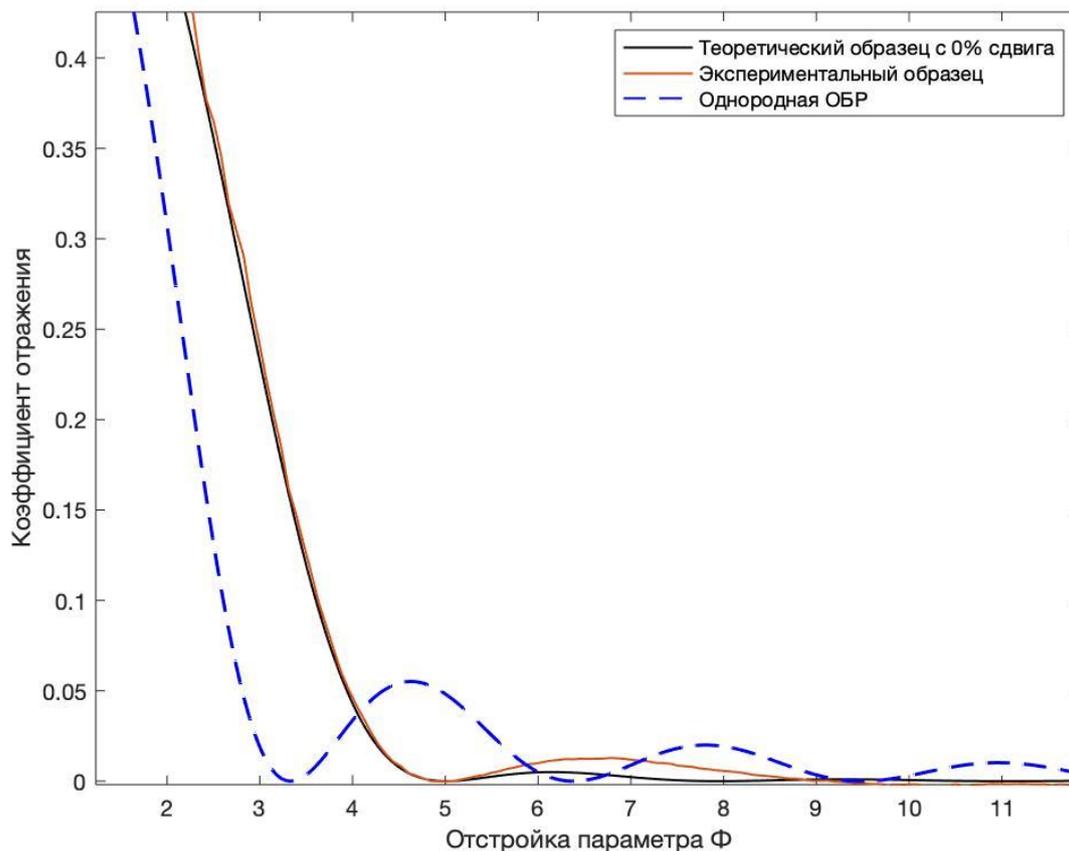


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения от отстройки экспериментальной решетки и двух теоретических: однородной и аподизированной

Подавление побочных пиков у полученного образца аподизированной брэгговской решетки хорошо согласуется с теоретической моделью и является существенным улучшением по сравнению с решеткой без аподизации (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение экспериментальных параметров получившейся аподизации с теоретическими

Вид решетки	Интенсивность второго пика, $\frac{\eta}{\eta_0}$
Однородная	0,085
Теоретическая модель (0% сдвиг)	0,009
Экспериментальная	0,019

Литература

1. Lo Presti, D., Massaroni, C., Jorge Leita. (2020). Fiber Bragg Gratings for Medical Applications and Future Challenges: A Review. *IEEE Access*, 8, 156863–156888. Doi: 10.1109/access.2020.3019138.
2. Kalimoldayev, M., Kalizhanova, A., Wójcik. (2019). Research of the Spectral Characteristics of Apodized Fiber Bragg Gratings. *ITM Web of Conferences*, 24, 01015. Doi: 10.1051/itmconf/20192401015.
3. Fröhlich, H.-G., & Kashyap, R. (1998). Two methods of apodisation of fibre-Bragg-gratings. *Optics Communications*, 157(1–6), 273–281. Doi: 10.1016/s0030-4018(98)00539-2.

Гуторов Александр Владимирович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3477,

направление подготовки: 12.03.01 – Цифровые технологии в приборостроении,

e-mail: gut-111@mail.ru

Афанасьев Максим Яковлевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: myafanasyev@itmo.ru

УДК 621.9.06

**РАЗРАБОТКА ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ 3D-ПРИНТЕРА
С МНОГОКООРДИНАТНОЙ СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

А.В. Гуторов

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

Работа выполнена в рамках темы ВКР «Проектирование и разработка электромеханической схемы 3D-принтера».

Аннотация

В работе рассмотрены основные недостатки аддитивных технологий и описано решение, которое позволит их компенсировать. На основе предложенного решения была выбрана кинематическая схема устройства и построена трёхмерная модель. Был выбран оптимальный способ управления и построена пространственная модель устройства.

Ключевые слова

Цифровизация производства, аддитивные технологии, технология FDM, многокоординатная система позиционирования, пространственная модель станка, Linux CNC.

В настоящее время отчётливо обозначилась тенденция к цифровизации производства, которая включает в себя множество направлений. Одним из таких направлений является внедрение на производство аддитивных технологий. Аддитивными называют технологии, в основе которых лежит концепция создания объекта путём последовательного наращивания слоёв материала. Внедрение аддитивных технологий позволяет ускорить процесс производства и сократить количество отходов.

Самое широкое распространение получила технология под названием – «производство путём наращивания нитей» (FDM). Технология FDM заключается в создании твёрдых объектов путём последовательного нанесения расплавленного полимера слоями, повторяющими контур цифровой модели. Технология была разработана в 1988 году авиационным инженером Скоттом Крампом. Однако, несмотря на свою популярность, данная технология обладает рядом недостатков и технологических ограничений. Основным недостатком технологии является низкое качество поверхности деталей. На рис. 1 представлено схематическое изображение

поверхности детали, полученной методом FDM. Ввиду того, что расплавленный материал придавливается к предыдущему слою, поверхность детали приобретает волнистый вид. Более того, наклонные поверхности обладают ещё более низким качеством из-за ступенчатой структуры. Другим важным ограничением является необходимость в создании поддерживающих элементов при печати навесных и наклонных элементов деталей [1].

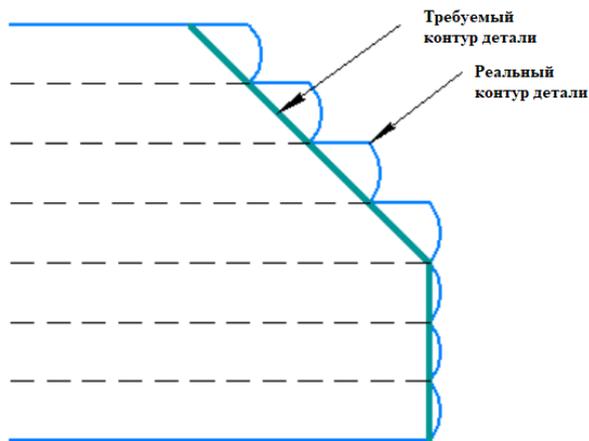


Рис. 1. Схема поверхности детали, полученной FDM-методом

Было принято решение провести сравнение аддитивного производства с субтрактивным. Субтрактивные технологии являются основой классического производства и подразумевают получение готовой детали из заготовки путём последовательного удаления части материала. Для повышения точности деталей и производительности производственного процесса, в условиях субтрактивного производства применяются станки с ЧПУ. Чаще всего исполнительные органы данных станков перемещаются по трём координатным осям. Однако в случае обработки деталей сложной формы применяют станки с многокоординатной системой позиционирования. В области аддитивного производства подобные технологии не распространены.

Если в процессе печати обеспечить вращение детали вокруг координатных осей, то появляется возможность печати каждой поверхности перпендикулярно соплу. Более того, возможность поворота детали позволит печатать наклонные элементы без поддерживающих конструкций, что сократит количество используемого материала и увеличит скорость печати.

Первым этапом проектирования электромеханической схемы FDM принтера является выбор кинематической схемы, которая будет управлять движением механических частей устройства. Именно схема определяет, какой вид будет иметь конструкция устройства.

Оптимальным выбором является картезианская кинематическая схема. В основе данной схемы лежит линейное перемещение основных частей в декартовой системе координат. Существует множество различных конструкций, основанных на картезианской схеме. Например, платформа со столом может перемещаться вдоль осей X и Y, а экструдер вдоль оси Z, или, наоборот, экструдер может осуществлять перемещение вдоль осей X и Y, а платформа - вдоль оси Z. Пример конструкции, основанной на картезианской схеме приведён на рис. 2. Основными преимуществами картезианской схемы является её простота для реализации и высокая точность

перемещения. Также в устройствах, основанных на данной кинематике, можно без ограничений получить доступ к любому узлу и заменить его. Однако при малом весе и слабой жёсткости конструкции могут возникать вибрации, снижающие качество печати. Более того, системы с данной кинематикой обладают низкой скоростью печати и ограничением высоты печати [3].

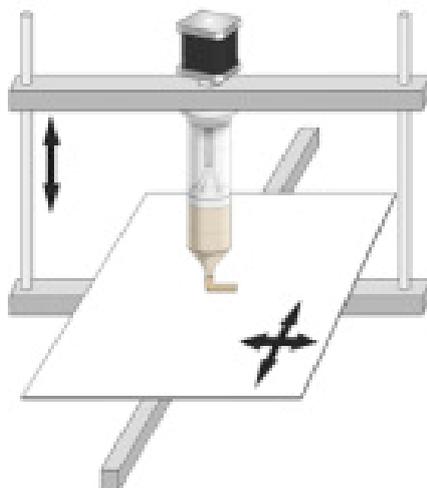


Рис. 2. Пример картезианской кинематической схемы

Следующим этапом является выбор конфигурации наклонного стола. На данном этапе необходимо выбрать кинематическую схему, которая позволит осуществить вращение экструдера вокруг платформы по осям А и С. Конфигурации с вращением инструментальной головки не являются предпочтительными в случае проектирования устройства, основанного на FDM технологии, так как в зависимости от угла наклона печатной головки будет изменяться скорость экструзии, что в итоге окажет негативное влияние на качество печати. Наиболее оптимальным является выбор конфигурации «Стол-Стол» [4]. Пример модели 5-осевого станка с ЧПУ конфигурации «Стол-Стол» приведена на рис. 3.

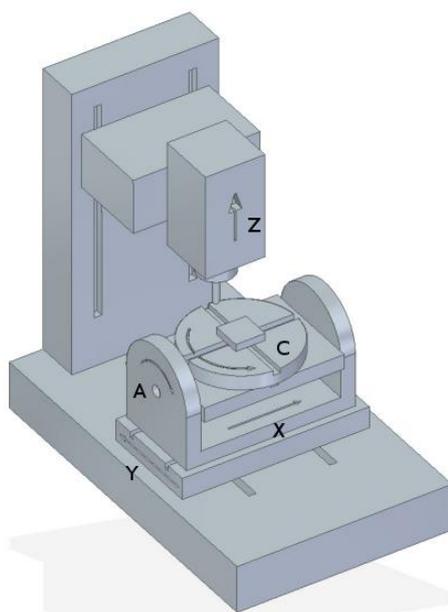


Рис. 3. Конфигурация «Стол-Стол»

Далее необходимо решить задачу осуществления перемещения подвижных элементов устройства по выбранной кинематической схеме. От выбора передачи зависит точность и скорость перемещения подвижных частей конструкции. При разработке FDM-принтера важны оба параметра, так как выбранная картезианская кинематическая схема обладает низкой скоростью печати.

Зубчато-ременная передача представляет из себя передачу механической энергии при помощи приводного ремня от ведущего шкива к ведомым. Благодаря зубчатой конструкции, ремень не проскальзывает по шкивам, обеспечивая тем самым необходимую точность перемещения. Более того, ременная передача легко обслуживается и обеспечивает высокую скорость перемещения.

Направляющие в станках с ЧПУ осуществляют перемещение всех рабочих узлов по заданной траектории с определённой точностью, жёсткостью и грузоподъёмностью. Из всех типов, рельсовые направляющие обладают самой большой площадью контакта и обеспечивают высокую грузоподъёмность. Большая площадь контакта между шариками и канавками снижает величину прогиба при большой длине направляющих. Более того, рельсовые направляющие обладают самыми высокими показателями жёсткости конструкции и скорости перемещения.

Для осуществления наклона и вращения платформы необходима максимальная точность из всех возможных, поэтому оптимальным выбором будут шаговые двигатели с угловым шагом 0.9° .

Для проектирования основных компонентов 3D-принтера и моделирования сборки использовалась система автоматизированного проектирования SolidWorks. Трёхмерная модель 5-осевого FDM-принтера представлена на рис. 4.

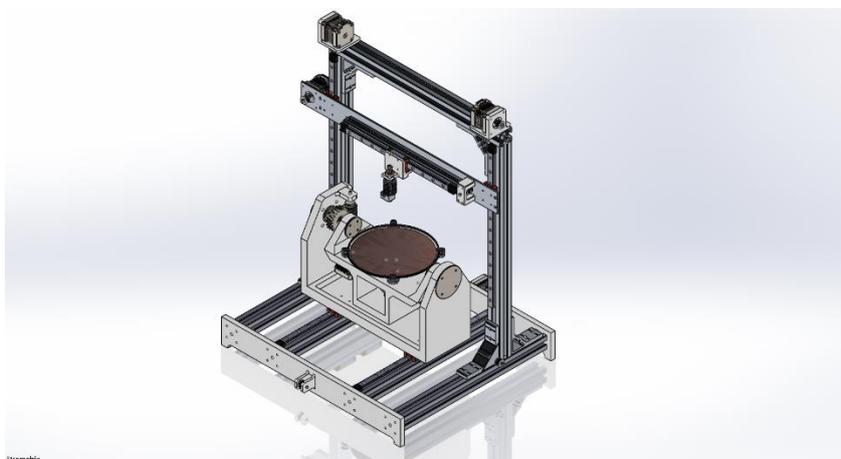


Рис. 4. Трёхмерная модель 5-осевого FDM-принтера

Рама устройства изготовлена из конструкционного алюминиевого профиля сечением 30x30 мм, закрепленного между двумя пластинами из PETG пластика. На пластинах установлены крепления для зубчатого шкива и шагового двигателя стандарта Nema 17. Перемещение вращающегося стола по оси Y обеспечивается зубчато-ременной передачей. На профиль установлены рельсовые направляющие mgn12, обеспечивающие точность перемещения и жёсткость конструкции. Вращающийся стол состоит из трёх частей: нагревательной платформы, цапфы и каретки. Область печати представляет из себя стеклянный диск с диаметром 150 мм и толщиной равной 4мм, который закреплен на вале с помощью фланца и крепёжной пластины. Также в конструкции стола присутствует нагревательный элемент из фольгированного текстолита. Вращение стола по оси C обеспечивает один шаговый двигатель при помощи червячной передачи. Вал с установленным на нём столом

закреплён в цапфе, которая, в свою очередь, установлена на подвижной каретке. Для обеспечения вращения цапфы по оси A также используются шаговый двигатель и червячная передача. Рельсовые направляющие оси Z также установлены на конструкционный профиль с сечением 30x30 мм, который прикреплен к горизонтальному профилю с помощью угловых креплений. Расстояние перемещения по оси Z позволяет печатать изделия высотой до 180 мм.

Не менее важной задачей является осуществление управления устройством. Существует иной метод определения координат основных элементов устройства, который заключается в автоматическом построении пространственной модели. Модель станка является описанием его состава, характеристик и взаимного расположения исполнительных органов. В большинстве случаев такие модели разрабатываются для управления многокоординатным оборудованием, что позволяет избавить разработчика постпроцессора от необходимости решения математических задач [2].

Для разработки пространственной модели 5-осевого FDM-принтера использовалось программное обеспечение с открытым исходным кодом LinuxCNC, которое позволяет осуществлять числовое управление станков при помощи персонального компьютера. Для создания модели необходимо написать программу, в которой описываются перемещения и взаимное расположение компонентов [5]. Пространственная модель устройства изображена на рис. 5.

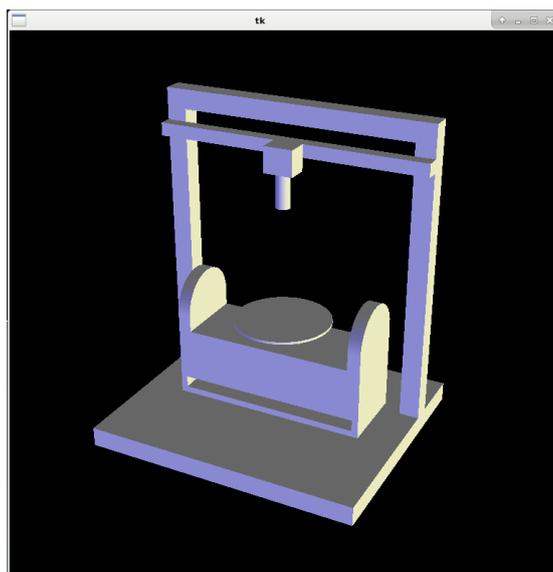


Рис. 5. Пространственная модель 5-осевого FDM-принтера

В результате проделанной работы была подробно изучена технология «производство путём наращивания нитей» и определены ее преимущества и недостатки. Был проведён анализ основных недостатков технологии. На основе анализа было выдвинуто предложение по устранению последних. Было предложено конструктивное решение, на основе которого была построена трёхмерная модель многокоординатного FDM принтера.

Были сделаны следующие выводы: интеграция двухосевого поворотного стола в конструкцию FDM принтера позволит повысить качество поверхностного слоя изделий, а также позволит избавиться от необходимости формирования поддерживающих структур в процессе печати. Наиболее подходящим решением представляется совмещение картезианской кинематической схемы и поворотного стола, осуществляющего наклон по оси A и вращение по оси C. Лучшим способом управления перемещением основных исполнительных органов многокоординатного

FDM принтера является формирование пространственной модели.

Данная работа имеет перспективы в создании рабочего прототипа многокоординатного FDM принтера.

Литература

1. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО. 2015. 63с.
2. Яблочников Е.И., Пирогов А.В., Андреев Ю.С. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении. СПб: Университет ИТМО. 2018. 116 с.
3. Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877417300730> (дата обращения 15.09.2021).
4. How to Choose the Right 5-axis Machine Configuration [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/fusion-360-5axis-machine-configuration/>. (дата обращения 15.09.2021).
5. Vismach [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://linuxcnc.org/docs/html/gui/vismach.html> (дата обращения 15.09.2021).

Дмитриев Иван Вячеславович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3477,

направление подготовки: 12.03.01 – Цифровые технологии в приборостроении,

e-mail: dmitriev_vanya@mail.ru

Андреев Юрий Сергеевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: ysandreev@itmo.ru

УДК 004.08

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ И ПРИМЕНЕНИЮ РАДИОЧАСТОТНЫХ МЕТОК В ЛИТЬЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

И.В. Дмитриев

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.С. Андреев

Аннотация

Проведен эксперимент по исследованию термостойкости радиочастотных меток, разработаны рекомендации по выбору и размещению радиочастотных меток на формообразующих деталях, используемых в переналаживаемых литьевых формах. Даны рекомендации по организации RFID системы, создан прототип базы данных формообразующих деталей. Разработаны рекомендации по маркированию изделий на предприятии для отслеживания и учета.

Ключевые слова

Радиочастотные метки, технология RFID, термопластавтомат, литье под давлением, отслеживание.

На первый план современного производства выходят задачи автоматизации этапов изготовления продукции. Концепции цифровой фабрики и Индустрии 4.0 предвещают новые возможности кардинальной модернизации производства. Одной из развивающихся перспективных технологий является радиочастотная идентификация. Технология получила широкое применение во многих технологических сферах деятельности, распространенные стандарты позволяют внедрять решения к крупному ряду задач таких, как логистика, транспорт, контроль складских помещений и т.д.

На производстве управление большим количеством информации осуществляется в многофакторной среде, в различных подразделениях. На производственном уровне необходимо учитывать все характеристики оборудования, компонентов и материалов, а на управленческом, – учитывать целостную картину состояния предприятия в текущем времени, объективно оценивать возможности и разрабатывать способы улучшения показателей. Применение технологий RFID существенно поможет решать эти задачи. Ниже представлены варианты применения RFID меток в производстве.

Управление информацией

Комбинируя RFID с существующими информационными системами, такими как MES и ERP, можно создать гораздо более мощный источник информации.

Информация, получаемая с RFID меток, будет передаваться системам. Это могут быть системы для обеспечения динамической связи в режиме реального времени с использованием Интернета (Интернета вещей) или других сетевых платформ.

Производство продукции и контроль качества

Информацию RFID можно использовать для обеспечения наличия и готовности необходимых рабочих, станков, и инструментов на каждом этапе обработки, что позволяет избежать бумажной работы и сократить время простоя. Этапы техпроцесса можно контролировать по мере того, как материалы, детали и сборки перемещаются в процессе производства.

Отслеживание продукции

Информация о местонахождении продуктов на предприятии необходима для контроля и учета. Эти данные помогают выяснить причины возможной задержки на каком-либо этапе техпроцесса, избежать потери продукции.

Управление оборудованием

Оснащение оборудования метками предоставляет возможность получать данные о его местонахождении, статусе, требованиях к обслуживанию, содержанию, уровнях запасов. Разработка этапов производства, техобслуживания и графиков работы на основе этих данных поможет оптимизировать производительность и обеспечить максимальное использование оборудования.

Автоматизация работы

Внедрение RFID позволяет автоматизировать складские операции, быстро получать точные и надежные данные, которые превосходят возможности штрихового кодирования или ручного ввода, доступные сегодня [1].

RFID – беспроводная технология, основной функцией которой является идентификация объектов с помощью транспондера (метки). Концепция пассивной RFID связи основана на модуляции или так называемом принципе обратного рассеяния: считыватель испускает электромагнитную волну с заданной частотой и постоянной амплитудой. Эта волна является как источником энергии для транспондера, так и сигналом для отправки обратной модулированной волны. Считыватель демодулирует информационное сообщение, а затем отправляет его в базу данных. На рис. 1 представлена схема RFID системы, состоящей из трех основных элементов.



Рис. 1. Схема RFID системы

Основными компонентами RFID-метки являются микросхема, управляющая связью со считывающим устройством, и антенна. У чипа есть блок памяти, хранящий такие данные как идентификационный код.

Технология RFID является очень гибкой и может решать самые различные задачи на предприятии. Для этого существуют всевозможные типы меток, различающиеся по рабочим частотам, конструкции, материалу, и техническим характеристикам [2].

Выбор RFID-меток, обладающих оптимальными техническими характеристиками, правильное позиционирование этих меток на маркируемых объектах, использование антенн и считывателей, позволяющих полностью раскрыть потенциал выбранных

радиочастотных меток, – это задача, которую необходимо решить для успешного внедрения RFID технологий на предприятии.

В рамках данной работы разрабатываются рекомендации по выбору и применению RFID меток для автоматизации процессов литья из термопластов под давлением. Для изучения выбран литьевой участок цеха ПАО «Техприбор» и лаборатория Университета ИТМО, в которой находится термопластавтомат Ferromatik Milacron ELEKTRA evolution 30.

Термопластавтомат (ТПА) – это литьевая машина, предназначенная для изготовления деталей из термопластичных материалов методом литья под давлением. ТПА применяются в основном в крупносерийном производстве, но подход, основанный на применении методов групповой технологии, позволяет использовать преимущества оборудования, применяемого для изготовления крупных серий, для условий изготовления мелких серий [3]. Для этого потребуются переналаживаемые литьевые формы (ПЛФ) со сменными вставками, – формообразующими деталями.

Формообразующие детали (ФОД) – все детали литьевой формы, контактирующие с отливкой и формирующие её геометрию. ФОД подвержены износу и загрязнению и требуют регулярного технического обслуживания. Ресурс работы формообразующих деталей ограничен количеством циклов литья (количеством впрысков полимера в форму). Внедрение RFID меток с данными о ресурсе позволит избежать поломок и незапланированных простоев оборудования.

Для записи и считывания информации о ФОД, а именно количестве циклов литья (впрысков полимера), материале, технологии изготовления, размерах и дополнительных служебных данных, необходимо использовать RFID-метку, в которой должны быть реализованы: работа на 13,56 МГц или 860–960 МГц; прием/передача без ошибок; перезаписываемая память. Метка должна работать без дополнительных источников питания.

Для данной работы целесообразно выбирать метки наименьшего размера, поэтому рассмотрены два типа меток: наклейки и корпусные. Важным требованием является работа после нагревания. Рекомендуемые параметры переработки часто используемых ТПМ [4] приведены в таблице.

Таблица

Параметры переработки ТПМ

Обозначение ТПМ		Параметры переработки	
Российское	Зарубежное	Т расплава, °С	Т формы, °С
АБС	ABS	190-240	40-80
ПЭВП	HDPE	170-220	20-60
ПЭНП	LDPE	170-220	20-60
ПП	PP	190-250	20-60
ПФА	POM	190-210	60-120
ПА 66	PA 66	280-300	50-90
ПК	PC	260-310	70-100
ПЭТФ	PET	260-300	30-70
ПММА	PMMA	190-240	40-80
ПС	PS	170-250	30-70
ПВХ	PVC	160-200	20-50

Исходя из данных таблицы, максимальная температура формы не превышает 100°С, за исключением ПФА (120°С). Для того чтобы выбрать метки для каждого полимерного материала можно провести эксперимент по нагреванию меток различного типа. С помощью приложения на метки была записана информация. В опыте

испытывались по 4 метки каждого из 6 видов. Метки работают на частоте HF 13,56 МГц по стандарту ISO 14443-3. Метки помещались в емкость с водой и после 15-минутной выдержки извлекались. Проверка меток проводилась в два этапа: сначала необходимо было проверить, читается ли метка, затем проверить, сохранилась ли на ней информация. Все метки выдержали испытания и остались работоспособны даже после воздействия температуры 100°C, что подтверждает возможность их использования в процессе литья.

Следующей задачей при выборе меток является размещение на формообразующих деталях. Метки должны размещаться таким образом, чтобы они не попадали в зоны расплавленного полимера и не нарушали процесс литья. Это должно быть продумано ещё на этапе проектирования формы.

Независимо от вида, метки необходимо размещать в углублениях для минимизации воздействия на них и располагать с учетом возможности быстрой записи/чтения информации. Оптимальным вариантом является размещение на внутренней поверхности формы, которая остаётся доступной после сборки ПЛФ. На рис. 2 представлены примеры расположения исследуемых выше меток (выделены синим) с размерами Ø30, Ø25 и Ø25.

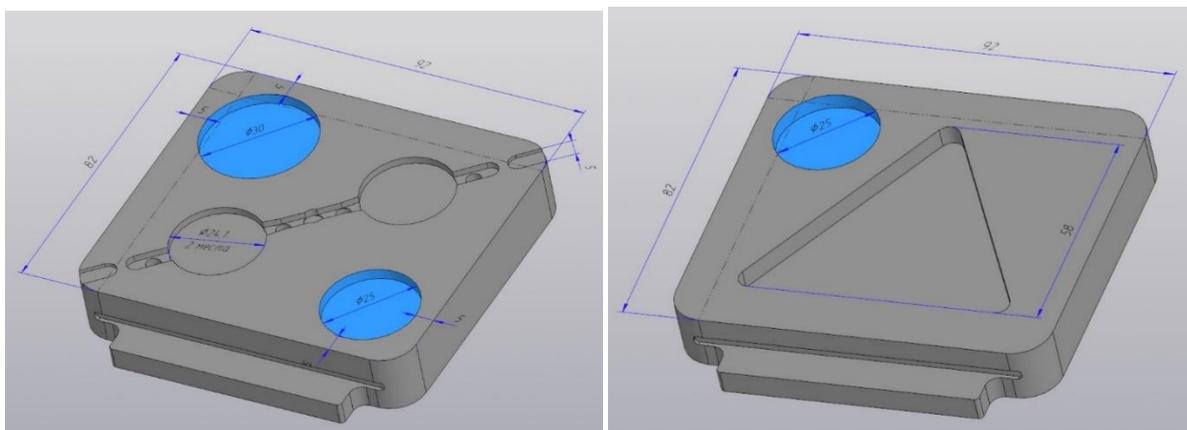


Рис. 2. 3D модели ФОД с углублениями для меток

Для записи и считывания данных в RFID метку нужно использовать считывающее устройство с прикладной программой. Этот процесс происходит по принципу ведущий-ведомый. Инициатором всегда является программа, передающая команды считывателю. Для выполнения команды считыватель устанавливает соединение с меткой и передает ей команды. В данном случае в роли ведущего выступает уже считыватель, а ведомого – метка. Метка может только отвечать на эти команды, но сама инициатором быть не может.

Процесс чтения и записи происходит примерно одинаково. Пример реализации:

- считывателю дана команда считать метку;
- считыватель посылает запрос метке;
- метка отвечает, отправляет номер идентификатора;
- считыватель посылает команду чтение/запись в сегменты памяти;
- метка осуществляет запись/вывод данных;
- считыватель получает ответ;
- передача данных в прикладную программу.

В связи с тем, что метка имеет ограниченный объем памяти, вся информация об объекте не хранится на самой метке непосредственно. На метке должен храниться ID,

который фиксируется в базе данных (БД) или программном обеспечении. После чтения и получения ID, подбирается соответствующая информация для вывода в программу.

Когда метка впервые крепится на изделии, необходимо создать электронный документ, который добавляется в БД. По наименованию изделия формируется паспорт с необходимыми данными. Данному документу присваивается ID для поиска. Теперь ФОД учтено и его возможно контролировать. Как только деталь переходит на рабочий участок, рабочему необходимо зайти в программу и внести необходимые данные. После записи информации в метку, ее возможно считать, процесс считывания на производстве осуществляется перед началом каждой операции, сотрудник должен убедиться, что ресурс ФОД ещё не истёк. Для создания баз данных можно применять системы управления базами данных (СУБД). В данной работе применяется система MongoDB. Фрагмент разработанной базы данных ФОД представлен на рис. 3.

```
_id: ObjectId("607907aca57f8e3126185006")  _id: ObjectId("609fd08186f7a3c9bc9bd0de")
TID: 1001                                  TID: 1002
STO_number: "T5500-0001"                  STO_number: "T5500-0002"
material: "D16T"                          material: "Steel 45"
resource: 10000                             resource: 5000
length: 92                                 length: 92
width: 82                                  width: 82
height: 16                                 height: 16
teplostoykost: 250                         teplostoykost: 250
technology: "Frezer"                       technology: "Frezer"
detail: "6T8.100.831"                      detail: "6T8.100.403"

_id: ObjectId("609fd39c86f7a3c9bc9bd0e0")  _id: ObjectId("609fd66386f7a3c9bc9bd0e1")
TID: 1003                                  TID: 1004
STO_number: "T5500-0003"                  STO_number: "T5500-0004"
material: "O801000"                       material: "D16T"
resource: 100                              resource: 0
length: 92                                 length: 92
width: 82                                  width: 82
height: 16                                 height: 16
teplostoykost: 90                         teplostoykost: 250
technology: "Frezer"                       technology: "Frezer"
detail: "6T8.100.654"                      detail: "6T8.100.752"
```

Рис. 3. База данных в MongoDB (фрагмент)

Самым важным параметром является ресурс ФОД (resource), по истечении которого необходимо обслуживание. После изготовления партии рабочий должен занести данные о количестве деталей (включая первые впрыски в форму в процессе наладки) в программу, которая пересчитает остаток ресурса и занесет данные в базу.

RFID метки могут применяться для отслеживания и учета изготавливаемых изделий. Такие метки должны удовлетворять следующим требованиям: работа в UHF (860-960 МГц); соответствие ИСО/МЭК 18000-6; дальность действия не менее 1 м.

RFID метки размещаются на упаковках из картона, лотках, полимерных или бумажных связках, мешках и других объектах. Необходимо найти такое место размещения, которое обеспечит надежную связь между меткой и считывающим устройством.

Общие рекомендации по прослеживаемости тары на предприятии:

1. В каждом цеху или на участке должен быть установлен приемник сигнала.
2. Рядом с каждым местом, требующим отдельного внимания, должен быть установлен ретранслятор, передающий данные на основной приемник.

3. Между номером метки и номером заготовок в таре должна быть установлена связь.

4. Этикетки с метками часто содержат напечатанную информацию, которая должна соответствовать уникальным данным, закодированным в памяти радиочастотной метки.

5. Рекомендуется использование международных стандартов, например, ISO/IEC TR 24729-1:2008 (Рекомендации по применению радиочастотной идентификации для управления предметами) [5].

Рекомендации по маркированию тары, перемещаемой по конвейеру. Для объектов, перемещаемых по конвейеру, обычно учитывают следующее:

- пользователь указывает минимальные и максимальные размеры для объектов, перемещаемых на конвейере;
- транспортируемые единицы не могут иметь неправильную форму;
- транспортируемые единицы должны быть герметично закрыты;
- наружная упаковка может быть выполнена из гофрированного картона, бумаги или обычного картона, дерева, металла или пластика;

Рекомендации по размещению:

- размещать метку нужно на той стороне объекта, которая имеет наибольшую длину;
- не рекомендуется размещать метки на углах или по краям ящиков, так как эти области наиболее подвержены повреждениям.

Рекомендации по маркированию грузовых единиц на поддонах:

1. На поддоны и грузовые единицы могут одновременно устанавливаться носители с RFID метками для временной маркировки и долговременные метки. Например, на поддон может быть нанесена долговременная метка для отслеживания самого поддона, а на грузовую единицу – транспортная этикетка с меткой.

2. Рекомендуется использование портальных считывающих устройств, имеющих рамочную конструкцию, устанавливаемых в дверях для автоматического считывания RFID меток, проходящих через эти двери.

3. Могут применяться портативные считыватели для вспомогательных операций на уровне обработки поддонов, для считывания этикетки грузовой единицы, а также для записи данных.

Результатом данной работы является перечень рекомендаций по выбору и применению радиочастотных меток в литевом производстве. Рекомендации по использованию меток на формообразующих деталях можно использовать как основу для внедрения RFID технологий на литевых участках, а рекомендации по маркированию изделий будут актуальны для предприятия в целом.

Технология радиочастотной идентификации формирует один из наиболее перспективных сегментов рынка информационных технологий. Внедрение RFID технологий – это один из шагов для создания и полнофункционального использования систем индустриального Интернета вещей. Такие системы позволяют предприятиям значительно увеличить эффективность производства, оптимизировать управление всевозможными ресурсами, что в свою очередь повышает экономическую эффективность

Литература

1. Vivek B., Ken T. RFID in Manufacturing // A practical guide on extracting measurable value from RFID implementations in plant and warehousing operations. – Rockwell Automation, 2004.

2. Duroc Y., Tedjini S. RFID: a key technology for humanity // *Comptes Rendus Physique*. 2017. pp. 64-71.
3. Яблочников Е.И., Пирогов А.В., Васильков С.Д., Восоркин А.С., Кушнарченко А.А. Принципы проектирования литьевых форм для производства пилотных серий деталей оптических приборов из термопластичных полимерных материалов // *Матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. „Современное машиностроение. Наука и образование“*. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 409-417.
4. Справочник по литьевым термопластичным материалам. И.А. Барвинский, И.Е. Барвинская. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials.htm>. (дата обращения 01.09.2021).
5. ГОСТ Р 54621-2011. Радиочастотная идентификация для управления предметами. Рекомендации по применению.

Езерский Алексей Сергеевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V3401,

направление подготовки: 12.03.03. – Оптические и квантовые

технологии в коммуникациях,

e-mail: ksafasdef@gmail.com

Петров Николай Владимирович

Год рождения: 1983

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., доцент, в.н.с.,

e-mail: Nickolai.Petrov@gmail.com

УДК 535.8

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ФОКУСИРОВКИ АМПЛИТУДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В БЕЗЛИНЗОВОМ ЦИФРОВОМ ОСЕВОМ МИКРОСКОПЕ
СО СФЕРИЧЕСКИМ ВОЛНОВЫМ ФРОНТОМ**

А.С. Езерский

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент, в.н.с., Н.В. Петров

Аннотация

В данной работе разработан метод автоматизированной фокусировки для безлинзовой цифровой осевой голографии со сферическим волновым фронтом. Апробация предложенного метода была произведена посредством обработки экспериментально полученных цифровых осевых голограмм различных микрообъектов.

Ключевые слова

Цифровая голография, микроскопия, автоматическая фокусировка, распространение волновых фронтов, осевая голографическая схема Габора.

Введение

Цифровая голографическая микроскопия позволяет значительно упростить получение и анализ изображений различных микрочастиц. Данная технология позволяет обеспечить возможность получения изображения в различных плоскостях посредством применения вычислительных алгоритмов распространения волнового фронта в режиме постобработки, то есть не требует механической точной фокусировки на объекте и позволяет чёткие изображения всех объектов, находящихся в кадре в момент съёмки. Это позволяет применять её для исследования множества движущихся частиц одновременно, при этом получая сфокусированные изображения и информацию о трёхмерном расположении в пространстве. Особенно широкое распространение получила безлинзовая осевая голография со сферическим волновым фронтом, поскольку такое решение выгодно отличается от классических оптических, а также прочих голографических микроскопов относительно низкой ценой, компактностью и простотой конструкции. Кроме того, при использовании данной конфигурации возможно получить высокое пространственное разрешение.

На данный момент существует множество исследований, направленных на применение цифровой голографии для неинвазивных исследований различных

объектов [1], в том числе физических неоднородностей [2], деформаций, трехмерной структуры объектов различной физической природы и др. Методы наблюдения и анализа состояния трехмерной микроструктуры биологических объектов на клеточном микроуровне исключительно важны для различных областей исследований в биологии и медицине, где допускается только неинвазивная диагностика [3]. Современные неинвазивные методы цифровой голографии имеют высокое разрешение и являются наиболее важными и перспективными для развития биомедицины.

Одной из проблем при получении сфокусированного изображения является выбор оптимального расстояния распространения волнового фронта. Индивидуальная обработка каждого изображения может занять значительное количество времени. Проблема особенно актуальна при исследовании движущихся частиц, так как при записи формируется большой массив данных.

Таким образом, целью данной работы является разработка и программная реализация оптимального метода автоматизированной фокусировки амплитудных изображений частиц, получаемых при численном распространении объектного волнового фронта из цифровой голограммы.

Используемые методики

Для восстановления изображения из голограммы используются методы, основанные на скалярной теории дифракции. В скалярной теории дифракции рассматривается только скалярная амплитуда одной поперечной компоненты электрического или магнитного поля [4]. При этом предполагается, что любые другие представляющие интерес компоненты можно рассматривать независимо таким же образом, что в общем случае противоречит уравнениям Максвелла. Однако для решения поставленной задачи эти приближения позволяют получить результат необходимой точности, при этом снизить требуемую для этого вычислительную мощность и, как следствие, значительно увеличить скорость вычислений. Исходя из требований к сложности и скорости вычислений, дискретности получаемых с фотоприёмника данных, оптимальным методом численного моделирования распространения волнового фронта является метод углового спектра.

Уравнение для расчета поля через представление в виде углового спектра плоских волн в дискретных координатах [5, 6] будет иметь вид:

$$u(x, y, z) = FFT^{-1} \left\{ FFT[U_0(x', y')] \cdot \exp \left[i \frac{2\pi}{\lambda} z \sqrt{1 - (\lambda f_x)^2 - (\lambda f_y)^2} \right] \right\},$$

где, FFT – быстрое преобразование Фурье, FFT^{-1} – обратное быстрое преобразование Фурье, λ – длина волны, z – дистанция распространения, f_x, f_y – отсчёты в частотной плоскости, x', y' – отсчёты в исходной плоскости, x, y – отсчёты в конечной плоскости, $U_0(x', y')$ – амплитуда поля в начальной плоскости.

Данный метод применяется преимущественно для произведения расчётов в ближней зоне дифракции Френеля. Условие применимости метода:

$$z \leq \frac{N \Delta x'^2}{\lambda},$$

где N – количество отсчётов, $\Delta x'$ – размер отсчёта в исходной плоскости.

Выбор оптимальной дистанции распространения цифровой голограммы для получения сфокусированного изображения объекта осуществляется посредством вычисления критерия, численно определяющего характеристики изображения. В

качестве примера можно привести (3). Она основана на статистическом анализе значений интенсивности восстановленных из голограмм изображений [7].

$$V = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (I(m, n) - \bar{I})^2 \quad (3)$$

где M и N – количество пикселей изображения по осям x и y соответственно, \bar{I} – среднее значение интенсивности изображения.

Функция корреляции стандартного отклонения [8] отличает сфокусированные изображения от расфокусированных при помощи корреляции, при этом, как и функция (3), она основана на статистическом анализе восстановленных их голограмм изображений. Математически она выражается как:

$$SDC = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I(m+1, n)I(m, n) - MN\bar{I}^2.$$

Так же следует выделить метод взвешенного спектрального анализа (5). Параметр позволяет количественно определить резкость краёв объектов [9]. Так как сфокусированное изображение содержит больше мелких деталей, чем расфокусированное, его возможно применить для реализации автоматизированной численной фокусировки.

$$SPEC = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \log(1 + |FFT[I(m, n)]|) \quad (5)$$

Для уменьшения времени расчёта и количества вычислений шаг распространения волнового фронта последовательно уменьшается. Область распространения уменьшается пропорционально шагу распространения и выбирается согласно значению критерия, определяющего характеристики изображения. Фокусировка на требуемые объекты осуществляется уменьшением области и расчётом критерия около требуемого объекта (рис. 1).

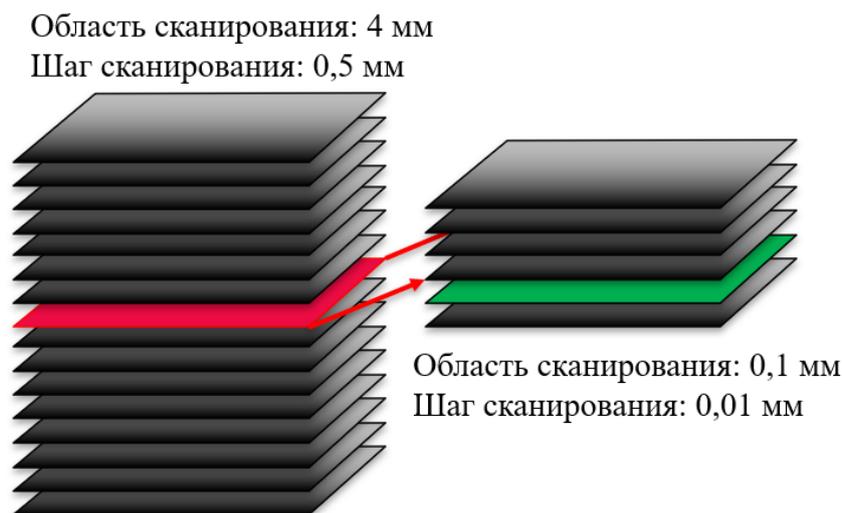


Рис. 1. Иллюстрация алгоритма выбора области распространения

Результаты и выводы

Для проведения оценки критериев для автоматизированной фокусировки каждая функция рассчитывалась для областей 1000 на 1000 пикселей изображений, полученных из цифровой голограммы распространением на расстояние от 0.9 см для 1.3 см. В качестве объекта применялись статичные микроразмерные измельчённые частицы растений, которые используются в качестве пищи для триопсов. Восстановленные из голограммы изображения представлены на рис. 2. Графики функций изображены на рис. 3.

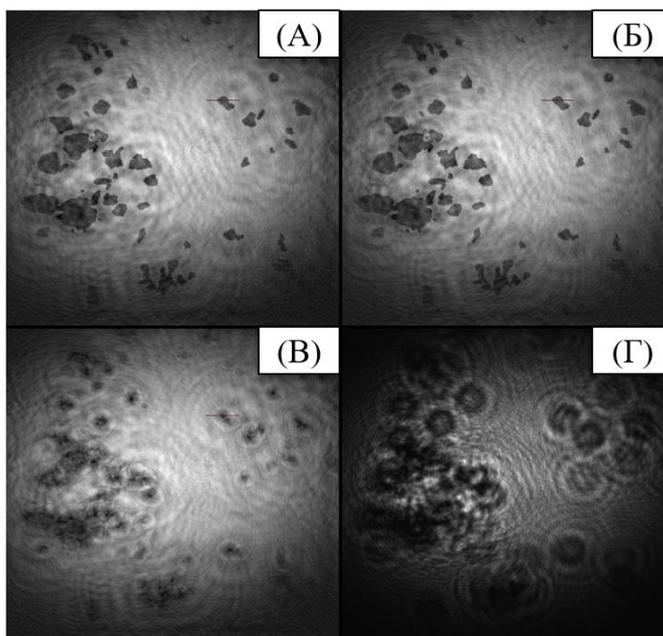


Рис. 2. Изображения, полученные при использовании различных критериев. (А) Дисперсия серого, дистанция распространения 1.049 см. (Б) Метод взвешенного спектрального анализа, дистанция распространения 1.047 см. (B) Корреляция стандартного отклонения, дистанция распространения 0.9 см. (Г) Исходная голограмма

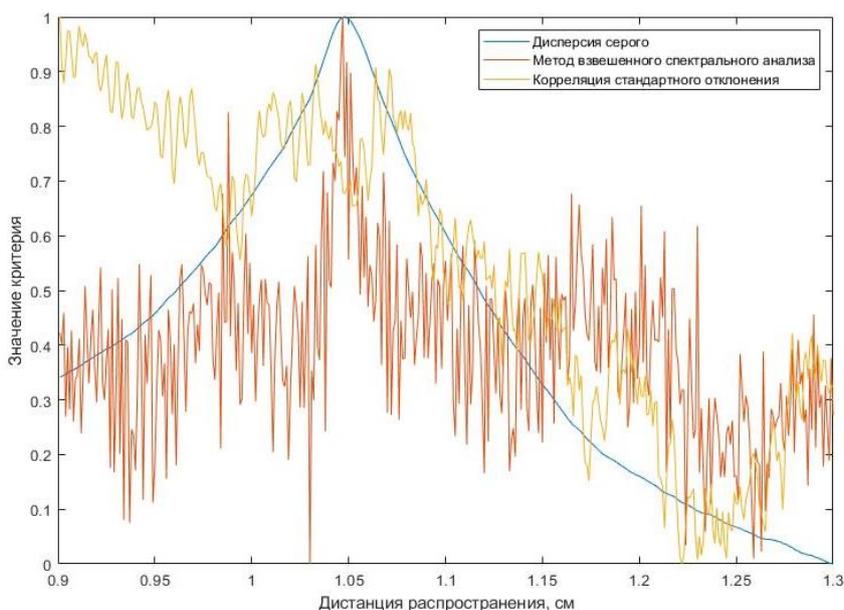


Рис. 3. Графики функций-критериев для автоматизированной фокусировки. Значения критериев нормированы на 1

При применении функции корреляции стандартного отклонения в конкретном примере получить сфокусированное изображение не удалось, остальные критерии дали схожий результат. Однако, из-за резких перепадов значений, получаемых методом взвешенного спектрального анализа, при итеративном уменьшении шага и области распространения возможно появление ошибки. Среднее время расчёта дисперсии серого для области 1000 на 1000 пикселей составляет 13 мс, метода взвешенного спектрального анализа 64 мс, корреляции стандартного отклонения- 19 мс. Таким образом, наиболее предпочтительным из исследуемых критериев для реализации автоматизированной фокусировки в осевой цифровой голографической микроскопии является расчёт функции дисперсии серого.

Литература

1. Xu W., Jericho M.H., Meinertzhagen I.A., Kreuzer H.J. Digital in-line holography for biological applications//Proceedings of the National Academy of Sciences, 2001, Vol. 98, No. 20, P. 11301-11305.
2. Perucho B., Micó V. Wavefront hologscopy: application of digital in-line holography for the inspection of engraved marks in progressive addition lenses//Journal of biomedical optics, 2014, Vol. 19, No. 1, P. 16017.
3. Miniotis M.F., Mukwaya A., Wingren A.G. Digital holographic microscopy for non-invasive monitoring of cell cycle arrest in L929 cells//PloS one, 2014, Vol. 9, No. 9, P. e106546.
4. Петров Н.В., Городецкий А.А., Беспалов В.Г. Основы оптоинформатики, 2014.
5. Петров Н.В. Цифровая голографическая регистрация, обработка и анализ волновых полей в видимом и терагерцовом частотных диапазонах, 2019.
6. Latychevskaia T., Fink H.-W. Practical algorithms for simulation and reconstruction of digital in-line holograms//Applied optics, 2015, Vol. 54, No. 9, P. 2424-2434.
7. Liu J., Song X., Han R., Wang H. Autofocus method in digital holographic microscopy // 4th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Optical Test and Measurement Technology and Equipment /. 2009. Vol. 7283. P. 72833Q.
8. Wang H., Qin A., Huang M. Autofocus method for digital holographic reconstruction of microscopic object // 2009 Symposium on Photonics and Optoelectronics /. 2009. P. 1-4.
9. Langehanenberg P., Kemper B., Dirksen D., Bally G. Von Autofocusing in digital holographic phase contrast microscopy on pure phase objects for live cell imaging//Applied optics, 2008, Vol. 47, No. 19, P. D176--D182.

Зайцева Екатерина Григорьевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

компьютерные технологии и управление, безопасность информационных технологий, студент группы № N3449,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: katzaytseva99@gmail.com

Спивак Антон Игоревич

Университет ИТМО,

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

e-mail: anton.spivak@itmo.ru

УДК 004.891.3

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ПОИСКА УТЕЧЕК ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ОБУЧЕНИЯ

Е.Г. Зайцева

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.И. Спивак

Аннотация

В работе рассмотрено применение предобученной нейронной сети для решения задачи классификации текстовых документов на предмет их конфиденциальности с применением технологии трансферного обучения, а также на практике продемонстрирована эффективность применения этой технологии для решения поставленной задачи.

Ключевые слова

DLP-системы, системы поиска утечек информации, трансферное обучение, технология передачи обучения, нейронные сети, конфиденциальная информация, классификация текстовой информации.

На настоящий момент деятельность любой организации не обходится без работы с конфиденциальными данными. Исследования компании InfoWatch об утечках информации ограниченного доступа за первые 9 месяцев 2020 года показывают, что в России более 79% утечек произошли по вине внутренних нарушителей [1]. Любая утечка приносит компании как финансовый, так и материальный ущерб. Одним из самых эффективных методов защиты конфиденциальной информации от утечки в настоящее время являются DLP-системы. Настоящая работа посвящена разработке алгоритма классификации текста для DLP-системы, построенного на основе предобученной нейронной сети, с целью улучшить качество классификации, тем самым повысив эффективность системы поиска утечек информации.

Для решения задачи классификации текстовых сообщений разработано огромное количество различных методов. Среди них: логистическая регрессия, LSTM сети и многие другие. В данной работе был рассмотрен алгоритм BERT.

BERT (Bidirectional Encoder Representation from Transformers) представляет из себя относительно новую модель языкового представления. Данная модель построена на композиции кодировщиков трансформера. В отличие от предшествующих моделей в модели BERT используется новый механизм внимания, который позволяет учитывать контекст с обеих сторон от рассматриваемого токена. Языковая модель BERT позволила достичь state-of-the-art результатов на 11 задачах, связанных с обработкой

естественного языка. В число таких задач входит бенчмарк GLUE (General Language Understanding Evaluation) [2]. С использованием BERT показатель GLUE был увеличен до 80,5%. Другими словами, использование предобученной нейронной сети BERT позволило увеличить этот показатель на 7,7%, что является показателем высокой эффективности этого решения.

При использовании нейронной сети BERT выделяются два основных шага:

1. Предобучение (модель обучается с помощью различных задач предварительного обучения на немаркированных данных). Данный этап проводился заранее авторами алгоритма.

2. Тонкая настройка (модель загружается с предварительно обученными параметрами, а затем все параметры настраиваются с использованием помеченными данными последующих задач).

При реализации второго шага на вход нейронной сети подавался размеченный датасет, содержащий конфиденциальную и неконфиденциальную информацию. В процессе дообучения модель учится распознавать конфиденциальную информацию с использованием знаний о языке, полученных на этапе предобучения.

В качестве исходных данных был выбран датасет компании Enron, содержащий письма электронной почты, которые были написаны сотрудниками этой компании. Компания Enron была одной из крупнейших компаний США в 2000 году. Данный датасет был получен Федеральной комиссией по регулированию энергетики после того, как компания обанкротилась в связи с мошенничеством. Датасет содержит примеры человеческого общения с элементами конфиденциальной информации.

Набор данных представлял из себя два файла в форматах txt и json соответственно. Необходимо было извлечь из файлов тело сообщения и добавить к каждому сообщению специальные теги. В файле json тело сообщения извлекалось из тега body.

Далее необходимо было к каждому сообщению добавить теги, которые требуют на вход BERT. А именно теги [CLS] и [SEP].

После добавления тегов необходимо было сформировать метки классов для каждого из сообщений. Для этого была проставлена 1 для всех записей из файла enron.json и 0 для всех сообщений из файла neutral.txt.

Для токенизации сообщений использовалась функция BertTokenizer из модуля pytorch_transformers.

Пример того, как выглядит токенизированное сообщение представлен на рис. 1.

```
100%|██████████| 871891/871891 [00:01<00:00, 810177.85B/s]
['[CLS]', 'дата', 'ме', '##по', '##пр', '##ият', '##ия', 'по', 'ф', '##л', 'кад',
```

Рис. 1. Пример токенизированного сообщения с помощью BertTokenizer

Также на вход модели необходимо подать сегментную маску. Для решаемой задачи сегментная маска для каждого сообщения формируется как последовательность нулей такой же длины, как и сообщение.

Последний элемент, который нужно сформировать, чтоб подать на вход в нейронную сеть – это attention маска. Данная маска обозначает, где в дополненной последовательности находится сообщение, а где добавленные символы. Все смысловые слова в маске помечаются единичкой, а все отступы помечаются 0.

Удобством использования библиотеки pytorch_transformers является то, что из нее можно скачать не просто предобученную версию BERT, а адаптированную версию под задачу, которую необходимо решить. Благодаря этому нет необходимости

самостоятельно дописывать поверх модели линейный слой для классификации, а можно просто взять готовый и натренировать его под нужную задачу. Для этого был использован класс BertForSequenceClassification.

Также важно отметить, что из всего многообразия версий BERT для решения поставленной задачи был выбран bert-base-uncased. Такой выбор был сделан для того, чтобы можно было обучить модель за разумное время.

Из двух основных способов применения технологии передачи обучения был выбран метод тонкой настройки.

Fine-tuning метод (метод тонкой настройки) изменяет параметры существующей глубокой сверточной нейронной сети для того, чтобы предобученная модель могла скорректировать веса на новых данных. Выходной слой инициализируется случайным образом, и за счет низкой скорости обучения все параметры нейронной сети постепенно изменяются для минимизации ошибки на новой задаче. Иногда некоторые слои (например, сверточные) все же замораживаются, для того чтобы предотвратить переобучение модели. В рамках рассматриваемой работы никакие слои нейронной сети не были заморожены.

Процесс обучения продемонстрирован на рис. 2.

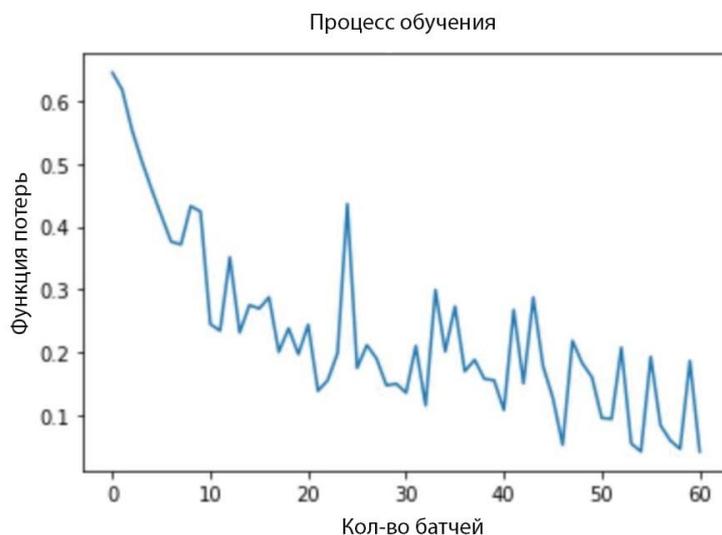


Рис. 2. Процесс обучения

Схематичное описание разработанного алгоритма представлено на рис. 3.

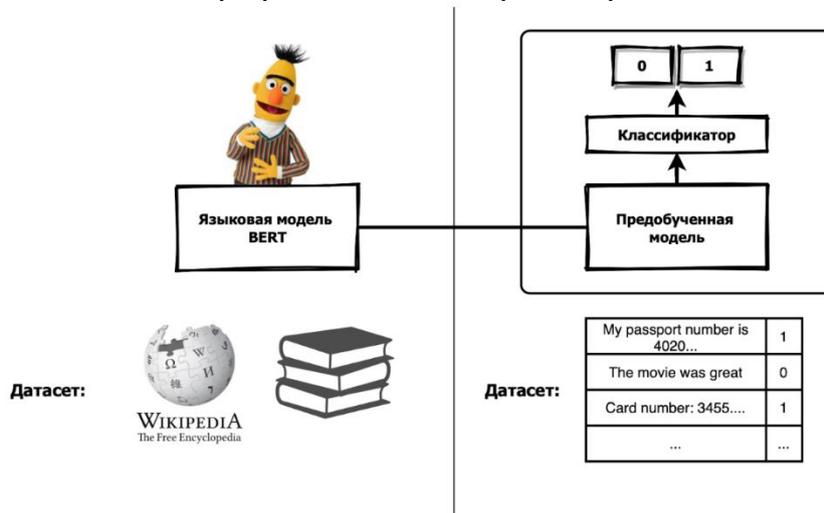


Рис. 3. Схема работы разработанного алгоритма

На тестовой выборке значения F1 метрики составило 0,97, что безусловно, является высоким показателем качества классификации и говорит о высокой работоспособности разработанного алгоритма. В то же время использование классической логистической регрессии из класса LogisticRegression модуля sklearn на том же самом наборе данных дает результат F1-метрики 0,90. Использование LSTM-сети из библиотеки keras также не дало более высокого результата. F1-метрика составила около 0,91, что по-прежнему меньше результата, полученного с использованием технологии передачи обучения.

Таким образом, в ходе проведенных исследований было продемонстрировано, что технология передачи обучения имеет место в задаче классификации текстовых документов на предмет их конфиденциальности в DLP-системах, а также позволяет достичь высокого качества классификации за счет того, что модель была заранее подготовлена и обучена на большом наборе данных.

В дальнейшей работе планируется провести очистку набора данных от служебных элементов для повышения качества классификации.

Литература

1. Аналитический центр InfoWatch. Утечки информации ограниченного доступа: отчет за 9 месяцев 2020 [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.infowatch.ru/analytics/reports/30708> (дата обращения: 05.02.2021)
2. Wang A. et al. GLUE: A multi-task benchmark and analysis platform for natural language understanding //arXiv preprint arXiv:1804.07461. 2018.

Ивановская Елизавета Вениаминовна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3449,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: liza.ivanovskaya@gmail.com

Волошина Наталия Викторовна

Год рождения: 1976

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: nataliv@yandex.ru

УДК 004.056.55

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСШИРЕННОГО МЕТОДА ВСТРАИВАНИЯ LSB ДЛЯ ЗАЩИТЫ МУЛЬТИМЕДИА ДАННЫХ

Е.В. Ивановская

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

Аннотация

В ходе работы было проведено исследование подходов расширенного встраивания в изображения формата BMP. Был разработан подход комбинированного встраивания, который позволил увеличить объем встраивания сообщений до 4-й битовой плоскости при сохранении качества результирующего изображения. Помимо увеличения объема встраивания было реализовано помехоустойчивое кодирование для защиты целостности сообщения при воздействии импульсных помех на контейнер и проведено исследование подходов встраивания закодированного сообщения. Был предложен подход покомпонентного встраивания, который оказался наиболее эффективным при декодировании сообщения с ошибками. Таким образом, предложенный подход расширенного встраивания с применением помехоустойчивого кодирования позволил увеличить объем встраивания сообщений до 4-й битовой плоскости, защитить целостность сообщения и обеспечить в результирующем изображении визуальную незаметность факта наличия встроеного сообщения.

Ключевые слова

Стеганография, многоуровневое встраивание в изображения, LSB, SSIM, PSNR, помехоустойчивое кодирование, код Хэмминга.

С развитием технологий растет актуальность проблемы обеспечения безопасности цифровых ресурсов. По данным IDC количество данных в мире к 2025 году увеличится до 160 зеттабайт. Большую часть этих данных составляют мультимедиа данные.

Таким образом, объем мультимедиа данных с каждым годом растет и на сегодняшний день не существует гарантированного метода для их защиты на всех этапах жизненного цикла. Поэтому задача защиты мультимедиа данных является актуальной.

Одним из решений данной задачи является применение стеганографических методов. Стеганография помогает скрыть сам факт существования информации. Сегодня встроить сообщение можно в речь, аудиозаписи, изображения, видео и даже в файлы программ.

Целью работы является увеличение объема встраивания сообщений в контейнер путем встраивания в несколько плоскостей, не ограничиваясь последними битами. При этом визуальное качество результирующего изображения должно сохраниться.

Исходным контейнером могут служить любые данные достаточно большого объема, например, изображения, аудиозаписи, видеозаписи или тексты программ. Их структура проста и, как правило, обладает большой избыточностью, позволяющей вместить значительный объем дополнительной информации [1].

Чаще всего в качестве стежоконтейнера используются именно изображения. Причинами этого являются:

- практическая значимость задачи защиты фотографий, картин и видео от незаконного копирования, и распространения;
- многие изображения имеют области, имеющие шумовую структуру, которые хорошо подходят для встраивания информации;
- криптоанализ таких систем начинается, обычно, с визуальной оценки, однако глаз не может различить незначительное изменение оттенка, что оставляет такой канал передачи информации вне подозрения.

Поэтому в работе рассматривается встраивание сообщений в изображения.

Изображения обладают психофизической избыточностью, которая позволяет встраивать сообщения при сохранении качества результирующего изображения. Психофизическая избыточность обусловлена особенностями зрительной системы человека. Не все детали изображения одинаково воспринимаются зрителем [2].

Таким образом, в работе в качестве контейнера используются изображения формата BMP, представленные в наиболее распространенной цветовой модели RGB.

В качестве зон встраивания будут использованы битовые плоскости изображений.

В качестве метрик визуальной незаметности были выбраны метрики PSNR и SSIM.

Для того, чтобы найти уровень искажения изображения (PSNR) необходимо вычислить абсолютную оценку – среднеквадратичное отклонение реального сигнала, описывающего изображение, от полезного по формуле 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i,j) - K(i,j)|^2}{mn}}, \quad (1)$$

где RMSE – среднеквадратичное отклонение исходного сигнала, описывающего изображение, от измененного; $I(i,j)$ – значение элемента заполненного контейнера; $K(i,j)$ – значение элемента «пустого» контейнера; $m \times n$ – количество элементов в контейнере.

Используя среднеквадратичное отклонение может быть вычислена относительная оценка – пиковое отношение полезного сигнала к шуму (PSNR) по формуле 2.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{max}}{RMSE} \right), \quad (2)$$

где PSNR – пиковое отношение полезного сигнала к шуму; A_{max} – максимальное значение сигнала; RMSE – среднеквадратичное отклонение реального сигнала, описывающего изображение, от полезного [3].

Отличительным признаком SSIM является то, что он учитывает структурные различия в паре изображений и наличие сильной корреляции в цвете соседних пикселей. Вычисление сходства выполняется в небольших окнах. Такие оценки сходства назвать локальными. Каждая из них оценивает яркость, контраст и структуру

двух изображений в окне. На заключительном этапе в качестве глобального значения индекса SSIM берется среднее арифметическое множества локальных оценок $ssim$.

Вычисление локальных оценок $ssim$ в окнах x и y размером $N \times N$ пикселей выполняется по формуле 3.

$$ssim(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (3)$$

где μ_x – среднее значение в окне x ; μ_y – среднее значение в окне y ; σ_x^2 – дисперсия значений в окне x ; σ_y^2 – дисперсия значений в окне y ; σ_{xy} – ковариация в окнах x и y ; константы $c_1 = (k_1L)^2$ и $c_2 = (k_2L)^2$, $L = 255$, – значения динамического диапазона допустимых значений яркости; $k_1 = 0,01$, $k_2 = 0,03$ – экспериментально определенные константы.

Итоговый индекс SSIM для изображений A и B вычисляется как среднее арифметическое локальных оценок по формуле 4.

$$SSIM(A, B) = \frac{1}{M} \sum_{x,y} (ssim(x, y)), \quad (4)$$

где A и B – два изображения равных размеров, M – количество окон [4].

В качестве входных данных были выбраны изображения формата BMP разного происхождения: портрет, скриншот программного кода, пейзаж.

Исходные тестовые изображения представлены на рис. 1, 2 и 3.

На рис. 1 изображен портрет кошки. Разрешение изображения – 604×604 . Размер изображения – 8 755 584 бит.



Рис. 1. Тестовое изображение №1

На рис. 2 представлен скриншот программного кода. Разрешение изображения – 282×161 . Размер изображения – 1 089 648 бит.

```
image = Image.open("full_image.bmp") #  
  
#размеры картинки  
w, h = image.size  
w = int(w)  
h = int(h)  
  
#до какой плоскости встраиваем  
plane = int(input("Enter plane : "))  
m_size = (plane+1)*w*h*3
```

Рис. 2. Тестовое изображение №2

На рис. 3 изображен пейзаж. Разрешение изображения – 1 920*974. Размер изображения – 44 881 920 бит.



Рис. 3. Тестовое изображение №3

В качестве встраиваемых сообщений были использованы псевдослучайные последовательности, представленные битовыми строками заданной длины.

Встраивание происходило постепенно, начиная с нулевой плоскости и заканчивая седьмой, таким образом, с каждой плоскостью увеличивался объем встраиваемого сообщения. Изначально в каждую плоскость встраивалось максимальное количество бит. Далее были рассмотрены комбинированные подходы встраивания.

1) встраивание в каждый бит плоскости,

В данном эксперименте проводилось встраивание в каждую плоскость, начиная с нулевой. Способ заполнения контейнера изображен на рис. 4.

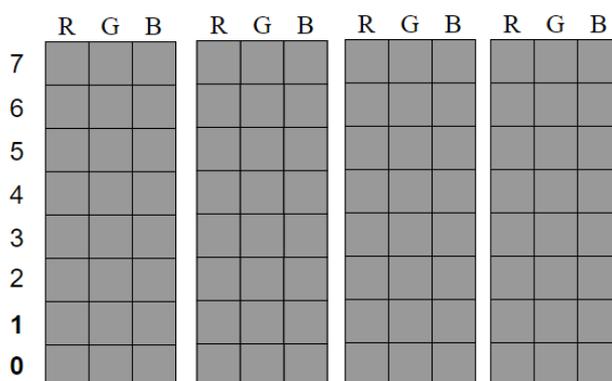


Рис. 4. Схема встраивания в каждый бит плоскости

Результаты экспериментов показали, что при встраивании во вторую плоскость и далее факт встраивания сообщения визуально заметен.

Таким образом, при таком подходе сообщения можно встраивать в последние две плоскости. При этом среднее значение метрики PSNR = 43,67 дБ, среднее значение метрики SSIM = 0,99.

2) Комбинированное встраивание.

После встраивания в каждую плоскость было предложено рассмотреть комбинированное встраивание для увеличения количества плоскостей для встраивания.

Комбинированное встраивание заключается в чередовании битов для встраивания. В нулевую плоскость биты сообщения встраиваются в каждый бит плоскости без чередования, в первую плоскость биты сообщения встраиваются в каждые два бита плоскости, во вторую плоскость биты сообщения встраиваются в каждые три бита плоскости и т.д. Способ заполнения контейнера изображен на рис. 5.

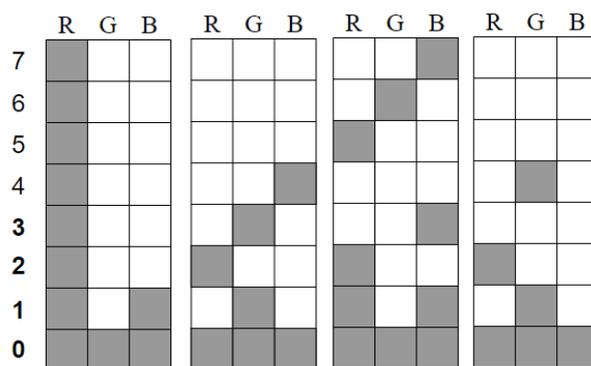


Рис. 5. Схема встраивания в каждый бит плоскости

В результате комбинированного встраивания было выявлено, что при таком подходе сообщения можно встраивать в последние четыре плоскости. При этом среднее значение метрики PSNR составляет 36,676 дБ, среднее значение метрики SSIM составляет 0,956.

Сравнивая два подхода расширенного встраивания методом LSB, в качестве алгоритма был выбран второй подход.

Помимо увеличения зон встраивания в начале работы была поставлена задача обеспечить защиту целостности встраиваемых данных, поэтому было предложено применить помехоустойчивое кодирование. В качестве помехоустойчивого кода был выбран самоконтролирующийся и самокорректирующийся код Хэмминга, который позволяет исправлять одну ошибку.

Для встраивания закодированного сообщения было решено рассмотреть два подхода: покомпонентное и попиксельное встраивание. В первом случае подразумевается встраивание сначала во все значения синей компоненты, затем красной и зеленой. Во втором случае подразумевается последовательное встраивание в каждое значение компонент пикселя: в синюю, в красную, в зеленую и т.д.

Для сравнения двух подходов были проведены эксперименты встраивания и извлечения закодированного сообщения с воздействием импульсных помех на контейнер.

Встраивание выполнялось расширенным методом в последние 4 плоскости изображения. Результаты экспериментов показали, что при покомпонентном подходе вероятность исправления ошибки при декодировании сообщения больше, чем при попиксельном подходе.

Таким образом, был реализован алгоритм расширенного метода встраивания LSB с использованием кода Хэмминга. В качестве языка программирования был выбран Python.

Количество зон встраивания было увеличено за счет увеличения плоскостей для встраивания. В методе для встраивания используются последние четыре плоскости, что по сравнению с классическим методом LSB позволяет встраивать информацию большего объема. При этом визуальная незаметность факта скрытия сообщения сохраняется.

Для оценки качества встраивания были выбраны метрики PSNR и SSIM. Полученные значения говорят о том, что качество результирующих изображений со встроенными сообщениями сохраняется.

Помимо увеличения объема встраивания было реализовано помехоустойчивое кодирование для защиты целостности сообщения при воздействии импульсных помех на контейнер и проведено исследование подходов встраивания закодированного сообщения. В качестве импульсных помех было реализовано изменение цвета пикселя

в черный цвет. Далее было предложено два подхода встраивания закодированного сообщения: попиксельный и покомпонентный. Подход покомпонентного встраивания оказался наиболее эффективным при декодировании сообщения с ошибками.

Таким образом, предложенный подход расширенного встраивания с применением помехоустойчивого кодирования позволил увеличить объем встраивания сообщений до 4-й битовой плоскости, защитить целостность сообщения и обеспечить в результирующем изображении визуальную незаметность факта наличия встроенного сообщения.

Литература

1. Текин В. Текстовая стеганография [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iso27000.ru/chitalnyi-zai/steganografiya/tekstovaya-steganografiya> (дата обращения: 07.02.2021).
2. Кожуховский А.И., Алгоритм сегментации видеоданных для устранения избыточности видеопоследовательностей // *Фундаментальные и прикладные научные исследования: Материалы международной научно-практической конференции*. 2017. С. 80-82.
3. Минаева Т.А., Волошина Н.В., Беззатеев С.В. Анализ стеганоаналитических методов обнаружения LSB-вставок для BMP-изображений // *Интеллектуальные и информационные технологии в формировании цифрового общества: сборник научных статей международной научной конференции*. 2017. С. 10–18.
4. Старовойтов, В. В. Уточнение индекса SSIM структурного сходства изображений / В. В. Старовойтов // *Информатика*. 2018. Т. 15. № 3. С. 41–55.

Киселева Полина Дмитриевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U3494,

направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика,

e-mail: polinakiseleva5@yandex.ru

Мурашова Светлана Витальевна

Университет ИТМО,

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент, ординарный доцент,

e-mail: fpp5@list.ru

УДК 339.138

**МАРКЕТИНГОВЫЕ АСПЕКТЫ ИННОВАЦИОННОГО
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

П.Д. Киселева

Научный руководитель – к.э.н., доцент С.В. Мурашова

Аннотация

В данной работе изучены инструменты маркетинга инновационного предпринимательства и особенности их использования компаниями различных организационных форм.

В ходе работы проанализированы современные подходы к продвижению инновационных товаров и услуг, а также факторы, влияющие на выбор маркетинговой стратегии отечественных и зарубежных компаний, рассмотрены основные тенденции развития маркетинга в условиях современной цифровой экономики.

В заключении разработаны практикоориентированные рекомендации по совершенствованию маркетинговой стратегии в инновационном предпринимательстве.

Ключевые слова

Маркетинг инноваций, инновационное предпринимательство, маркетинговая стратегия, продвижение инновационных товаров и услуг, цифровая экономика, эффективность затрат на маркетинг.

В современном мире глобальной конкуренции инновационное развитие является одним из ключевых направлений деятельности предприятий. Стремление компаний быть конкурентноспособными способствует появлению новых товаров или услуг или их совершенствованию. Однако, по данным зарубежной статистики среди товаров широкого потребления не приживаются на рынке около 40% новинок, а среди товаров промышленного назначения и сферы услуг 20% новинок остаются аутсайдерами. [1] Основные причины коммерческих неудач современных инновационных продуктов, по мнению зарубежных экспертов, представлены на диаграмме 1.

Диаграмма. Основные причины коммерческих неудач современных инновационных продуктов (рисунок).

Если говорить об отечественном рынке инновационных товаров, то статистика показывает, что причина трудностей около 80% российских компаний – слабая проработка маркетинговой стратегии позиционирования и каналов продаж продукта. Таким образом, конкурентоспособность компании, занимающейся инновационной деятельностью, напрямую зависит от выбора направления маркетинговой стратегии,

степени ее проработанности и используемых инструментов маркетинга, которые применяются на всех этапах реализации продукта.



Рисунок. Диаграмма. Основные причины коммерческих неудач современных инновационных продуктов

Специфика инновационного товара обуславливает сложность его продвижения на рынке. Для того, чтобы обеспечить эффективную коммуникацию с потенциальным потребителем новшества в маркетинге существует отдельное направление под названием маркетинг инноваций. На данный момент не существует универсальной стратегии для выведения новых продуктов на рынок, поскольку каждая отрасль обладает рядом особенностей, под которые разрабатывается маркетинговая стратегия.

Таким образом, исследование методов и инструментов продвижения инноваций остается актуальным и требует дополнительного изучения. В связи с этим проводится большое количество отечественных и зарубежных исследований, посвященных проблемам маркетинга инновационных продуктов.

Маркетинг инноваций – это маркетинговая деятельность компании по созданию, продвижению товаров, услуг, проектов и т. п., которые обладают существенно новыми свойствами. [2] Стоит отметить, что маркетинг инноваций отличается от традиционного в следствие специфики и новизны инновационного продукта, которые обуславливают высокую степень неопределенности на всех этапах его реализации.

В рамках данной работы рассматривались две организационные формы компаний: корпорации и стартапы, поскольку на данном этапе они являются основными игроками инновационного рынка в развитии экономики России.

В результате проведенного анализа, посвященного особенностям маркетинговой стратегии инновационных компаний, автором была разработана сравнительная таблица инновационных компаний, различных организационных форм (таблица).

Сравнение инновационных компаний различных организационных форм

Критерий	Корпорация	Стартап
Целеполагание	Наращение рыночной стоимости компании на долгосрочную перспективу	Максимальный рост рыночной стоимости компании в текущем периоде
Отношение к доходу	Стабилизация прибыли за счет увеличения числа постоянных потребителей	Получение максимальной прибыли в короткие сроки
Мотивация персонала	Нацеленность на результат корпорации	Достижение синергетического эффекта работы в команде
Взаимодействие с потребителем	Работа с рынком без учета его индивидуальных потребностей или запросов	Прямое взаимодействие с покупателями, ориентация на индивидуальные предпочтения
Маркетинговая стратегия по ориентированности на рынок	Стратегия массового и недифференцированного маркетинга	Стратегия дифференцированного маркетинга

Исходя из проведенного анализа, разработаны следующие рекомендации по совершенствованию маркетинговой стратегии предприятий различных организационных форм:

1. Для крупных корпораций с учетом невозможности адаптации производства под индивидуальные потребности рынка одним из возможных вариантов стабилизации прибыли является увеличение количества постоянных покупателей. Соответственно, для реализации этой задачи могут быть использованы следующие методы увеличения лояльности потребителей:

– повышение качества обслуживания клиентов. Сервис отражает отношение компаний к своим потребителям, поэтому стоит детально продумать путь, по которому проходит клиент: от знакомства с сайтом компании до послепродажного сервиса. Учитывая темпы развития рынка электронной коммерции, решение о покупке человек принимает исходя из информации, полученной на сайте компании. Соответственно, помимо основной информации о продукте и компании, у покупателя должна быть возможность оперативно получить дополнительные сведения. Для решения этого вопроса целесообразно разработать чат-бота для круглосуточной поддержки посетителей сайта и пользователей социальных сетей. Таким образом, компания сэкономит деньги на зарплаты специалистам техподдержки, а потребитель получит возможность непрерывного взаимодействия с компанией;

– программа лояльности. Возможность получения скидок, подарков, кэшбека и специальных предложений мотивирует потребителей вновь возвращаться за покупками. При этом процесс регистрации не должен занимать много усилий и быть сложным, покупателю удобнее, если при совершении покупки он автоматически станет участником программы лояльности, с возможностью доступа в личный кабинет при помощи номера телефона;

– мобильное приложение. Согласно статистике, количество покупок, совершенных через мобильные устройства, увеличивается с каждым годом. Создание собственного мобильного приложения позволяет оптимизировать взаимодействие

пользователей с компанией, отправлять прямые push-уведомления, напоминать покупателям о посещении магазина, акциях, рассказывать о новинках, тем самым, повышая конверсию продаж;

– омниканальность социальных сетей также позволяет оптимизировать взаимодействие потребителя с производителем. Покупателю важно иметь возможность обращения по любому удобному каналу связи, а у компании будет вся история обращения клиента и его покупок;

– для того, чтобы у компании было более точное представление о своих потребителях и их отношении к продукту, целесообразно использовать возможности искусственного интеллекта. Благодаря возможности обрабатывать большой объем данных без потерь, искусственный интеллект обеспечивает точный анализ аудитории, с помощью которого корректируются дальнейшие действия компании.

Также важно не только применять инструменты маркетинга по повышению лояльности потребителей, необходимо контролировать их эффективность. Для этого компании могут использовать индекс удовлетворенности потребителей и индекс лояльности клиентов, данные для которых получаются напрямую от покупателей и отражают их реальное мнение о сильных и слабых сторонах компании.

2. Для стартапов, учитывая их ориентацию на узкие сегменты рынка, оптимальным способом продвижения будет использование D2C-модели продаж. Direct to Consumer – модель прямого взаимодействия компании с потребителем, без участия посредников. Стоит отметить, что основной площадкой для взаимодействия между производителем и потребителем в рамках данной модели является Интернет. В условиях глобальной цифровизации с учетом темпов развития рынка электронной коммерции такой вид коммуникации является наиболее выгодным для обеих сторон.

Существует несколько схем, по которым компания может развивать D2C-каналы коммуникации с потребителем:

– персонализация. В данном случае подразумевается обеспечение каждого клиента адаптированных специально под него продуктов, услуг, цен и способов доставки. Добавление персонализации устанавливает индивидуальные отношения с клиентом. Несмотря на техническую сложность разработки платформы, возможность выбрать продукт и его атрибуты под индивидуальные потребности обеспечивает вовлеченность пользователей и повышает конверсию продаж. Например, компания Pupina, создала платформу для владельцев собак, где есть возможность создать личный профиль, указав ее породу, возраст, вкусовые предпочтения и дополнительную информацию. На основе данных компания предлагает индивидуальный рацион питания для собаки из продуктов компании с возможностью заказать доставку на дом;

– премиумизация. Повышение ценности товара путем наделения их определенными характеристиками и эксклюзивностью или ограниченный лимит товара. Товар ассоциируется с роскошью, к покупке он доступен только в конкретных местах и при определенных условиях. В данном случае важна визуальная подача продукта: дизайн, упаковка, сервис – все должно влиять на принятие решения о покупке. Например, отечественный бренд «Аленка» запустил онлайн-магазин с возможностью заказа эксклюзивных шоколадных наборов и эксклюзивных конфет, которых нет в оффлайн магазинах;

– подписная модель. Оформление подписки на продукт или услугу обеспечивает компанию стабильным источником дохода за счет регулярных поставок, адаптированных к потребностям потребителей. Модель подписки позволяет узнавать больше о товарах, которые клиенты хотят покупать на регулярной основе, о способах доставки и других продуктах, которые могут быть им интересны. С помощью этих данных компании могут создавать индивидуальные предложения для потребителей, повышая лояльность к бренду и увеличивая их покупательскую корзину;

– touchpoint Commerce. В переводе с английского означает «точки соприкосновения с клиентами» - различные взаимодействия пользователя с брендом - происходят до, во время и после того, как посетитель становится клиентом. Включает в себя все возможные каналы связи: социальные сети, e-mail рассылку, сообщения, лидеров мнений, сайт компании и т.д. Точки взаимодействия с клиентом разрабатываются при составлении карты пути клиента на этапе создания маркетинговой стратегии.

Для измерения эффективности использования данных рекомендаций и маркетинговой стратегии в целом, предлагается на основании кратной детерминантой экономико-математической модели использовать формулу эффективности затрат на маркетинг с учетом организационной формы компании.

Экономическая эффективность маркетинговых инструментов зависит от двух параметров: полученной прибыли и затрат на их реализацию [3]. В общем случае формула будет выглядеть следующим образом (1):

$$Кэф = \frac{\text{Доход от маркетинга}}{\text{Затраты на маркетинг}}, \quad (1)$$

где Кэф – коэффициент эффективности.

В случае, если коэффициент эффективности получается меньше или равным 1, реализованные мероприятия по продвижению продукта считаются неэффективными и компании необходимо пересматривать свою маркетинговую стратегию. Если полученный коэффициент больше 1, результаты маркетинговой деятельности считаются эффективными. Соответственно, задача компании определить, применение каких инструментов оказало наибольшее влияние на полученный результат, с целью их последующего применения и усовершенствования.

Рассмотрим основные слагаемые дохода и расхода данной формулы:

1. Доход, согласно видам деятельности, включает в себя две составляющие:

1.1 Линейный и активный доход от маркетинга: результат деятельности компании по привлечению новых клиентов. Средняя величина, которая рассчитывается, следующим образом:

Дакт = Количество, привлеченных клиентов * Средний чек покупки новых клиентов, где Дакт – активный доход от маркетинга.

1.2 Резидуальный или пассивный доход от маркетинга: результат деятельности компании по удержанию клиентов. Тоже средняя величина, которая рассчитывается по формуле:

Дпас = Количество, удержанных клиентов * Средний чек покупки удержанных клиентов, где Дпас – пассивный доход от маркетинга.

1.3 Косвенный доход, который получает любая организация и который не зависит от ее деятельности (далее – Дкос). Например, падение национальной валюты способно сократить объемы продаж или, напротив, вызвать волну продаж, мотивированных внешними факторами.

2. Затраты на маркетинг разделяются на три категории:

2.1 Затраты, связанные с организацией и содержанием отдела маркетинга:

- расходы на заработную плату маркетингового персонала (далее – Рзп),
- амортизационные отчисления (далее – А),
- эксплуатационные расходы и прочие, связанные с работой службы маркетинга (далее – Рэкс).

2.2 Затраты, связанные с маркетинговой деятельностью и реализацией маркетинговой стратегии. Эти затраты можно разделить по типу маркетинг-микс на несколько составляющих:

- расходы на мероприятия, связанные с разработкой товара и товарной политикой (далее – Ртов),
- расходы на мероприятия, связанные с ценовой политикой (далее – Рцен),
- расходы на мероприятия, связанные с продвижением продуктов (далее – Рпрод),
- расходы на мероприятия, связанные со сбытом (далее – Рсбыт),
- расходы на мероприятия, связанные с исследовательской и аналитической деятельностью маркетинга (далее – Риссл),

2.3 Косвенные расходы, которые не зависят от деятельности компании (далее – Ркос).

Следует отметить, что в результате анализа маркетинговой деятельности корпораций, было выявлено, что удержание потребителей за счет повышения лояльности клиентов, является одним из основных направлений маркетинга предприятия. Таким образом, для крупных компаний и стартапов формулы расчета экономической эффективности маркетинга, в частности, слагаемые затрат, будут отличаться. К вышеперечисленным затратам, для корпораций были добавлены расходы на увеличение лояльности клиентов (далее – Рлоял).

Таким образом, формулы расчета коэффициента эффективности затрат на маркетинг для стартапов и корпораций будут выглядеть следующим образом:

- 1) коэффициент эффективности затрат на маркетинг для стартапов:

$$Кэф = \frac{(Дакт+Дпас+Дкос)}{(Рзп+А+Рэкс+Ртов+Рцен+Рпрод+Рсбыт+Риссл+Ркос)}; \quad (2)$$

- 2) коэффициент эффективности затрат на маркетинг для корпораций:

$$Кэф = \frac{(Дакт+Дпас+Дкос)}{(Рзп+А+Рэкс+Ртов+Рцен+Рпрод+Рсбыт+Риссл+Ркос+Рлоял)}. \quad (3)$$

Литература

1. Бочкина О. Н., Ермакова М. Б. Маркетинг в системе разработки и реализации инновационных проектов // Сборник статей Международной научно-практической конференции «European Scientific Conference». 2017. С.119 – 127.
2. Ермакова Ж. А., Белоцерковская Н.В., Иванченко О. П. Соотношение и содержание понятий: маркетинг инноваций, инновационный маркетинг, маркетинговые инновации // Инновации. № 06 (188). 2014. 49 с.
3. Как рассчитать эффективность маркетинга [Электронный ресурс]. 2017. URL: <https://blog.iteam.ru/kak-rasschitat-effektivnost-marketinga/> (Дата обращения: 20.05.2021).

Колесников Никита Дмитриевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3448,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: nik-kron@mail.com

Таранов Сергей Владимирович

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

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

e-mail: serg.tvc@gmail.com

УДК 004.422.8

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ
МОШЕННИЧЕСТВУ В МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИГРАХ
НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ПРОТОКОЛА RAKNET**

Н.Д. Колесников

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

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка алгоритма для противодействия мошенничеству в многопользовательских играх на основе сетевого протокола RakNet».

Аннотация

В статье рассмотрено влияние деятельности мошенников на игровую индустрию. Дано определение мошенничеству, а также произведено разделение методов мошенничества на категории. Выделены основные механизмы защиты сетевого протокола RakNet, после чего произведено сравнение с аналогами. Механизмы защиты RakNet проанализированы на наличие уязвимостей. Произведены модификации, направленные на устранение выявленных уязвимостей. Оценено влияние модификаций на работу программы.

Ключевые слова

Видеоигра, многопользовательские игры, мошенничество, RakNet, сетевой трафик, механизмы защиты.

Индустрия видеоигр – это сектор, прибыли которого существенно возросли в последние годы, также и увеличилось количество вовлеченных в неё игроков. Говорить об этом позволяют следующие данные:

– в исследовании VanEck приводятся данные, что за 2020 год общая прибыль, которую принесла индустрия видеоигр, составила 179,7 миллиардов долларов [1];

– в статье Microsoft приводятся данные, что на середину 2020 года общая аудитория видеоигр составила более трех миллиардов человек [2].

Таким образом, индустрия видеоигр привлекает к себе большое количество мошенников, деятельность которых, согласно отчету Irdeto [3], в среднем приводит к потере 78% потенциальных доходов для игровых компаний. Особенно это касается многопользовательских игр, в которые одновременно вовлечено огромное количество игроков. Объясняются такие огромные потери тем, что присутствие большого количества мошенников в видеоигре, приводит к оттоку из нее значительной части

лояльной аудитории, что ввиду высокой распространенности Free-To-Play модели, в рамках которой основной доход генерируется не в результате приобретения игроком игры, а в результате покупки им внутриигровых товаров, приводит к названному выше проценту потерь.

Для подтверждения приведенных выше данных в качестве реального примера можно привести многопользовательскую игру PlayerUnknown's Battlegrounds (далее PUBG), которая была выпущена в 2017 году. Данная игра наиболее яркий пример влияния, которое оказывают мошенники, обилие которых часто выделяют в качестве одной из основных её проблем. Ситуация такова, что, согласно приблизительным подсчетам, вероятность встретить мошенника в одном матче с вами составляет 91,4% [4]. Применение разработчиками недостаточных мер по противодействию мошенничеству привел к оттоку значительной части аудитории из данной игры. Таким образом, пиковый онлайн PUBG сократился с 3 236 027 человек в день на январь 2018 до 444 680 человек на конец 2020 года [5], что составляет уменьшение аудитории на 86,26%.

Исходя из выше написанного, можно утверждать, что проблема мошенничества в многопользовательских играх является одной из самых актуальных на сегодняшний день.

Целью данной работы является снижение вероятности реализации атак типа «мошенничество» в многопользовательских играх путем разработки алгоритма обработки сетевого трафика в сетевом протоколе RakNet.

Для достижения этой цели мной были поставлены следующие задачи:

- сравнительный анализ механизмов защиты сетевого протокола RakNet от атак типа «мошенничество» с аналогами;
- анализ подхода, используемого в RakNet, по обеспечению защищенного сетевого соединения;
- разработка алгоритма обработки сетевого трафика с дополнительными механизмами защиты от атак типа «мошенничество» на основе схемы, используемой в сетевом протоколе RakNet;
- оценка разработанного алгоритма.

Начать стоит с понятия, что есть мошенничество в многопользовательских играх.

Мошенничество – это действия игрока, направленные на получение несправедливого преимущества перед его оппонентами в рамках одного игрового пространства.

Наиболее часто выделяют 15 методов мошенничества в многопользовательских играх, которые условно можно разделить на следующие категории:

- мошенничество, основанное на ошибках и недоработках разработчика. Сюда относятся методы, которые не подразумевают использования какого-либо специального ПО, однако требуют особых навыков от мошенника. Возможность реализации данных методов мошенничества устраняется путем обнаружения допущенных ошибок с последующим устранением их;
- мошенничество, реализуемое с применением специального ПО. В данную категорию включены методы, подразумевающие использование специального ПО, именуемого чит-программы;
- мошенничество, основанное на человеческом факторе. К данной категории относятся методы, предотвратить которые можно путем введения соответствующих организационных мер, а также посредством разработки рекомендаций для пользователей игры.

В рамках своей работы я анализировал механизмы защиты от метода мошенничества, основанного на перехвате и/или модификации сетевого трафика. Основную опасность данный метод представляет по причине того, что зачастую

является невозможным определить факт применения жульничества такого типа, используя стандартные античит-программы, ввиду следующих причин:

– данный метод мошенничества не оказывает значительного влияния на поведение игрока. Как, например, было бы при использовании чит-программ, которые производят автонаведение на цель;

– для применения чит-программ, относящихся к этому виду жульничества не является необходимым условием то, что игра и программа должны запускаться с одного устройства. Так, например, возможной является ситуация, когда игра запускается со смартфона, а чит-программа с другого устройства, находящегося в той же сети.

Моя работа была направлена на анализ открытой библиотеки сетевого протокола RakNet, используемого при разработке игр под такие платформы как PlayStation, Xbox, Windows, MacOS, Android и другие.

Если быть более точным, мною был произведен анализ механизмов защиты используемых в RakNet от мошенничества, основанного на перехвате и/или модификации сетевого трафика. А именно, в RakNet присутствуют следующие механизмы защиты:

– добавление кодов аутентификации сообщения и уникальных идентификаторов. Это производится для предотвращения атаки, заключающейся в подделке или воспроизведении дейтаграмм;

– применение шифрования данных. Данный механизм обеспечивает невозможность свободно анализировать содержимое пакетов, с целью извлечения полезных данных.

Для шифрования данных в RakNet применяется симметричный алгоритм шифрования ChaCha12, для получения общего ключа шифрования – протокол ключевого соглашения «Tabby».

Кроме этого, в рамках данной работы для ряда сетевых решений, применяемых при разработке многопользовательских игр, мною было произведено сравнение их механизмов защиты. Результаты приведены в табл. 1, где для каждого сетевого протокола были указаны используемые протокол ключевого соглашения и алгоритм шифрования данных, а также дополнительные средства, направленные на противодействие мошенничеству.

Таблица 1

Сравнение применяемых механизмов защиты

Сетевой протокол	Протокол ключевого соглашения	Алгоритм шифрования	Дополнительные механизмы защиты
RakNet	Протокол «Tabby»	ChaCha12	К сообщениям добавляются код аутентификации и уникальный идентификатор
Photon Engine	Протокол Диффи-Хеллмана	AES-256	Использование «фотонных жетонов» в механизме аутентификации
Steams Sockets	Протокол «Google QUIC»	AES-GCM-256	Отсутствуют

Из табл. 1 видно, что абсолютно во всех представленных случаях применяются облегченные шифры. Это связано с тем, что в многопользовательских играх баланс «скорость / надежность» смещается в пользу скорости. Задержка в данном случае, является куда более раздражительным фактором для пользователя, чем если бы он столкнулся с ней в процессе просмотра изображений или видеоконтента в сети интернет.

Отдельно можно выделить сетевой протокол RakNet, использующий ChaCha12. Данный алгоритм шифрования является более совершенным по сравнению с AES, применяемым в аналогах. Это касается не только более высокой степени безопасности, но и скорости, по которой AES в значительной степени уступает ChaCha12.

Сетевой протокол RakNet превосходит своих конкурентов и в вопросе выбора протокола ключевого соглашения. Протокол «Tabby», базируется на эллиптической криптографии, что опять же, как и в случае с выбором алгоритма шифрования, позволяет превосходить аналоги по скорости и надежности.

Ввиду того, что сетевой протокол RakNet превосходит аналоги, а также то, что он является одним из наиболее известных и применяемых сетевых протоколов для многопользовательских игр, именно он был выбран мной для анализа.

В ходе выполнения работы был произведен анализ открытой библиотеки сетевого протокола RakNet, с целью определения уязвимостей, которые мог бы использовать злоумышленник в процессе реализации мошенничества.

Общая схема защищенного соединения RakNet включает в себя генерацию ключевой пары на стороне сервера, «рукопожатие», результатом которого является общий ключ шифрования данных, а также обмен зашифрованными сообщениями.

Генерация ключевой пары на стороне сервера представляет собой сложный процесс, включающий в себя применение классов EasyHandshake, KeyMaker и KeyAgreementCommon. Данный процесс, для упрощения его понимания, можно свести к простому применению эллиптической криптографии, в результате чего получают приватный ключ, представляющий собой некоторое случайное значение от 1 до q , где q – размер конечного поля, и публичный ключ, являющийся некоторой точкой, принадлежащей используемой эллиптической кривой. После генерации ключевой пары публичный ключ по открытому каналу передается клиенту.

В данной части мною производилась проверка на наличие характерных для эллиптических кривых уязвимостей. Однако за счет применения скрученной кривой Эдвардса данные уязвимости отсутствуют.

Далее произведен анализ «рукопожатия», которое состоит из следующей последовательности процессов:

- генерация челленджа на стороне клиента;
- генерация ответа на стороне сервера;
- проверка ответа на стороне клиента;
- генерация доказательства на стороне клиента.

Процесс генерации челленджа на стороне клиента включает в себя применение классов EasyHandshake и KeyAgreementInitiator. В данной части повторяются действия, аналогичные тем, что были произведены на этапе генерации ключевой пары. В итоге на стороне клиента получают челлендж, который, как и в первом случае публичный ключ, представляет собой точку на эллиптической кривой. Здесь также применяется скрученная кривая Эдвардса.

Процесс генерации ответа на стороне сервера, включает в себя проверку полученного челленджа на валидность. А именно, производятся следующие проверки:

- полученный челлендж имеет размер 64 байта;
- данный челлендж действительно является точкой, принадлежащей заданной эллиптической кривой.

В данном процессе участвуют классы EasyHandshake, KeyAgreementResponder и AuthenticatedEncryption. На основании полученного челленджа генерируется ответ сервера.

На этом же этапе на стороне сервера с применением полученного челленджа, сгенерированного ответа, публичного ключа и алгоритма хеширования Skein получают общий ключ шифрования данных.

В рамках данного процесса был проанализирован применяемый алгоритм хеширования на наличие характерной для хеш-функций уязвимости, связанной с поиском коллизий. Однако для 72-х раундового алгоритма хеширования Skein поиск коллизии занимает 2^{512} операций, из чего следует, что уязвимость отсутствует.

Следующим был проанализирован сегмент, в котором производится проверка челленджа на валидность. Выявленная уязвимость заключается в том, что отсутствует проверка того, что челлендж получен от настоящего клиента. Это предоставляет злоумышленнику возможность повлиять на процесс генерации общего ключа шифрования данных.

В работе эта уязвимость была устранена за счет добавления идентификатора пользователя UID, который присваивается клиенту при первом соединении с сервером, а после чего добавляется клиентом к отправляемому на сервер челленджу.

Процесс проверки ответа на стороне клиента сводится к простой оценке того, имеет ли полученный ответ размер 128 байт или нет. Ключевым на этом этапе является то, что теперь, имея ответ, мы получаем последнее звено, необходимое для получения общего ключа шифрования уже на стороне клиента.

Процесс генерации доказательства на стороне клиента является завершающим в «рукопожатии». Доказательство необходимо для того, чтобы подтвердить, что на стороне клиента общий ключ шифрования данных был получен верно.

В завершении мною были проанализированы процессы шифрования и расшифрования данных. В обоих случаях применяются классы `AuthenticatedEncryption` и `ChaChaOutput`. В процессе шифрования данных производится добавление кода аутентификации сообщения и уникального идентификатора, после чего эти данные шифруются с помощью `ChaCha12`. При расшифровке код аутентификации сообщения и уникальный идентификатор сопоставляются с ожидаемыми значениями. Это производится с целью убеждения, что в процессе передачи данных они не были подделаны или же, один и тот же пакет не был отправлен несколько раз.

Изначально был проанализирован поточный алгоритм шифрования `ChaCha12` на момент наличия на него существующих атак, однако на текущий момент времени не существует более эффективной атаки, чем `BruteForce`, что является допустимым.

Далее мною был проверен сегмент, в котором происходит добавление к сообщению кода аутентификации. В итоге была выявлена уязвимость, заключающаяся в применении слабого алгоритма хеширования MD5. Данная уязвимость позволяет злоумышленнику за счет подбора нужной коллизии произвести изменение передаваемых данных.

В работе данный алгоритм хеширования был заменен на более надежный `SHA-256`.

Таким образом, в результате анализа механизмов защиты сетевого протокола `RakNet` от мошенничества было выявлено две уязвимости, которые после этого были устранены путем модификации программного кода.

По итогам модификаций был произведен ряд экспериментов, с целью оценки их влияния на скорость выполнения программы и размер отправляемых пакетов. Результаты приведены в табл. 2.

Согласно полученным данным, эти модификации, устраняя выявленные уязвимости, не оказали существенного влияния на размер передаваемых пакетов, а также на скорость выполнения модифицируемых сегментов кода.

Вероятность реализации мошенничества в многопользовательской игре напрямую зависит от степени надежности применяемых механизмов защиты. Таким образом, определив уязвимые места и устранив их, для злоумышленника закрываются потенциальные пути реализации мошенничества. То есть, цель по снижению вероятности реализации атак типа «мошенничество» была достигнута.

Оценка влияния произведенных модификаций

Модификация	Получаемая выгода	Размер отправляемого пакета, байт (До / После)	Время выполнения сегмента, миллисекунд (До / После)
Добавление UID	Усложнение задачи подделки челленджа злоумышленником	135 / 143	4.8 / 4.9
Изменение MD5 на SHA-256	Увеличение количества операций необходимых для нахождения коллизии с 2^{39} для MD5 до 2^{128} для SHA-256	72 / 96	0.014 / 0.1

Литература

1. VanEck. Video Gaming & Esports [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vaneck.com/espo/espo-whitepaper-video-gaming-esports-taking-media-and-entertainment-to-the-next-level.pdf> (дата обращения 11.04.2021).
2. Microsoft News [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.microsoft.com/2020/09/21/microsoft-to-acquire-zenimax-media-and-its-game-publisher-bethesda-softworks/> (дата обращения 13.04.2021).
3. Irdeto. GRAND THEFT GAMING 2.0 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://resources.irdeto.com/assets/e-book-grand-theft-gaming-2-0-1> (дата обращения 13.04.2021).
4. Reddit. PUBG cheating statistics [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.reddit.com/r/PUBATTLEGROUNDS/comments/el0vj/pubg_cheating_statistics/ (дата обращения 12.06.2021).
5. Steamcharts. PlayerUnknown's Battlegrounds [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://steamcharts.com/app/578080> (дата обращения 12.06.2021).

Конева Ксения Павловна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3447,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: koneva.k@list.ru

Виксин Илья Игоревич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: wixnin@mail.ru

УДК 004.056.2

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА
ОБНАРУЖЕНИЯ СКОМПРОМЕТИРОВАННЫХ
УЗЛОВ ДИНАМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ИНТЕРНЕТА
ВЕЩЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН**

К.П. Конева

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.И. Виксин

Аннотация

В работе рассмотрены существующие методы и подходы к выявлению скомпрометированных узлов в компьютерных сетях. Формализована модель информационного взаимодействия элементов динамической сети Интернета вещей с применением блокчейна для хранения истории информационного взаимодействия узлов. Разработан алгоритм обнаружения скомпрометированных узлов динамических сетей Интернета вещей. Оценена эффективность разработанного алгоритма.

Ключевые слова

Информационная безопасность, целостность информации, киберфизические системы, самоорганизующиеся беспроводные сети, интернет вещей, вредоносные узлы, блокчейн, репутационные механизмы.

Популяризация и распространение устройств Интернета вещей происходит во многих сферах, в том числе тех, для которых особенно важно обеспечение безопасности передаваемых данных – например, энергетика, промышленность и здравоохранение. Быстрый темп развития Интернета вещей и интерес к нему со стороны злоумышленников актуализируют задачу обеспечения защищенного сетевого взаимодействия между его компонентами. Сетевой основой взаимодействия узлов Интернета вещей являются самоорганизующиеся беспроводные сети. Такие особенности этих сетей, как децентрализованность, адаптивность, самоорганизация и отсутствие постоянной топологии, делают невозможным применение классических методов обеспечения безопасного информационного взаимодействия, как, например, центры сертификации или центральные серверы управления. При этом, нарушение целостности информации, передаваемой одним узлом, способно нарушить работу соседних элементов, нанести вред всей структуре сети и привести к потере ее работоспособности.

Существование в системе скомпрометированных, или вредоносных, узлов лучше всего обнаруживаются посредством мониторинга и анализа их поведения. Для обнаружения поведенческих аномалий в киберфизических системах применяются [1] поведенческие методы, которые требуют вычислительных ресурсов, но не предусматривают адаптации к изменениям в поведении системы и непригодны для работы с системами с большим объемом данных, а также методы интеллектуального анализа, которые сложны в интерпретировании полученных результатов, и, кроме того, требуют большой исходной выборки данных и предварительного обучения для построения адекватной модели.

В данной работе используются подход, основанный на репутационных механизмах, при котором каждому элементу системы присваивается некоторое значение показателя доверия или репутации, на основе которого остальные участники системы принимают решение о его дальнейшем участии в функционировании системы. Этот подход позволяет обнаруживать нарушение целостности, вызванное скрытым деструктивным воздействием, и оттого более сложное для выявления. Ряд эмпирических исследований, таких как [2], доказывает эффективность метода использования репутационных оценок.

Использование технологии Блокчейн позволяет обеспечить доступ к полной истории информационного взаимодействия между всеми узлами динамической сети Интернета вещей и защитить данные о взаимодействии субъектов от изменения, фальсификации и удаления, что обеспечивает надежность системы. Помимо того, что он хранит полную структуру взаимодействия, данные в блокчейне хранятся в блоках, имеющих постоянную структуру, а значит удобную для обработки и анализа.

Классифицируя нарушения целостности информации по намеренности их организации, можно разделить на преднамеренные и непреднамеренные. Преднамеренными считаются те нарушения, которые были вызваны специально для нарушения функционирования элемента или сети. Непреднамеренные нарушения, напротив, возникают вследствие возникновения нарушений работоспособности элемента, среды передачи или сети. Для выявления непреднамеренных нарушений информация в системе проходит синтаксическую валидацию, выявление преднамеренных достижений достигается применением репутационных механизмов.

В данной работе система элементов динамической сети интернета вещей рассматривается как киберфизическая система, представляющая из себя совокупность гомогенных элементов. Целью системы является обнаружение элементов, нарушающих работу системы, целью элементов системы - взаимодействие только с теми элементами, ретроспективная оценка действий которых позволяет считать их поведение корректным. Таким образом, обнаружение скомпрометированных узлов сводится к задаче выявления узлов с низким значением оценки репутации, при достижении порогового значения которой элемент исключается из информационного взаимодействия.

Репутация (R) – показатель, сформировавшийся во времени и в процессе оценки истинности элементом-субъектом элемента-объекта; используется для достижения цели элементов системы.

Глобальная репутация (R_g) – показатель, характеризующий обобщенную оценку всех действий элемента-объекта прочими элементами системы; используется для достижения цели системы. Глобальная репутация элемента системы в момент начала функционирования системы принимается как среднее значение диапазона допустимых значений.

Истинность (Truth) – показатель, характеризующий субъективную оценку информации, предоставляемую объектом наблюдения субъекту.

Принцип формирования показателя репутации представлен на рис.1.

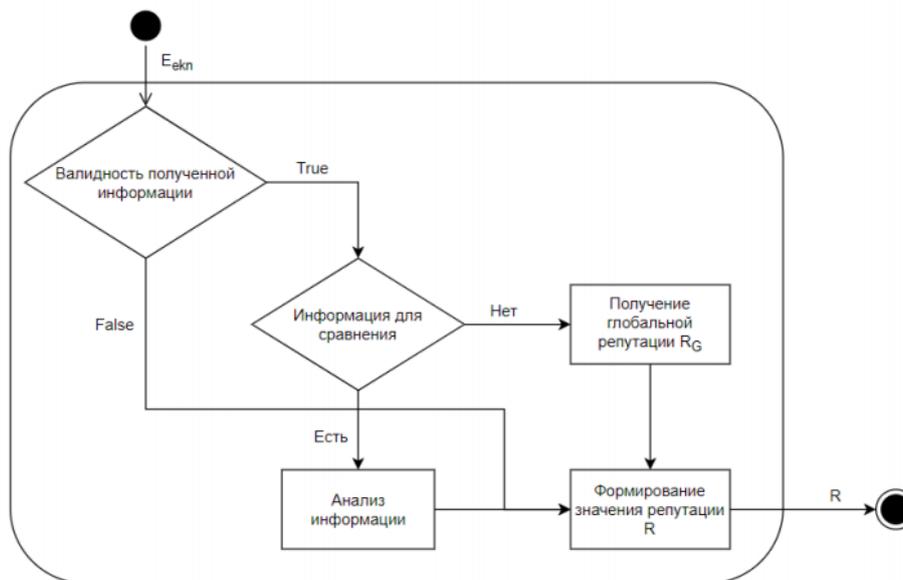


Рис. 1. Формирование значение репутации

Так как взаимодействие в самоорганизующейся сети характеризуется тем, что взаимосвязи между узлами в такой сети случайны во времени и способны меняться и формироваться для достижения цели или передачи информации, то их наличие между элементами системы описывается с помощью динамической симметричной матрицы связей CON , а возможность оценки информации описывается с помощью симметричной матрицы возможности проверки СНК.

В системе существует множество элементов системы – майнеров, способных добавлять данные о транзакциях в блокчейн. Элемент системы становится элементом множества майнеров при достижении некоторых условий, одно из которых – превышение необходимого порогового значения репутации. Перед началом функционирования системы определяются три элемента-майнера, изначально обладающие повышенной репутацией вследствие дополнительных проверок и различных мер по обеспечению информационной безопасности этих элементов.

В ходе работы системы элемент периодически снимает показание среды, затем пересылает это значение всем элементам из множества тех, с которыми у него есть связь, при условии, что он считает их доверенными. Другие элементы в зависимости от возможности проверить показания первого элемента либо формируют оценку полученного сообщения и отправляют её майнеру, либо запрашивают у майнеров глобальную репутацию первого элемента, рассчитанную в системе.

Когда майнеры получают информацию для записи в блокчейн, проводится аукцион для определения узла, формирующего новый блок. Победивший начинает формировать блок с информацией о информационном взаимодействии узлов, который потом пойдёт на валидацию другим майнерам подсистемы. Если блок валиден, то он записывается в блокчейн, иначе блок начинает генерировать другой майнер подсистемы. В системе существуют два типа блоков – блоки взаимодействия и блоки слияния. Блоки слияния используются для соединения данных из двух или более цепочек в случае распада системы на подсистемы, при котором и блокчейн разделяется на несколько цепочек, образуя направленный ациклический граф.

Формализованная модель взаимодействия в системе представлена на рис. 2, а работа разработанного алгоритма на рис. 3.

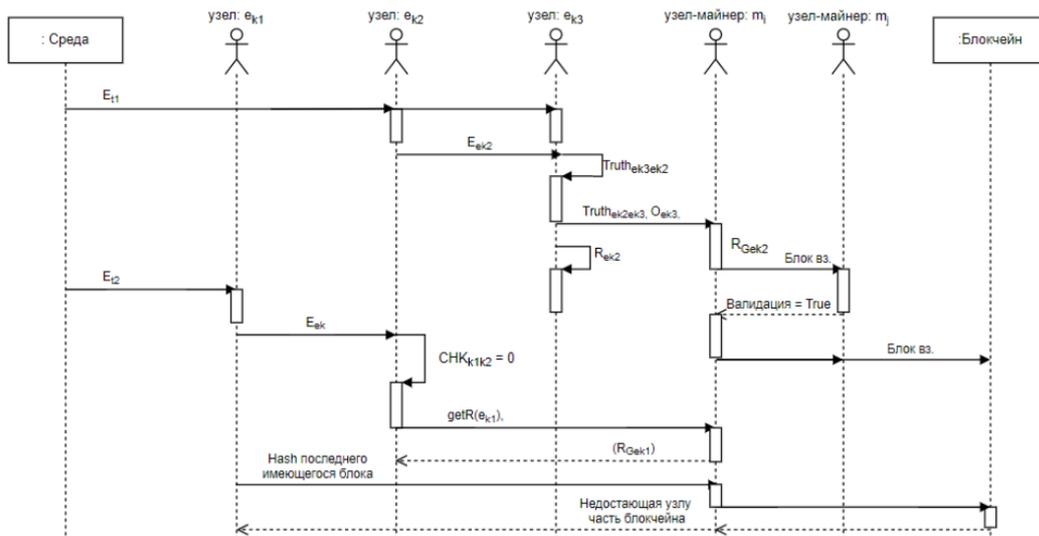


Рис. 2. Модель информационного взаимодействия элементов динамической сети Интернета вещей с применением технологии блокчейн

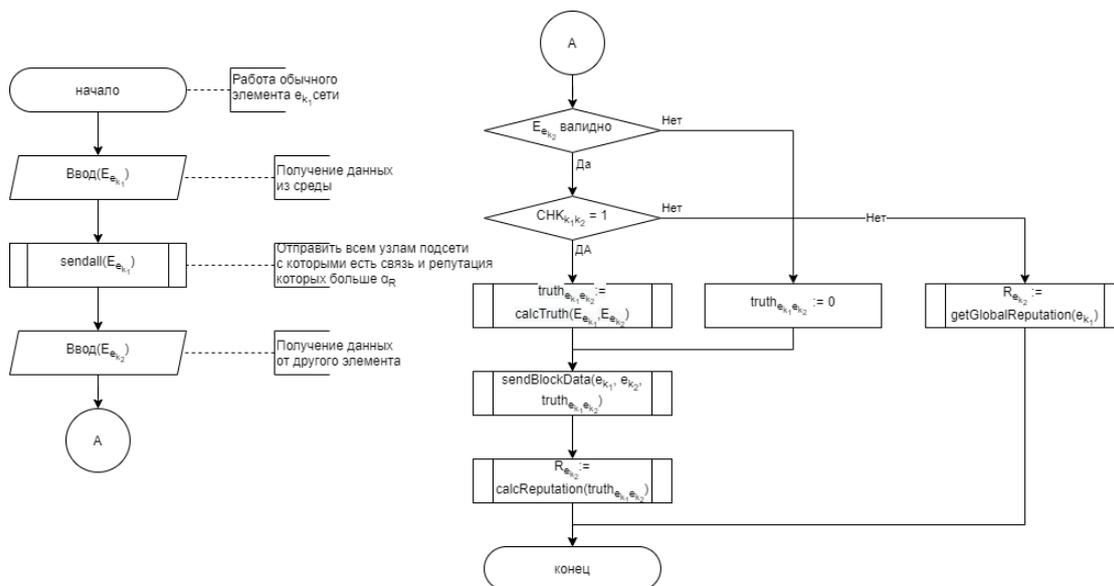


Рис. 3. Алгоритм обнаружения скомпрометированных узлов динамических сетей Интернета вещей

Для оценки работы алгоритма была разработана настраиваемая модель сети Интернета вещей с помощью фреймворка ROS, языка программирования Python 3.8 и модуля gosru для их интеграции. При запуске модели задаются такие параметры, как количество узлов, диапазон показаний среды, время моделирования, граничное значение, по которой определяется истинность информации, значение репутации, при котором элемент исключается из информационного взаимодействия, а также значение репутации, при котором элемент входит в множество майнеров.

Была проведена серия экспериментов, в которых изменяется общее количество элементов в системе, а также процент нарушителей в системе. В рамках экспериментов реализовалась атака на основе концепции on-off [3]. На рис. 4 представлено изменение доли корректно определенных элементов-нарушителей по отношению ко всем элементам, которые являются нарушителями, с увеличением их числа.

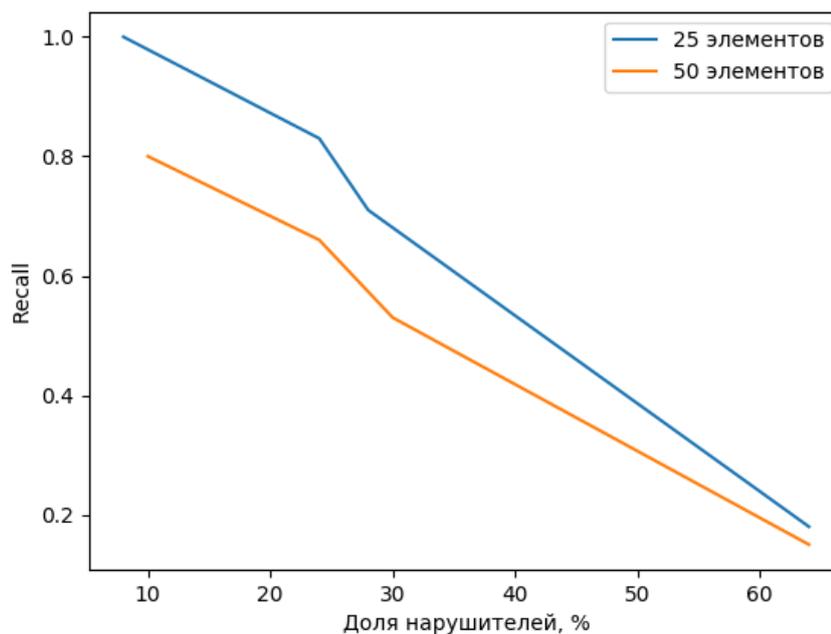


Рис. 4. Изменение метрики Recall

Результаты экспериментов показывают, что эффективность алгоритма значительно падает при достижении нарушителями трети от общего числа элементов в сети, что соответствует решению задачи о византийских генералах. При этом точность определения нарушителей при их количестве меньше трети от общего числа составляет около 70%. Количество ошибок второго рода при увеличении числа нарушителей при этом не растет, так как элементы-нарушители в разработанной системе не координируют свои действия для нанесения системе максимального ущерба, а действуют хаотично.

В результате работы был разработан алгоритм обнаружения скомпрометированных узлов динамических сетей интернета вещей с применением технологии блокчейн. Применение технологии блокчейн позволяет обеспечить безопасное хранение данных о информационном взаимодействии узлов сети, применяемых для расчета репутационных оценок. Для проверки эффективности было проведено моделирование работы системы с применением разработанного алгоритма. Проведение серии экспериментов показало достижение показателя точности работы алгоритма в 70%. В рамках дальнейших исследований возможны адаптации разработанного решения для координированной атаки, для выявления атак на репутационные оценки и для сетей с ограниченной вычислительной мощностью узлов.

Литература

1. Гайфулина Д.А. Аналитический обзор методов обнаружения аномалий сетевого уровня киберфизических систем // Альманах научных работ молодых ученых XLVII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. 2018. № Том 1. С. 4-7.
2. Chuprov S., Viksnin I., Kim I., Marinenkov E., Usova M., Lazarev E., Melnikov T., Zakoldaev D. Reputation and Trust Approach for Security and Safety Assurance in Intersection Management System // Energies. 2019. Vol. 12, No. 23. P. 4527.
3. Perrone L.F., Nelson S.C. A Study of On-Off Attack Models for Wireless Ad Hoc Networks // 2006 1st Workshop on Operator-Assisted (Wireless Mesh) Community Networks. 2006. P. 1-10.

Кочарина Екатерина Александровна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т3425,

направление подготовки: 19.03.03 – Продукты питания животного происхождения,

e-mail: kochka.katka@yandex.ru

Надточий Людмила Анатольевна

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: l.tochka@mail.ru

УДК 637.146

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И СОСТАВА ЙОГУРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е.А. Кочарина

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

Работа выполнена в рамках темы НИР №6 «Разработка ресурсосберегающей технологии и состава йогурта функционального назначения».

Аннотация

В данном проекте рассматривается разработка йогурта функционального назначения с наполнителем на основе льняного шрота, который образуется в ходе производства льняного масла. Использование данного вторичного сырья в пищевой промышленности позволяет тем самым обеспечить сохранность такого полезного ресурса, как шрот. Он содержит незаменимые жирные кислоты Омега-3 и лигнаны, способствующие лучшему усвоению пищевых веществ.

Ключевые слова

Льняной шрот, йогурт, разработка рецептур, функциональные продукты, пищевые волокна.

Функциональные продукты питания за последние годы получили большое распространение, благодаря их положительному действию на организм человека. Люди часто сталкиваются с проблемами со здоровьем из-за неправильного образа жизни, пагубных привычек, малоподвижности, внешних факторов, в том числе и окружающей среды. Это приводит к тому, что в организме возникает дефицит белков, жиров, углеводов и не хватает энергии.

Функциональные продукты питания могут быть одним из выходов в данной ситуации. Такие продукты позволяют улучшить состояние здоровья человека, снизить риск развития различных заболеваний, восполняют дефицит необходимых ингредиентов [1].

В качестве функционального ингредиента используются многие пищевые продукты, в том числе полученные из вторичной переработки сырья.

Утилизация отходов при переработке сырья – важная составляющая любого производства, поэтому многие ученые искали пути внедрения вторичного сырья в продукты питания, с целью повышения их пищевой ценности. Так, О.Н. Пахомова в

своих исследованиях изучала перспективность использования шрота и жмыха для повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания [2].

Однако, вариантов технологий изготовления и применения вторичного сырья в качестве пищевого волокна недостаточно.

Целью работы являлась разработка ресурсосберегающей технологии и состава йогурта функционального назначения.

В процессе исследования была разработана рецептура молочно-растительной смеси, с добавлением льняного шрота от 2,5% до 7,5% с шагом 2,5%, которая представлена в табл. 1.

Таблица 1

Рецептура экспериментальных образцов йогурта

Сырье, г	Образец			
	1 (контрольный)	2 (2,5%)	3 (5%)	4 (7,5%)
Молоко 2,5 %-ной жирности	200	195	190	185
Шрот льняной	–	5	10	15

В качестве закваски во всех образцах применялась культура прямого внесения CBL 1 (MARINO SRL). Состав состоит из микроорганизмов: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследовать влияние шрота семян льна на динамику кислотонакопления молочно-растительной смеси.

2. Изучить органолептические свойства исследуемых образцов йогурта разрабатываемого продукта.

3. Исследовать функциональные свойства йогурта с наполнителем.

Методика эксперимента заключалась в том, что молоко сырье пастеризовали при температуре 87 ± 2 °С в течении 15 минут, затем охлаждали до температуры 42 ± 2 °С, вносили при данной температуре закваску и перемешивали до однородной консистенции, далее в подготовленную смесь вносили рассчитанные дозы льняного шрота, предварительно обработанного ультрафиолетовым облучением. На следующем этапе заквашенную смесь ставили в термостат до достижения активной кислотности при температуре 42 ± 2 °С, контролем являлся образец, который был изготовлен без внесения растительного наполнителя. По достижению активной кислотности, образцы с йогуртом доставали из термостата, перемешивали и отправляли на охлаждение в холодильник при температуре 4 ± 2 °С.

Активную кислотность образцов определяли на рН-метре- 410. Динамика кислотонакопления представлена на рис. 1.

Согласно данным рис. 2, образец №1 являлся контрольным и достиг показателя рН= 4,65 за 6 часов сквашивания. Одновременно с контрольным образцом сквашился образец №2 с добавлением 2,5 % льняного шрота и достиг рН= 4,62 за 6 часов. Образцы №3 и №4 достигли оптимального уровня кислотности за 7 часов, что на 1 час увеличивает технологический процесс сквашивания йогурта.

Таким образом в ходе эксперимента доказано, что добавление 2,5% льняного шрота не влияет на время сквашивания образцов. Добавление 5% и 7,5% шрота значительно замедляет процесс сквашивания йогурта.

Для исследования влияния льняного шрота на органолептические показатели образцов йогурта производилась оценка в соответствии с ГОСТ ISO 22935-2-2011 «Молоко и молочные продукты».

Органолептический анализ. Рекомендуемые методы органолептической оценки» и представлена на рис. 2 [3].

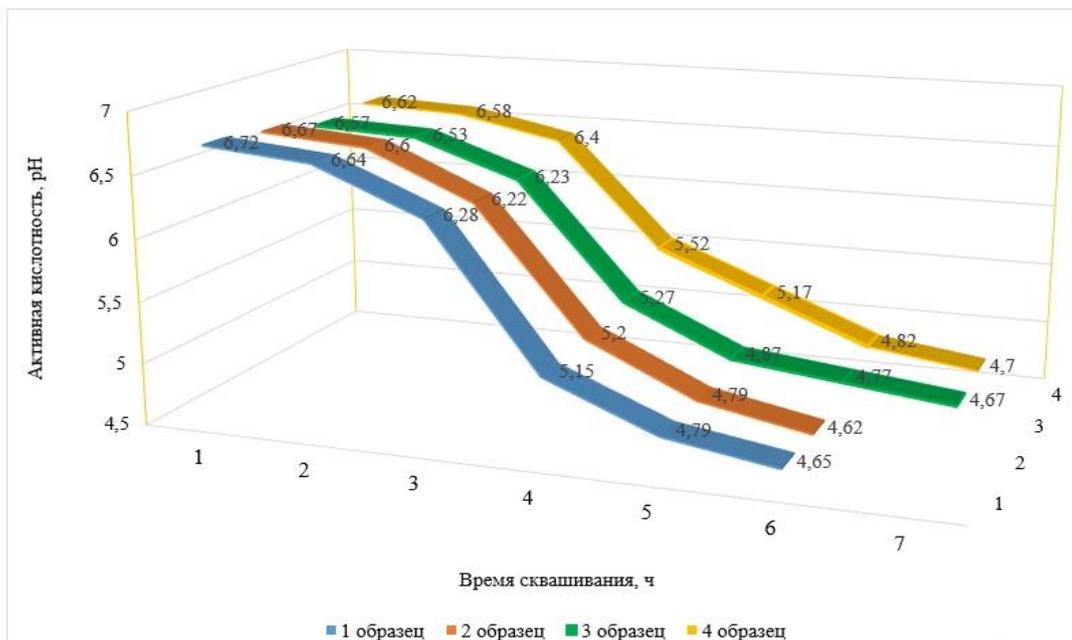


Рис. 1. Динамика кислотонакопления образцов йогурта

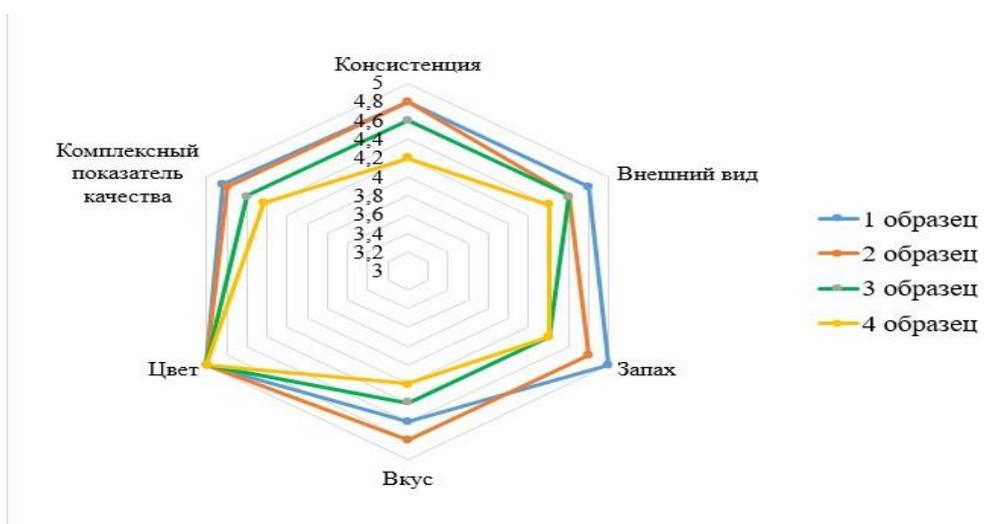


Рис. 2. Органолептическая оценка йогурта с добавлением льняного шрота

Органолептическая оценка образцов йогурта проводилась комиссией в количестве 5 человек. Образец №2 обладает менее выраженным ароматом, чем образец №1. Образцы №3, 4 характеризовались снижением органолептических характеристик. Лучшим образцом являлся образец №2, так как по комплексному показателю качества, что составляет 4,8 балла он максимально приближен к контрольному образцу №1, комплексный показатель которого равен 4,84.

Для оценки функциональности готового продукта была составлена табл. 3 содержания пищевых веществ в льняном шроте.

Рецептура молочно-растительной смеси для производства йогурта функционального назначения представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Рецептура молочно-растительной смеси
для производства йогурта функционального назначения**

Ингредиенты	Массовая доля ингредиентов на порцию продукта	
	на 100 г	на 200 г
Молоко коровье 2,5 %	97,5 г	195 г
Льняной шрот	2,5 г	5 г
ИТОГО	100 г	200 г

Таблица 3

Расчет функциональности разработанного продукта

Микронутриенты	Норма потребления для взрослого человека в РФ	Содержание микронутриента в 100 г			Содержание микронутриента в порции продукта, г			Удовлетворение суточной потребности в микронутриентах за счет употребления		
		базового продукта (БП)	Дополнительного ингредиента (ДИ)	Комплексного продукта (КП= БП (97,5%) + ДИ (2,5%))	БП, 195г	ДИ, 5г	КП 200 г	100г КП, %	порции КП (г), %	ДИ в порции продукта, %
Пищевые волокна, г	20	0	30,00	0,75	0	1,50	1,50	3,75	7,50	7,50
Железо, мг	14	0,10	197,00	5,03	0,19	9,85	10,05	35,93	71,79	70,36
Фосфор, г	1,2	0,09	8,50	0,30	0,17	0,43	0,60	25,00	50,00	35,80
Кальций, г	0,8	0,11	3,4	0,20	0,22	0,17	0,39	25,00	48,75	21,25
Омега-3, г	1	0	5,60	0,14	0	0,28	0,28	14,00	28,00	28,00
Омега-6, г	0,7	0	1,7	0,04	0	0,09	0,09	5,7	12,86	12,86
Натрий, г	5	0,05	3,9	0,15	0,10	0,20	0,30	3,00	6,00	4,00
Витамин В1, мг	1,6	0,04	10,2	0,29	0,08	0,50	0,58	18,75	36,88	31,88
Витамин Е, мг	9	0,1	5,8	0,24	0,20	0,29	0,49	2,67	5,44	3,22

Льняной шрот рассматривается как функциональный ингредиент и должен обеспечивать не менее 15% от суточной потребности в тех или иных веществах за счет

употребления порции продукта [4]. Для оценки функциональности продукта было рассчитано содержание веществ в порции продукта 200 г. Был произведен расчет, который показывает высокий уровень обеспечения организма в ряде микронутриентов, таких как железо, фосфор, кальций, Омега-3, витамин В1. Таким образом, шрот семян льна можно считать функциональным ингредиентом в составе йогурта.

Исходя из проведенных экспериментов возможно сделать следующие выводы:

1. Доказано, что доза растительного компонента влияет на динамику кислотонакопления молочно-растительных смесей. Исследуемый образец с добавлением 2,5 % шрота семян льна наиболее приближен к контрольному образцу по изучаемому показателю.

2. На основании исследования органолептических свойств образцов был отобран образец йогурта с добавлением 2,5 % шрота семян льна, который обладал высоким комплексным показателем оценки (4,8), наиболее приближенным к показателю контрольного образца (4,84).

3. Расчетным путем доказаны функциональные свойства разработанного продукта, в частности порция йогурта в количестве 200 г обеспечивает не менее 70,36%, 35,80%, 21,25%, 28,00%, 31,88% суточной потребности в железе, фосфоре, кальции, Омега-3, витамине В1 соответственно.

В дальнейшей работе планируется применение различных стабилизаторов для улучшения структуры молочно-растительной смеси.

Литература

1. Забодалова Л.А. Технология цельномолочных продуктов и мороженого / Забодалова Л.А., Евстигнеева Т.Н. СПб.: Лань. 2018. 352 с.
2. Перспективность использования жмыхов и шротов масличных культур для повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://old.orelgiet.ru/docs/84_20_02_12.pdf.
3. ГОСТ ISO 22935-2-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Рекомендуемые методы органолептической оценки. М.: Стандартиформ 2013. 19 с.
4. ГОСТ 52349-2005 Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. М.: Стандартиформ. 2006. 12 с.

Курятов Евгений Андреевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасных информационных технологий,

студент группы №N3447,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: evg.kuryatov@gmail.com

Авксентьева Елена Юрьевна

Год рождения: 1981

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.п.н., доцент,

e-mail: eavksenteva@itmo.ru

УДК 004.056.53

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЗАЩИТЫ
ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ ДОСТАВКИ И ИНТЕГРАЦИИ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Е.А. Курятов

Научный руководитель – к.п.н., доцент Е.Ю. Авксентьева

Аннотация

В работе рассмотрена разработка методики для защиты процесса непрерывной доставки и интеграции программного обеспечения, построенного на базе технологий Jenkins, Ansible и Terraform, а также разработка программного средства, позволяющего автоматизировать процесс защиты и обеспечивать его непрерывность, посредством встраивания процессы непрерывной интеграции.

Ключевые слова

Непрерывная доставка, непрерывная интеграция, Ansible, Terraform, Jenkins, инфраструктура как код, информационная безопасность.

Повсеместный рост темпов производства программного обеспечения влечет за собой необходимость оптимизации процессов разработки. Крупные компании сталкиваются с необходимостью управлять огромной инфраструктурой, включающей в себя десятки окружений, состоящие из нескольких серверов. Все эти окружения используются отделами разработки и контроля качества и требуют постоянного управления. Для автоматизации рутинных процессов управления инфраструктурой используют процессы непрерывной доставки и интеграции, базирующиеся на специальных инструментах. Неправильное использование этих инструментов приводит к возникновению проблем с информационной безопасностью, поэтому с ростом популярности внедрения таких процессов приходит необходимость в организации их защиты. К сожалению, в открытом доступе не было представлено ни одного комплексного решения для такой задачи, поэтому в данной работе представлено решение, позволяющее решить задачу защиты процесса непрерывной доставки и интеграции для технологического стека, состоящего из Ansible, Terraform и Jenkins [1].

Terraform является инструментом для развертывания, изменения и версионирования облачной инфраструктуры. Этот инструмент позволяет реализовывать подход к организации управления облачной инфраструктурой, который называется «Инфраструктура как код». Такой подход предполагает описание всей

инфраструктуры в виде скриптов или файлов конфигурации, используя которые специальные инструменты смогут восстановить описанную инфраструктуру. К сожалению, Terraform хорошо справляется с задачей управления облаком на уровне облачных операций, вроде управления серверами, дисковыми хранилищами или плавающими адресами. Для того чтобы обеспечить возможность настройки окружений на программном уровне в процессе, описанном в данной работе, используется Ansible – средство управления конфигурациями, которое позволяет настраивать развернуты при помощи Terraform виртуальные машины до состояния, в котором ими смогу пользоваться разработчики, тестировщики или работники занимающиеся контролем качества. В итоге таких скриптов, которые позволяют обслуживать окружения оказывается много, и для организации централизованного управления ими используют оркестрационные сервера. Одним из таких является Jenkins. На рисунке в общем виде представлена схема процесса, на которой можно увидеть какую роль в какой момент играет каждый из описанных инструментов (рисунок).

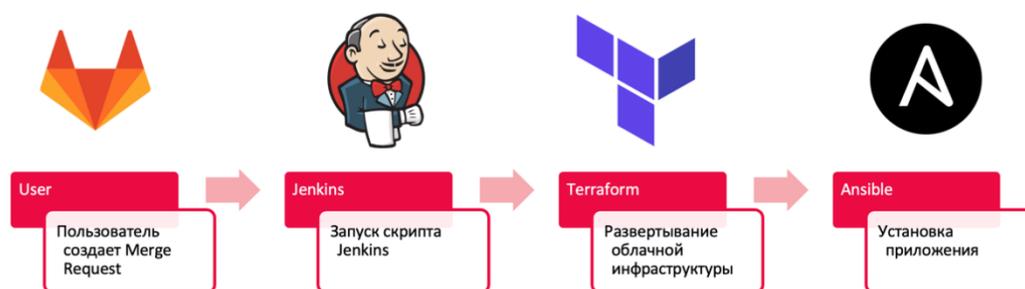


Рисунок. Схема процесса непрерывной доставки и интеграции

Каждый из этих инструментов подразумевает написание конфигурационных файлов и скриптов, а Jenkins помимо всего прочего также является сервером. Поэтому для обеспечения безопасности при использовании этих инструментов было принято решение о разработки контрольного списка, используя который можно оценить защищенность процесса непрерывно доставки и интеграции. Разработанный контрольный список включает в себя проверки, которые необходимо выполнить для процесса, а также рекомендации, которые необходимо выполнить, в случае если проверка не была пройдена. В таблице приведена часть контрольного списка для ознакомления [2, 3].

Таблица

Часть контрольного списка для ознакомления

Проверка	Рекомендация
Проверка конфигурационных файлов Terraform на наличие комментариев, содержащих описание уязвимостей и ошибок в коде	Удалить найденные комментарии
Проверка конфигурационных файлов Terraform на наличие паролей, токенов и ключей, хранящихся в открытом виде	Замаскировать пароли, токены и ключи при помощи переменных и передавать их в командную строку при вызове утилиты terraform используя секреты Jenkins

продолжение таблицы

Проверка	Рекомендация
Проверка скриптов Ansible на наличие комментариев, содержащих описание уязвимостей и ошибок в коде	Удалить найденные комментарии
Проверка кода Ansible скриптов на наличие секретов, хранящихся в открытом виде	Ansible имеет встроенный функционал для шифрования. Для исправления необходимо использовать утилиту ansible-vault для шифрования всего файла с секретами, либо встроить зашифрованную переменную в существующий файл
Проверка конфигурируемого программного обеспечения на наличие привязки к 0.0.0.0	Заменить привязку к 0.0.0.0 на привязку целевому IP адресу
Проверка https при передаче секретов	Настройка https сообщения с целевым сервером

Для расчёта оценки защищенности процесса непрерывной доставки и интеграции была разработана формула

$$d = 33 * K_a + 33 * K_j + 33 * K_t + 1, \quad (1)$$

где используются следующие обозначения:

- 1) d – итоговая оценка защищенности процесса;
- 2) K_a – коэффициент защищенности Ansible кода;
- 3) K_j – коэффициент защищенности Jenkins;
- 4) K_t – коэффициент защищенности Terraform конфигураций.

Для расчета коэффициентов защищенности из формулы (1) используется формула

$$K = 1 - \frac{T - C_{\text{типов}}}{T + C_{\text{проверок}}}, \quad (2)$$

где:

- 1) K – коэффициент защищенности инструмента;
- 2) T – количество типов проверок для инструмента (например для Ansible это значение б);
- 3) $C_{\text{типов}}$ - количество типов проваленных проверок;
- 4) $C_{\text{проверок}}$ – количество проваленных проверок.

Таким образом, для оценки защищенности процесса непрерывной доставки и интеграции необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Выполнить проверки процесса непрерывной доставки интеграции программного обеспечения из контрольного списка.
2. Вычислить значение оценки защищенности согласно формуле.
3. Выполнить рекомендации по устранению нарушений.

Непрерывность является одним из важных принципов систем защиты информации, но выполнение такой методики в ручном режиме будет занимать большое количество времени, потому для этой методики было разработано средство автоматизации, позволяющее проводить проверки без участия человека.

Этот инструмент является программной выполняющейся из командной строки. Он принимает на вход путь до конфигурационного файла в формате yaml, описывающего оцениваемый процесс, а также набор ключей, регулирующих работу программы. Инструмент поддерживает выполнение со следующими ключами: «-h», «-l», «-q», «-s», «-i». Ключ «-h» позволяет пользователю ознакомиться с инструкцией по использованию программы в стандартном виде, «-i» позволяет ознакомиться с полной

информацией о проверке, номер которой передан после ключа, «-q» позволяет запустить программу в «тихом» режиме, когда в стандартный поток вывода ничего не выводится, а «-s» позволяет не учитывать результаты заданных типов проверок при работе программы.

Результатом каждой проверки для файла является следующий набор данных:

- 1) код проверки;
- 2) путь до файла, в котором проводилась проверка или адрес Jenkins сервера, если проверка проводилась для сервера (коды проверок J3 и J4);
- 3) описание проверки, как необходимое состояние защищенности;
- 4) детали, в которых указывается место в файле, в котором обнаружено нарушение, если это проверка файла, номера и описания общеизвестных уязвимостей, если это проверка J4 или описание нарушения, если это проверка J3;
- 5) рекомендации по устранению обнаруженных нарушений.

В результате данной работы были разработаны методика защиты процесса непрерывной интеграции и средство автоматизации проверки процессов непрерывной доставки и интеграции. Для них были выделены следующие возможности по эксплуатации.

1. Эксплуатация методики в рамках аудита информационной безопасности. Такой сценарий подразумевает проведение всех проверок и расчет оценки в соответствии с методикой человеком в ручном режиме.

2. Эксплуатация разработанного средства в рамках аудита информационной безопасности. Такой сценарий подразумевает настройку конфигурационного файла средства в момент проведения аудита и последующий его запуск с целью обнаружения уязвимостей процесса непрерывной доставки интеграции, а также с целью расчета оценки защищенности этого процесса.

3. Эксплуатация разработанного средства как части процесса непрерывной интеграции разработчиками этих процессов. В таком сценарии подразумевается разовая настройка конфигурационного файла для средства и последующие его запуски в рамках процесса непрерывной интеграции для обеспечения непрерывного контроля защищенности этих процессов.

Таким образом у результата данной работы существует три сценария по применению, что значительно расширяет его возможности по эксплуатации в реальной среде.

Литература

1. State of DevOps 2019 [Электронный ресурс]: DORA. Режим доступа: <https://services.google.com/fh/files/misc/state-of-devops-2019.pdf>. (Дата обращения 01.01.2021).
2. Rahman, S. Parnin, L. Williams. The Seven Sins: Security Smells in Infrastructure as Code Scripts. // IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering (ICSE). 2019. с. 164-175.
3. Корягин Сергей Андреевич, Грицкевич Евгений Владимирович. Анализ методов и средств организации инфраструктуры информационной безопасности с использованием системы управления конфигурацией // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. №9.

Макурин Артем Александрович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО

факультет фотоники,

студент группы № V3427,

направление подготовки: 12.03.03. – Наноматериалы и нанотехнологии

фотоники и оптоинформатики,

e-mail: temkkaa1.8@gmail.com

Колобкова Елена Вячеславовна

Год рождения: 1954

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.х.н., доцент,

e-mail: kolobok106@rambler.ru

УДК 535.37

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ
СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛОВ ПЕРОВСКИТА CsPb(CL-BR)
ВО ФТОРФОСФАТНОМ СТЕКЛЕ**

А.А. Макурин

Научный руководитель – д.х.н., доцент Е.В. Колобкова

Аннотация

В рамках научного проекта «Исследование спектрально-люминесцентных свойств перовскита цезия во фторфосфатных стеклах» были синтезированы квантовые точки CsPbX₃ (X = Br, Cl) в матрице фторфосфатного стекла и исследованы их спектрально-люминесцентные свойства. Эксперимент с температурными зависимостями позволил определить наличие и последовательность фазовых переходов в данном типе нанокристаллов.

Ключевые слова

Квантовые точки, перовскит цезия, фазовые переходы, фторфосфатное стекло, нанокристалл.

В настоящее время квантовые точки перовскита цезия привлекают к себе огромное внимание благодаря ряду уникальных свойств. Одна из таких особенностей заключается в квантово-размерном эффекте, который позволяет изменять спектрально-люминесцентные характеристики наноматериалов посредством вариации размеров активатора. Таким образом, изменяя радиус и химический состав квантовых точек, можно получать материалы с различными оптическими характеристиками, а именно с различной шириной запрещенной зоны и спектры люминесценции с полосами, обладающие малой полушириной в широкой области видимого излучения: от ультрафиолетовой до инфракрасной [1]. Также происходит смещение области поглощения.

Следующая особенность заключается в высокой устойчивости к дефектам, которая является основным фактором, определяющим интенсивную люминесценцию квантовых точек [2].

Однако нанокристаллы, синтезированные распространенными на данный момент методами эпитаксии или коллоидной химии, обладают низкой стойкостью к внешнему воздействию, в связи с чем происходит падение квантового выхода с течением

времени. Решить эту проблему можно путем добавления активатора в твердую матрицу стекла, которое служит защитной оболочкой от внешней среды. В таком случае спектрально-люминесцентные свойства излучателей практически не претерпевают деградации в ходе эксплуатации [3].

На первом этапе были синтезированы образцы, содержащие нанокристаллы брома и смешанные нанокристаллы брома с хлором. В итоге получились прозрачные образцы. Затем они были термообработаны при температуре 415 °С в течение 30, 60 и 90 минут. В итоге в матрице стекла наводились центры окраски, что свидетельствует о формировании квантовых точек (рис. 1).

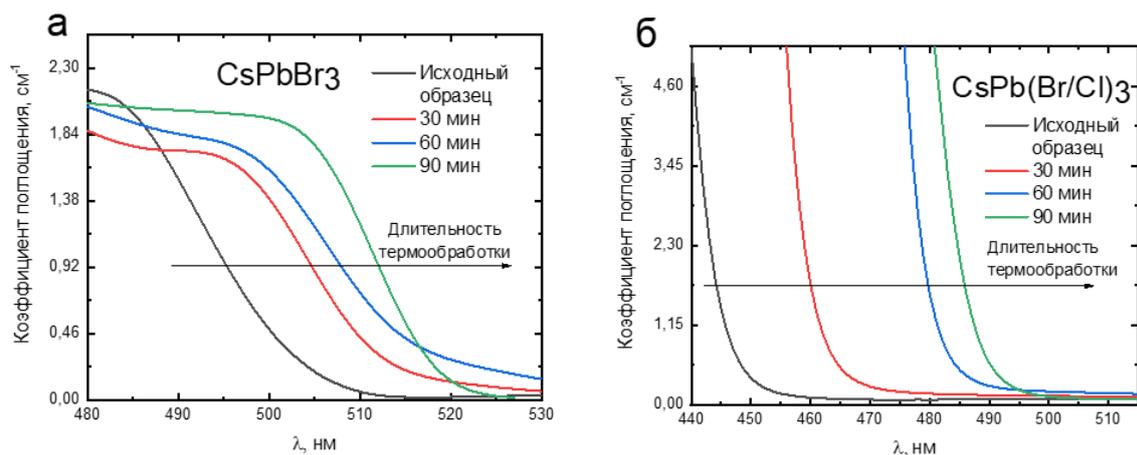


Рис. 1. Зависимость спектров поглощения от длительности термообработки (а) перовскит цезия с бромом и (б) перовскит цезия с хлором и бромом

На графике представлен лишь край зоны без характерного экситонного пика из-за сильного поглощения активатора. С увеличением времени происходит рост квантовых точек со сдвигом полос в длинноволновую область, что выражено квантово-размерным эффектом. Добавление же хлора к нанокристаллам перовскита с бромом приводит уже к синему сдвигу.

Аналогичные зависимости наблюдаются для спектров люминесценции и представлены на рис. 2.

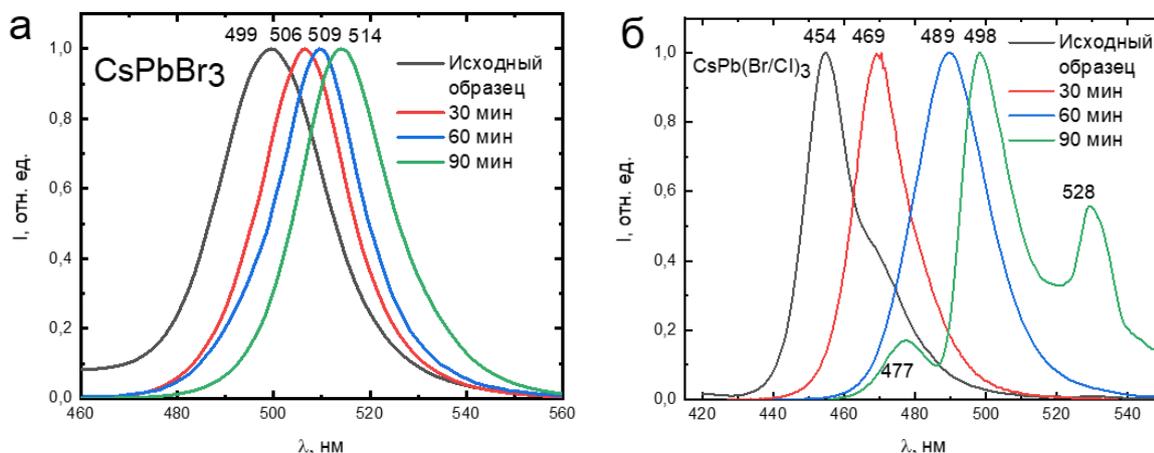


Рис. 2. Зависимость спектров люминесценции от длительности термообработки (а) перовскит цезия с бромом и (б) перовскит цезия с хлором и бромом

В спектре люминесценции квантовых точек с бромом происходит сдвиг полос от 499 нм до 514 нм. Полуширина пиков составляет около 20 нм. Также наблюдаются малые значения стока сдвига примерно в 10 нм. Таким образом, полоса поглощения заходит в область люминесценции, что приводит к реабсорбции излучения, и характерному искажению полос последних. В смешанном состоянии хлора с бромом в полосе люминесценции до термообработки наблюдается ступенька на 470 нм, что говорит о том, что в стекле синтезировалась не одна фаза перовскита. Полоса после 90 минут термообработки содержит 3 пика на 477, 498 и 528 нм, что соответствует фазовой сегрегации. Пик на 477 нм имеет маленькую интенсивность так как находится в области сильного поглощения. Пик на 498 нм соответствует нанокристаллу хлора с бромом, а на 528 нм чистому бромиду. Это происходит потому, что в процессе охлаждения стекла после синтеза разные области расплава охлаждаются с разной скоростью из-за малой вязкости, в результате рост каждой точки протекает с различной скоростью.

На следующем этапе были исследованы температурные зависимости квантовых точек CsPbBr_3 и $\text{CsPb}(\text{Cl}_{2.1}\text{Br}_{0.9})$. Измерения проводились в диапазоне от 80 до 425 К. На рис. 3 показано изменение зонной структуры и интенсивности люминесценции для CsPbBr_3 с ростом температуры.

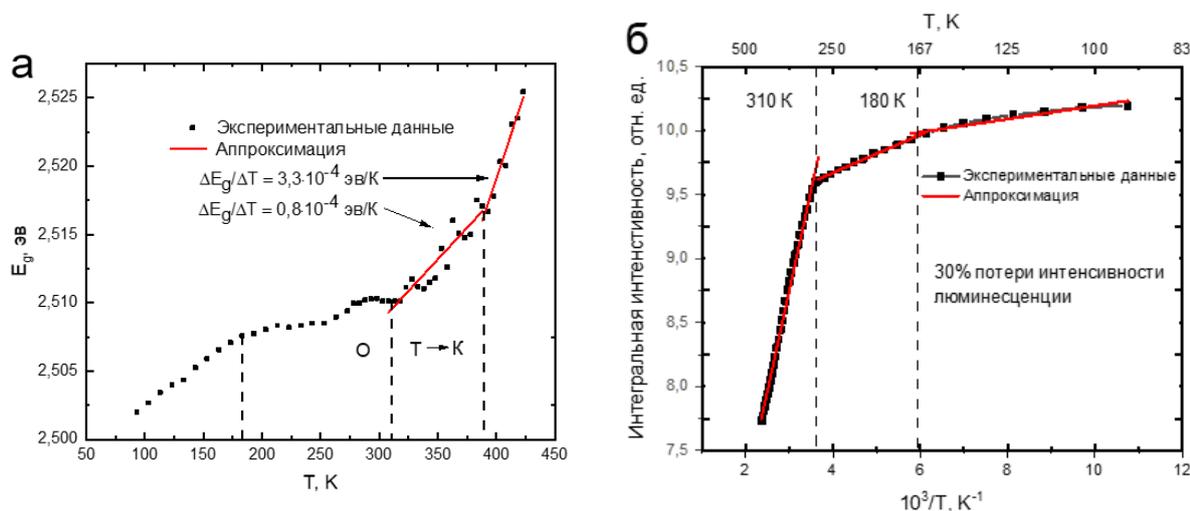


Рис. 3. (а) Зависимость ширины запрещенной зоны и (б) интегральной интенсивности в логарифмическом масштабе от температуры для CsPbBr_3

Пик длины волны люминесценции приходится на 494 нм, таким образом, размер квантовых точек брома в данном образце составлял 6 нм (рис. 3 а). В диапазоне температур от 100 до 180 К происходит линейное увеличение ширины запрещенной зоны нанокристаллов. При 180 К происходит отклонение от линейной зависимости, что вероятнее всего связано с потерей центра симметрии кристаллической решетки. Также, начиная с 370 и 400 К происходит изменение коэффициента наклона прямой. Данное явление связано с тем, что в области температур до 310 К нанокристалл CsPbBr_3 находится в орторомбической (О) фазе. Затем, под действием температуры, он трансформируется в тетрагональную (Т) с последующим переходом в кубическую (К). К сожалению, по данным измерениям нельзя точно сказать, где именно происходит переход между тетрагональной и кубической модификацией, так как они одинаково влияют на зонную структуру.

Сам механизм изменения зонной структуры определяется электрон-фононным взаимодействием и термическим расширением нанокристалла, причем оба этих эффекта являются противоборствующими.

Для квантовых точек характерно падение интенсивности излучения с ростом температуры, что полностью коррелирует с приведенным выше графиком (рис. 3 б). На различных участках кривой наблюдается изменение коэффициента наклона прямой, что также объясняется перестройкой модификации перовскита. Как было указано выше, при 180 К происходит потеря симметрии кристаллической решетки. При температуре в 310 К происходит переход в тетрагональную фазу с последующей трансформацией в кубическую. Вследствие этого происходит сильное падение интенсивности фотолюминесценции. Изменения наклона аппроксимирующих кривых как для ширины запрещенной зоны, так и для интегральной интенсивности свидетельствует о том, что каждая фаза кристаллической решетки обладает своими уникальными свойствами.

В следующем образце $\text{CsPb}(\text{Cl}_{2.1}\text{Br}_{0.9})$ количество хлора превалировало над бромом. Аналогичные зависимости приведены на рис. 4.

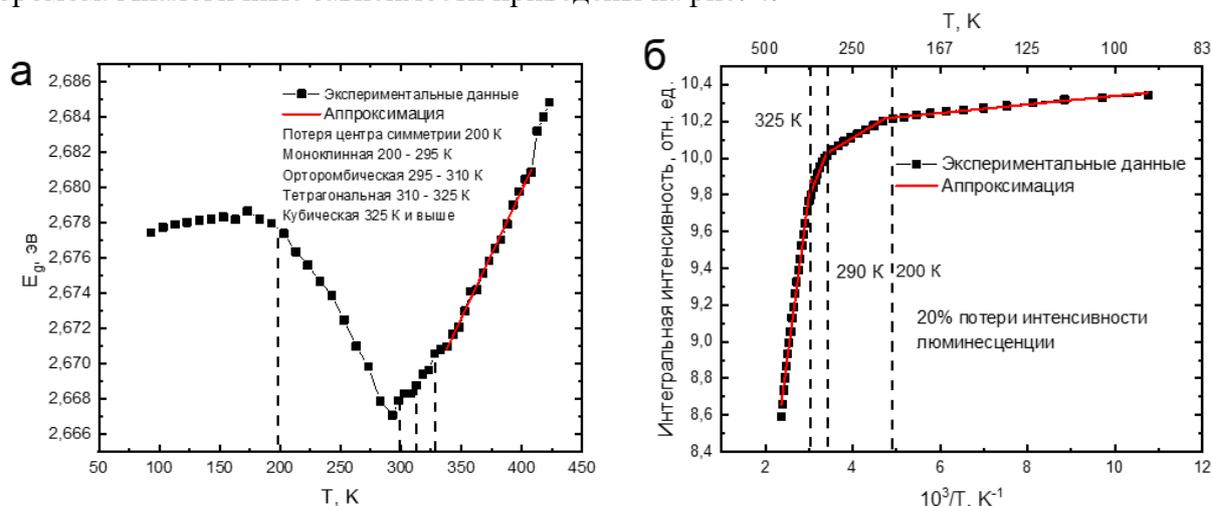


Рис. 4. (а) Зависимость ширины запрещенной зоны и (б) интегральной интенсивности в логарифмическом масштабе от температуры для $\text{CsPb}(\text{Cl}_{2.1}\text{Br}_{0.9})$

Абсолютно иная зависимость наблюдается для смешанного нанокристалла. Информация по данной структуре ограничена лишь узким кругом исследователей и потому сложно объяснить все механизмы формирования данной зависимости. В диапазоне от 80 до 180 К наблюдается похожее с бромом увеличение ширины запрещенной зоны, но при 180 К кристаллическая решетка теряет свою симметричность и с последующим ростом температуры начинается нехарактерное для полупроводников сужение запрещенной зоны (рис. 4 а). При достижении комнатной температуры происходит фазовый переход в орторомбическую модификацию и зависимость меняет свое направление, начиная сдвиг в синюю область. Затем, при 310 К происходит переход в тетрагональную и при 325 К в кубическую фазу, что полностью согласуется с теоретическими сведениями. Данная зависимость более похожа на перовскит с чистым хлором. Информации по поводу потери центра симметрии до сих пор недостаточно. От 295 до 325 К коэффициент наклона прямой составляет $0,9 \cdot 10^{-4}$ эВ/К, от 325 К и выше уже 10^{-4} эВ/К.

Как и в случае с бромом, наблюдается тушение люминесценции с ростом температуры (рис. 4 б). За отклонение зависимости от линейной так же ответственны фазовые переходы. При переходе в кубическую фазу экситоны переходят в область высоких энергий, что затрудняет процесс их возникновения в области высоких температур.

Таким образом, в ходе научной работы были выявлены важнейшие характеристики квантовых точек, такие как: высокая интенсивность поглощения и

люминесценции с возможностью их перестройки, путем изменения размера или состава, в широкой области спектра длин волн, хорошая устойчивость к дефектам и воздействиям со стороны агрессивной внешней среды, благодаря внедрению их во фторфосфатное стекло.

Внедрение перовскита цезия в матрицу стекла показывает сильное увеличение устойчивости нанокристаллов к температуре, сохраняя их превосходные люминесцентные свойства на протяжении длительного времени.

Сделано заключение о наличии и последовательности фазовых переходов. Примечательно то, что в коллоидных квантовых точках фазовых превращений не наблюдается.

Было выявлено, что люминесцентной фазой в изученных образцах является орторомбическая. Тетрагональная и кубическая являются высокотемпературными нелюминесцентными модификациями.

Таким образом, выбирая различные лиганды для CsPbX_3 , изменяя концентрацию активатора и условия синтеза во фторфосфатном стекле, можно изменять оптические характеристики получаемых образцов. Диапазоны люминесценции и оптической плотности покрывают всю значительную часть видимого спектра. В совокупности с повышенной стабильности к внешней среде, данные материалы позволяют создавать на их основе фотолюминофоры белого цвета.

Литература

1. Fu Y., Zhu H., Stoumpos S., et al. Broad wavelength tunable robust lasing from single-crystal nanowires of cesium lead halide perovskites (CsPbX_3 , X = Cl, Br, I) // ACS Nano. 2016. V. 10. P. 7963-7972.
2. Kovalenko M.V., Protesescu L., Bondarchuk M.I., et al. Properties and potential optoelectronic applications of lead halide perovskite nanocrystals. // Science. 2017. V. 358. P. 745-750.
3. Liu S., He M., Di X., et al. Precipitation and tunable emission of cesium lead halide perovskites (CsPbX_3 , X = Br, I) QDs in borosilicate glass // Cer. Int. 2018. V. 44. P. 4496-4499.

Макшеев Илья Дмитриевич

Год рождения: 05.08.1997

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N3449,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: maksheev777@mail.ru

Таранов Сергей Владимирович

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

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

e-mail: serg.tvc@gmail.com

УДК 004.021

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОЛЛЕКТИВНОЙ
ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО
ДОКУМЕНТООБОРОТА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ**

И.Д. Макшеев

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

Аннотация

В работе рассмотрено применение коллективной цифровой подписи в качестве основного метода защиты документов от несанкционированного доступа. В ходе выполнения работы был изучен рынок систем электронного документооборота, разработан алгоритм генерации коллективной цифровой подписи, произведён анализ аналогичных решений систем электронного документооборота, выявлены функциональные особенности и на их основе создана система электронного документооборота с внедренным алгоритмом коллективной цифровой подписи.

Ключевые слова

Система электронного документооборота, электронная цифровая подпись, разработка программного продукта, разработка алгоритма.

Индивидуальная подпись является наиболее широко применяемым видом электронной цифровой подписи. Однако, существуют такие ситуации, когда для документа нужно иметь больше, чем одну подпись. В частности, задачи передачи или верифицирования документов от совокупности людей или от имени коллегиального органа, делают актуальной идею о разработке коллективной электронной цифровой подписи [1].

На текущий момент, системы электронного документооборота не позволяют подписывать электронный документ более чем одному пользователю [2], что уменьшает время эффективного использования, обработки и подписания документа, при использовании документа большим количеством пользователей системы. Из этого следует, что размерность подписи становится в несколько раз больше, пропорционально количеству участников системы, подписывающих этот электронный документ, при использовании обычных видов подписей. Более того, для проведения процедуры проверки валидности электронной подписи, необходимо произвести проверку данных всех участников процесса.

Для создания системы электронного документооборота требования к системе в первую очередь зависят от вида деятельности организации (в нашем случае разработка не делается для какой-либо конкретной организации). Был проведен обзор аналогов среди бесплатных программ, а также решений с временным доступом (таблица).

Таблица

Сравнение аналогичных решений

	Alfresco	FossLook	АВРОРА	Астрал Онлайн	NauDoc	Предложенное решение
web-приложение	+	-	-	+	-	+
desktop-приложение	+	+	+	-	+	-
Редактор документа	+	-	+	-	-	-
работа с почтой	+	+	В платной версии	-	+	-
роуминг с другими системами	-	-	-	+	-	-
цифровая подпись	+	+	+	+	+	+
коллективная цифровая подпись	-	-	-	-	-	+
использование сертификационных центров	+	+	+	+	+	-

В конечной разработке было решено создать веб-приложение, так как для использования нужен только браузер, а также без внедрения редактора документов, так как пользователям удобнее использовать нативные программы для изменения документов. Также не будет добавлена работа с почтой и роумингом с другими системами, так как на текущий момент это не востребованные функции. Использование коллективной цифровой подписи позволит добавлять различные версии подписываемого документа, тем самым увеличивая его защищенность. В следствии того, что удостоверяющие центры не позволяют использовать коллективную цифровую подпись, а также из-за особенности предложенного алгоритма, было решено отказаться от использования таких центров. В качестве подтверждения валидности, будет использоваться самоподписанный сертификат

Реализация метода создания и верификации коллективной электронной цифровой подписи даст возможность нескольким пользователям системы производить обработку и подписание документа. При этом длина и количество подписей не увеличивается, что дает возможность уменьшить объем избыточной информации, необходимой для верификации электронных документов, а также увеличить защищенность подписываемого документа.

В качестве основы алгоритма было решено использовать BLS [3] схему, так как она позволяет объединять множество подписей в одну, без дополнительных коммуникационных циклов. Нет нужды полагаться на генераторы случайных чисел в самом алгоритме.

Один из основных недостатков данного типа подписи является процесс спаривания. Этот процесс является проблемой в блокчейн схемах, так как вычисление

спаривания занимает некоторое время, однако в нашем случае это не является минусом, так как использование этой схемы преследует другие цели.

Схематичное представление структуры предлагаемого алгоритма представлено на рис. 1.

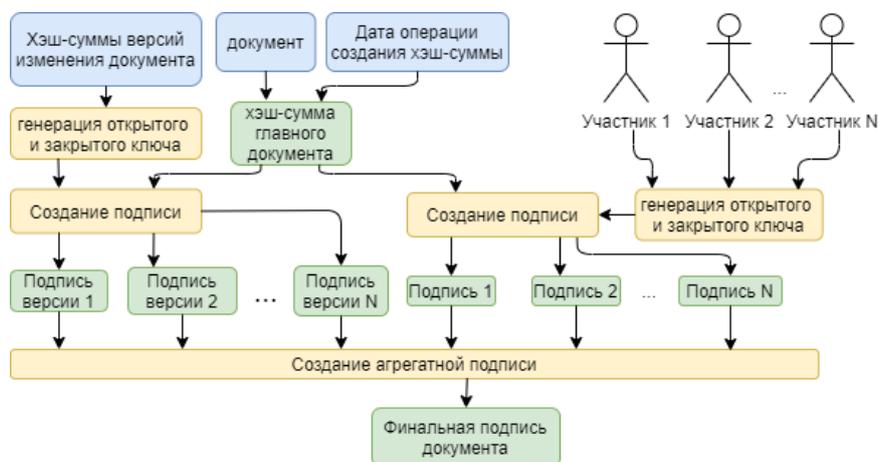


Рис. 1. Схематичное представление алгоритма коллективной цифровой подписи

Каждая версия документа, сохраненная на веб ресурсе, имеет свой публичный и секретный ключ, который является хэш-суммой версии документа. Для создания подписи документа создается хэш-сумма документа, совмещённая с датой начала операции по созданию подписи. Для предыдущих версий так же создаются подписи. Данная хэш сумма будет являться подписываемым сообщением. После этого, используя открытый ключ каждой предыдущей версии документа, создается подпись. Агрегатная подпись всех созданных подписей и будет являться финальной подписью.

Для создания подписи с несколькими участниками используется такая же схема, только для каждого пользователя создается индивидуальная подпись, которая потом вшивается в общую.

Для анализа алгоритма было решено измерить скорость создания подписей для документов с разным количеством версий. На рис. 2 представлена зависимость количества экземпляров различных версий документа, ко времени затрачиваемому на создание подписи.

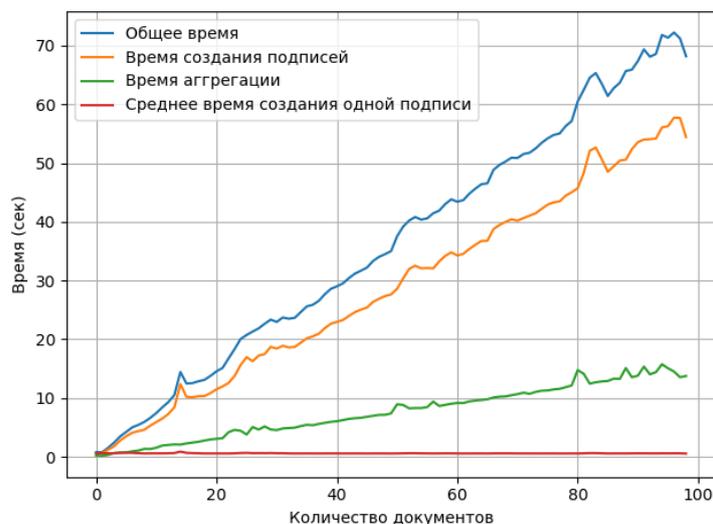


Рис. 2. Зависимость количества документов к затрачиваемому времени

Из представленного графика можно сделать вывод, что большую часть времени работы алгоритма занимает вычисление подписей для различных версий документа. Это вызвано сложностью вычисления точек на эллиптической кривой. Также можно увидеть, что среднее время, затрачиваемое на расчёт одной подписи, равняется половине секунды.

В качестве решения этой проблемы было решено использовать все ядра процессора. Результат работы улучшенного алгоритма представлен на рис. 3.

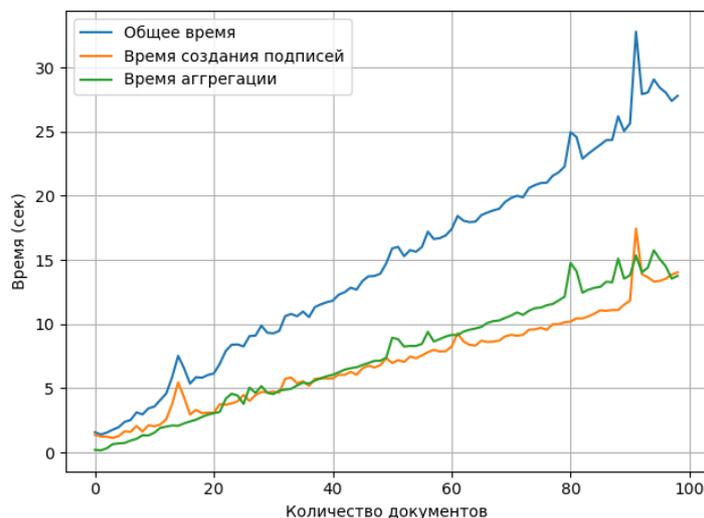


Рис. 3. Алгоритм подписи, использующий процессорные ядра

Использование всех возможных ядер позволило увеличить скорость расчёта подписей в 3-4 раза, а общее время уменьшилось примерно в 2 раза. Флуктуации в графике могут быть вызваны множеством различных факторов. Скорее всего это связано с тем, что различные процессы занимают ядра процессора, и интерпретатору приходится тратить время на ожидание окончания предыдущего использования.

В ходе выполнения работы был изучен рынок систем электронного документооборота, был разработан алгоритм генерации коллективной цифровой подписи. Был произведён анализ аналогичных решений систем электронного документооборота, выявлены функциональные особенности и на их основе создано техническое описание разработанного приложения. Произведено внедрение алгоритма подписи в программный продукт, и проведены исследования на экспериментальном образце.

Результатом работы является система электронного документооборота с внедренным алгоритмом коллективной цифровой подписи.

Литература

1. Ананьев М.Ю., Гортинская Л.В., Костин А.А., Молдовян Н.А. Вычислительная техника. Реализация протокола коллективной подписи на основе стандартов эцп. [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <https://pribor.ifmo.ru/file/article/4656.pdf>. (Дата обращения: 20.05.2021).
2. Ротков Л.Ю., Зобнев А.В. Электронная цифровая подпись в электронном документообороте. [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/19.pdf>. (Дата обращения: 20.05.2021).
3. D. Boneh., S. Gorbunov., H. Wee, Z. Zhang. BLS Signature Scheme. [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/draft-boneh-bl-signature-00>. (Дата обращения: 20.05.2021).

Медведева Светлана Сергеевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы № V3400,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: svt.mdvdv@yandex.ru

Гайдаш Андрей Алексеевич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

к.ф.-м.н., н.с.,

e-mail: andrewdgk@gmail.com

УДК 535.14

**ДИНАМИКА ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДАЕМЫХ В КВАНТОВЫХ
КАНАЛАХ С УЧЕТОМ ТЕРМАЛИЗАЦИИ**

С.С. Медведева

Научный руководитель – к.ф.-м.н., н.с. А.А. Гайдаш

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

Аннотация

В работе рассмотрены особенности диссипативной динамики неклассических состояний света при распространении в оптоволоконном канале. Произведен вывод и анализ аналитических выражений, описывающих динамику полевых наблюдаемых: средних значений операторов квадратур и дисперсии среднего числа фотонов. Представлены результаты моделирования найденных динамик для нескольких конкретных примеров состояний.

Ключевые слова

Квантовая оптика, квадратуры, среднее число фотонов, уравнение Лиувилля, сжатые состояния света, суперпозиция когерентных состояний света.

Широкий спектр применения квантовых технологий [1] обусловлен возможностью использования не имеющих аналогов в классической физике квантовых эффектов [2]. Однако квантовая система, не изолированная от окружающей среды, т.е. открытая квантовая система, претерпевает диссипацию – обмен энергией при взаимодействии с окружающей средой. В случае рассмотрения оптоволоконного канала с распространяющимся по нему некоторым квантовым состоянием примером взаимодействия с окружающей средой может служить внешнее воздействие на оптоволокно, например, флуктуации температуры, вибрации, сгибы, растяжения, а также рассеяние света на неоднородностях материала оптоволоконного канала. В таком случае квантовое состояние будет подвержено декогеренции – неунитарной динамике. При описании изменения во времени квантовой системы необходимо учитывать явление декогеренции, что можно корректно сделать в рамках теории открытых квантовых систем [3].

В рамках теории открытых квантовых систем существуют различные подходы к описанию динамики квантовых состояний [4]. Для описания динамики квантового состояния электромагнитного поля было выбрано использование теории приведенной матрицы плотности и рассмотрение уравнения Горини – Коссаковского – Сударшана – Линдблада. Приближения, которые вводятся в рамках этого подхода, позволяют дать корректное описание распространения квантового состояния излучения по оптоволокну [5].

В работе рассматривается частный случай уравнения Линдблада – уравнение Лиувилля, описывающее неунитарную динамику квантового состояния $\rho(t)$:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} \rho(t) = -i[\hat{H}, \rho(t)] + \hat{\Gamma} \rho(t), \\ \rho(t)|_{t=0} = \rho_0 \end{cases}, \quad (1)$$

где Гамильтониан системы имеет вид

$$\hat{H} = \omega \left(\hat{a}^\dagger \hat{a} + \frac{1}{2} \right), \quad (2)$$

а за описание неунитарной, диссипативной динамики отвечает супероператор релаксации:

$$\hat{\Gamma} \rho(t) = -\frac{\gamma}{2} \begin{bmatrix} (n_T + 1) (\hat{a}^\dagger \hat{a} \rho(t) + \rho(t) \hat{a}^\dagger \hat{a} - 2\hat{a} \rho(t) \hat{a}^\dagger) \\ + n_T (\hat{a} \hat{a}^\dagger \rho(t) + \rho(t) \hat{a} \hat{a}^\dagger - 2\hat{a}^\dagger \rho(t) \hat{a}) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где γ - скорость термализации, n_T - среднее число тепловых фотонов.

В явном виде найти зависимость матрицы плотности от времени не является возможным [6]. Поэтому в работе используется следующий подход: интересующий оператор (например, \hat{A}) подставляется в уравнение и затем производится операция взятия следа, что позволяет найти временную эволюцию конкретной наблюдаемой [7]:

$$\text{tr} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \hat{A} \rho(t) \right\} = -i \text{tr} \left\{ \hat{A} [\hat{H}, \rho(t)] \right\} + \text{tr} \left\{ \hat{A} \hat{\Gamma} \rho(t) \right\} \rightarrow \langle \hat{A}(t) \rangle. \quad (4)$$

Первая часть работы посвящена исследованию динамики средних значений операторов квадратур

$$\hat{q} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\hat{a}^\dagger + \hat{a}), \quad \hat{p} = \frac{i}{\sqrt{2}} (\hat{a}^\dagger - \hat{a}), \quad (5)$$

представляющих вещественную и мнимую части оператора комплексной амплитуды

$$\hat{a} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\hat{q} + i\hat{p}). \quad (6)$$

Были найдены аналитические выражения, описывающие динамику средних значений операторов квадратур:

$$q(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} (q_0 \cos \omega t + p_0 \sin \omega t), \quad p(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} (p_0 \cos \omega t - q_0 \sin \omega t), \quad (7)$$

где q_0 и p_0 - начальные условия, определяемые следующим образом:

$$q_0 = \langle \hat{q}(t) \rangle \Big|_{t=0} = \text{tr} \{ \hat{q} \rho_0 \}, \quad p_0 = \langle \hat{p}(t) \rangle \Big|_{t=0} = \text{tr} \{ \hat{p} \rho_0 \}, \quad (8)$$

устанавливают конкретный вид динамики. Из выражений (7) следует, что общим свойством динамики для различных квантовых состояний является то, что динамика имеет характер высокочастотных экспоненциально затухающих осцилляций. Однако для практического использования этого результата осцилляции представляют второстепенный интерес, поэтому появляется задача нахождения огибающей осцилляций, которая так же была решена:

$$f_{\text{огиб}}(t) = \pm \sqrt{q_0^2 + p_0^2} e^{-\frac{\gamma}{2}t}. \quad (9)$$

Моделирование динамики для случая сжатого когерентного состояния согласно найденному аналитическому выражению огибающей затухающих осцилляций (9) приведена на рис. 1 (слева). Рассмотрение случая суперпозиции когерентных состояний, представленное на рис. 1 (справа), подтвердило, что общий характер огибающей осцилляций сохраняется для разных квантовых состояний.

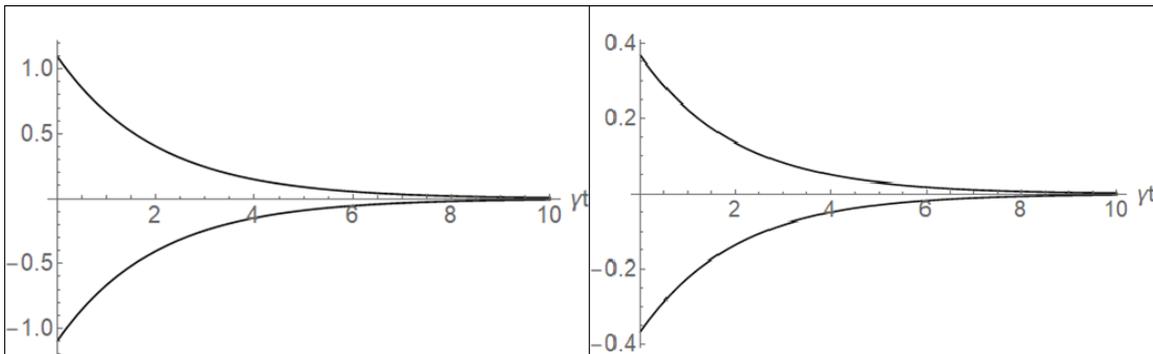


Рис. 1. Зависимость от безразмерного времени γt огибающей осцилляций средних значений оператора \hat{q} для сжатого когерентного состояния (слева) и суперпозиции когерентных состояний (справа)

Найденное выражение огибающей (9) позволяет, например, определить характерное время распространения, за которое амплитуды уменьшаются в n раз. Кроме того, моделирование показало, что увеличение модуля параметра сжатия приводит к возрастанию значения начальной амплитуды колебаний. Таким образом, в этой части работы был рассмотрен анализ динамики средних значений операторов квадратур.

Далее было проведено исследование динамики дисперсии среднего числа фотонов:

$$\Delta n(t) = \langle \hat{n}^2(t) \rangle - \langle \hat{n}(t) \rangle^2, \quad \hat{n} = \hat{a}^\dagger \hat{a}. \quad (10)$$

Был найден аналитический вид выражения и т.к динамика характеризуется экспоненциальным затуханием, для большей наглядности было произведено разбиение членов выражения по скорости их затухания:

$$\Delta n(t) = (1 + n_T)n_T + [(1 - 4n_T)n_T + (1 + 2n_T)x_0]e^{-\gamma t} + [n_T^2 - (1 + 2n_T + x_0)x_0 + y_0]e^{-2\gamma t}. \quad (11)$$

Как и в предыдущей части было произведено моделирование динамики нескольких квантовых состояний. Но если в случае сжатого вакуумного состояния средние значения операторов квадратур имеют нулевое значение (т.к. это состояние характеризуется нулевой амплитудой), то среднее число фотонов является ненулевым [2]. Согласно выражению дисперсии динамика характеризуется двумя скоростями затухания. Были найдены выражения, описывающие приближенные значения динамики на малом:

$$\Delta n(t) \cong (y_0 - x_0^2)e^{-2\gamma t}, \quad (12)$$

и большом временных отрезках:

$$\Delta n(t) \cong x_0 e^{-\gamma t}. \quad (13)$$

Так на рис. 2 приведено сравнение моделирования зависимости дисперсии среднего числа фотонов согласно найденному выражению (11) с определенными приближенными значениями (12) и (13).

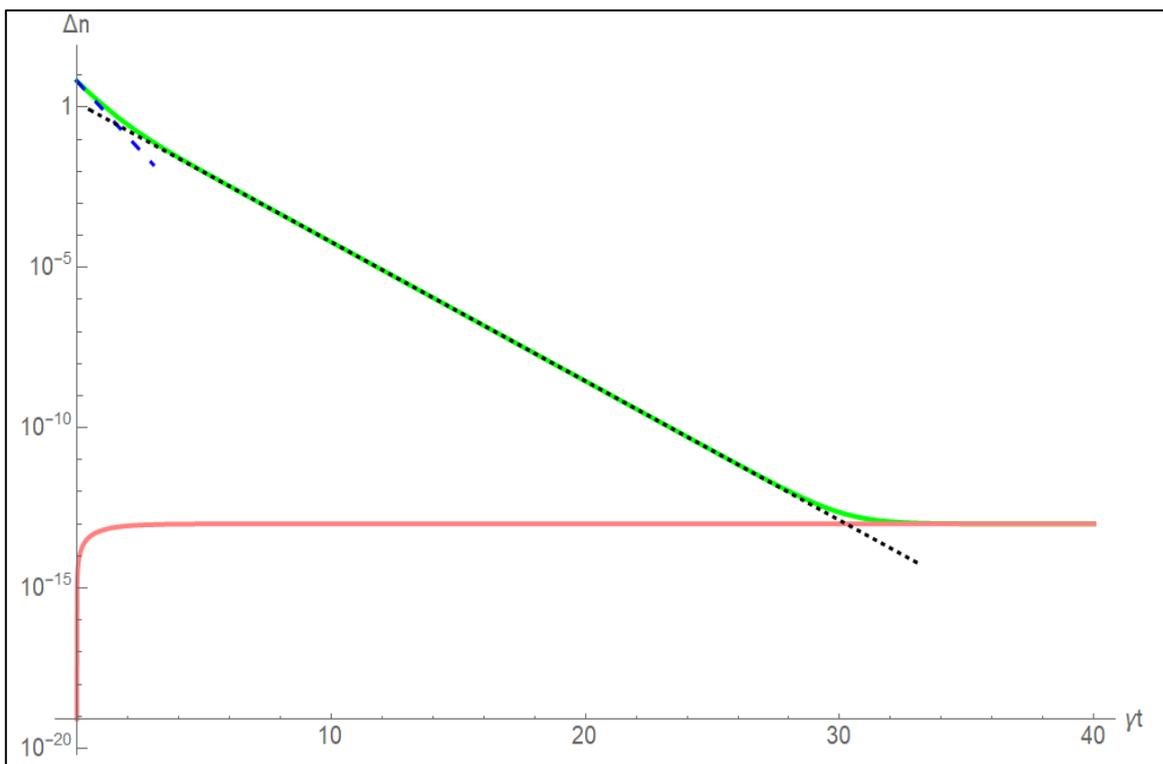


Рис. 2. Сравнение динамики дисперсии среднего числа фотонов $\Delta n(t)$ вакуумного состояния (красный) и сжатого вакуумного состояния (зеленый) с аппроксимирующими значениями на малом (синий) и большом (черный) временных отрезках в логарифмическом масштабе

Моделирование динамики дисперсии среднего числа фотонов также был произведен для случая распространения сжатого когерентного состояния, что приведено на рис. 3.

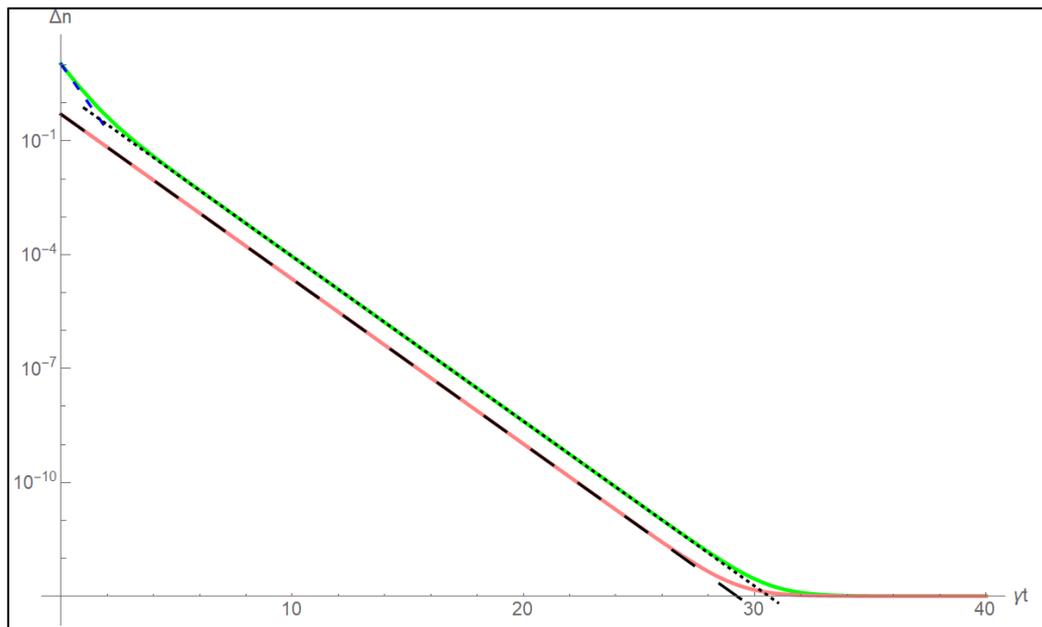


Рис. 3. Сравнение динамики дисперсии среднего числа фотонов $\Delta n(t)$ когерентного состояния (красный) и сжатого когерентного состояния (зеленый) с аппроксимирующими значениями на малом (синий) и большом (черный) временных отрезках в логарифмическом масштабе

Было установлено, что для рассмотренных случаев можно ввести момент изменения скорости динамики (как момент пересечения двух динамик):

$$\gamma t_{\text{кв}} = -\ln \frac{x_0}{y_0 - x_0^2}, \quad (14)$$

и момент, начиная с которого можно говорить о термализации состояния – наличии только тепловых фотонов в моде (момент пересечения динамики и значения среднего числа тепловых фотонов):

$$\gamma t_{\text{т}} = -\ln \frac{n_{\text{т}}}{x_0}. \quad (15)$$

Анализ динамики для случая суперпозиции когерентных состояний показал, что на большом временном отрезке эволюция может быть описана также предложенным приближенным выражением (13). Нетривиальным результатом оказалось наблюдение увеличения значения дисперсии среднего числа фотонов при суперпозиции когерентных состояний с разность фаз, равной π , что показано на рис. 4.

Согласно с результатами предыдущей части моделирование подтвердило, что увеличение модуля параметра сжатия приводит к возрастанию начальных значений. Так в этой части работы был произведен анализ динамики дисперсии среднего числа фотонов состояния.

Введение аппроксимирующих выражений (9), (12) и (13) позволило определить характерные расстояния распространения квантовых состояний: за $L_e \sim 45$ км происходит уменьшение амплитуды средних значений операторов квадратур в e раз, на расстоянии $L_{\text{кв}} \sim 30-40$ км происходит смена динамики убывания значений дисперсии среднего числа фотонов, а на $L_{\text{т}} \sim 600-700$ км можно говорить о полной термализации состояния. Приведены интервалы значений, так как на величину расстояния распространения влияют амплитуда состояний, значения параметра сжатия или разности фаз.

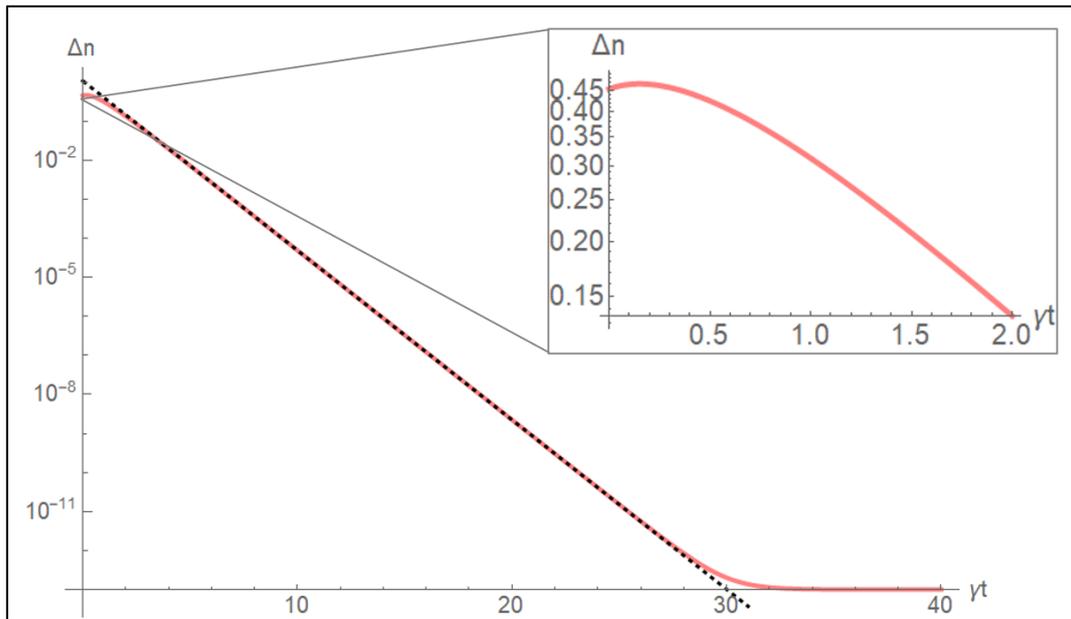


Рис. 4. Сравнение динамики дисперсии среднего числа фотонов $\Delta n(t)$ суперпозиции когерентных состояний (красный) с аппроксимирующими значениями на большом (черный) временном отрезке в логарифмическом масштабе

В ходе работы был произведен анализ динамики полевых наблюдаемых, основанный на решении уравнения Линдблада. Были выведены и проанализированы выражения, описывающие динамику средних значений операторов квадратур и дисперсии среднего числа фотонов. Было определено, что динамика средних значений операторов квадратур имеет характер затухающих осцилляций. Аналитическое выражение огибающей осцилляций было найдено. Было установлено, что динамика дисперсии среднего числа фотонов характеризуется экспоненциальным затуханием, скорость которого различна на двух временных отрезках. Найденные аппроксимирующие динамик позволили определить характерные расстояния распространения. Полученные результаты будут важны для учета явлений диссипации, а именно термализации, и декогеренции в открытых квантовых системах при рассмотрении широкого круга применений, например, квантовых протоколов шифрования, алгоритмов квантовых вычислений, гомодинном детектировании и создании систем квантового имаджинга. Таким образом, произведенная оценка характерных времён распространения квантовых состояний через оптоволоконный канал представляет интерес как с точки зрения фундаментальных исследований, так и прикладных разработок.

В дальнейшей работе планируется проведение эксперимента для сопоставления экспериментально полученных данных с теоретическими. Также представляет интерес анализ динамики дисперсии средних значений операторов квадратур для рассмотрения принципа неопределённости Гейзенберга и уточнения времени декогеренции. Кроме того, в силу универсальности метода планируется рассмотрение других операторов и возможности его применения для случая двумодовых и многомодовых состояний.

Литература

1. Acín A. et al. The quantum technologies roadmap: a European community view //New Journal of Physics. 2018. Т. 20. №. 8. С. 080201.
2. Scully M. O., Zubairy M. S. Quantum optics. 1999.

3. Breuer H. P. et al. The theory of open quantum systems. Oxford University Press on Demand, 2002.
4. Berkelbach T. C., Thoss M. Special topic on dynamics of open quantum systems. – 2020.
5. Carmichael H. An open systems approach to quantum optics: lectures presented at the Université Libre de Bruxelles, October 28 to November 4, 1991. Springer Science & Business Media, 2009. Т. 18.
6. Gaidash A., Kozubov A., Miroschnichenko G. Dissipative dynamics of quantum states in the fiber channel //Physical Review A. 2020. Т. 102. №. 2. С. 023711.
7. Gaidash A. et al. The Influence of Signal Polarization on Quantum Bit Error Rate for Subcarrier Wave Quantum Key Distribution Protocol //Entropy. 2020. Т. 22. №. 12. С. 1393.

Мелихова Ксения Андреевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3431,

направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления движением и навигация,

e-mail: kcniamelihova@gmail.com

Золотаревич Валерий Павлович

Год рождения: 1976

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: zolotarevich@yandex.ru

УДК 681.51

ПРОГНОЗ ТОЧНОСТИ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

К.А. Мелихова

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

Аннотация

Разработано программное обеспечение для анализа видимости спутников и планирования навигационного сеанса в стесненных городских условиях для заданных координат углов и высот окружающих зданий. Приведены результаты использования программы, демонстрирующие принципиальную возможность использования такого подхода для планирования сеанса спутников навигации.

Ключевые слова

Глобальная спутниковая навигационная система, спутники, точность, прогнозирование, городские условия, программное обеспечение.

В ряде случаев необходимо планировать сеанс спутниковой навигации, чтобы обеспечить требуемую точность, например для выполнения геодезических работ и получения качественных эталонных данных в ходе испытаний инерциально-спутниковых навигационных систем. На данный момент для этих целей могут быть использованы бесплатные программные утилиты от компаний Trimble и Navmatix, которые не в полной мере отвечают требованиям потребителя, поскольку не учитывают особенности окружающей обстановки.

В ходе данной работы было разработано программное обеспечение для планирования навигационного сеанса с учетом препятствий для прохождения сигнала от космического аппарата (КА). В таких условиях погрешности навигационных решений могут существенно превышать указанные в спецификации приемника точностные характеристики. С данной проблемой приходится сталкиваться, например, в условиях плотной городской застройки.

Для реализации программного обеспечения был использован язык программирования JavaScript, а также программная платформа Node.js, библиотеки puppeteer и plotly, фреймворк Express. Программное обеспечение предусматривает задание параметров здания (высот и координат углов) точки расположения навигационного потребителя (неподвижного), интервала времени, в котором планируется проводить сеанс. Результатом выполнения программы являются график видимых спутников в полярной

системе координат, графики HDOP, VDOP, PDOP, параметры среднеквадратического эллипса погрешностей горизонтальных координат. В расчетах используются данные реальных углов спутников, полученные с сайта [1], на основе реальных альманахов КА. Блок-схема программного обеспечения представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема программного обеспечения

Для демонстрации работы программы приведен результат ее использования для двусистемного приемника (GPS, ГЛОНАСС) без учета и с учетом городской застройки. Обобщая указанные в спецификациях современных ГНСС-приемников данные о точности позиционных и скоростных решений в автономном (недифференциальном) режиме, примем для среднеквадратических отклонений помех псевдодалности значение $\sigma_p = 2$ м [2-4].

Входные данные:

- координаты приемника: $59.9191^\circ 30.3210^\circ$,
- дата: 25.05.2021,
- период прогнозирования 24 часа.

На рис. 2 представлен график видимых спутников в полярной системе координат без учета городской застройки (а) и с ее учетом (б). На карте (рис. 3) представлено место приема сигнала, со сложной конфигурацией зданий.

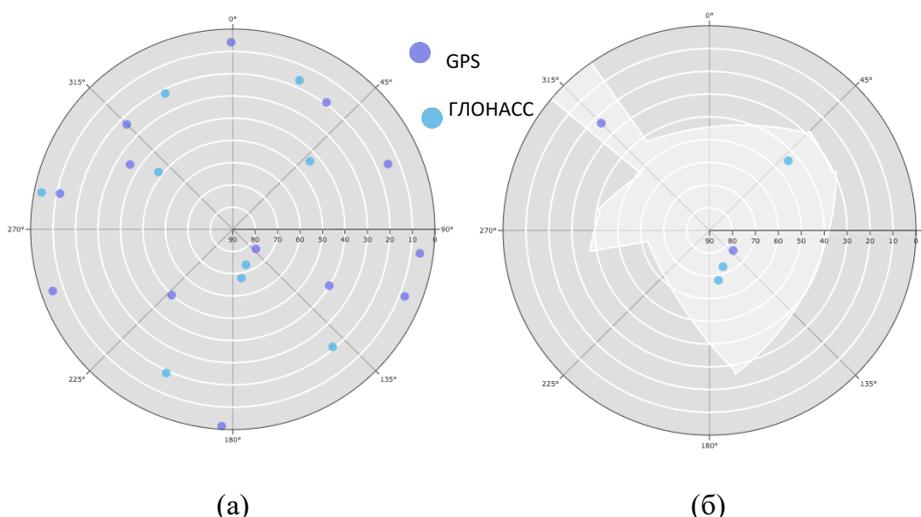


Рис. 2. График видимых спутников в полярной системе координат без учета (а) и с учетом городской застройки (б)

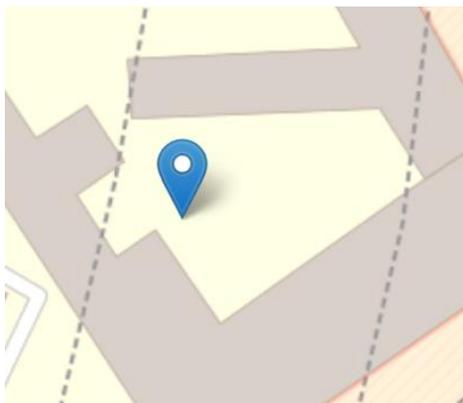


Рис. 3. Карта места приема сигнала

На рис. 4 представлен график количества видимых спутников на протяжении 24 часов, для открытой полусферы и закрытой (с учетом городской застройки). Можно заметить, что из-за застройки количество видимых спутников уменьшилось примерно в три раза, а в некоторые моменты доходит до 4, когда при открытой полусфере минимальное количество видимых спутников – 17. Максимальное количество видимых спутников с учетом препятствий – 10, а при открытой полусфере достигает 26.

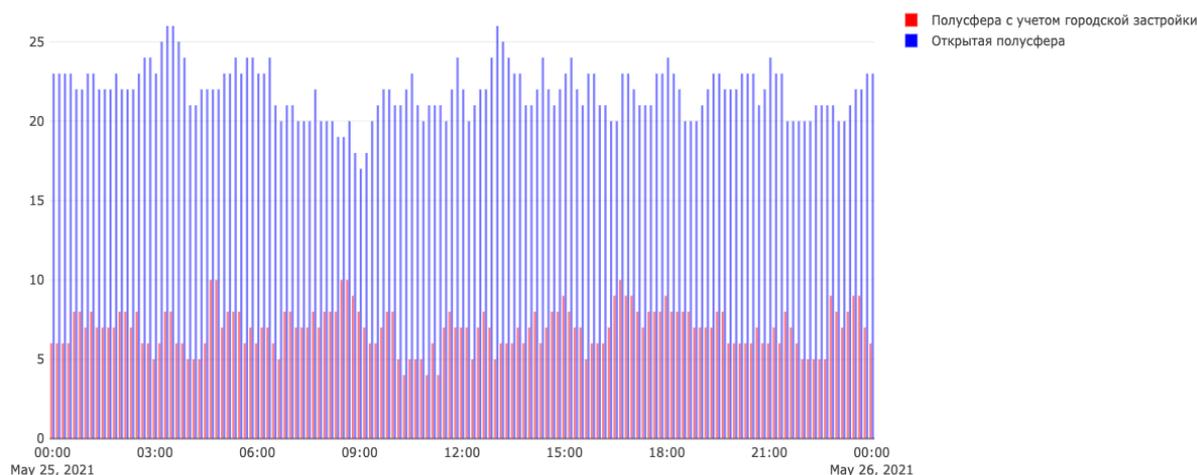
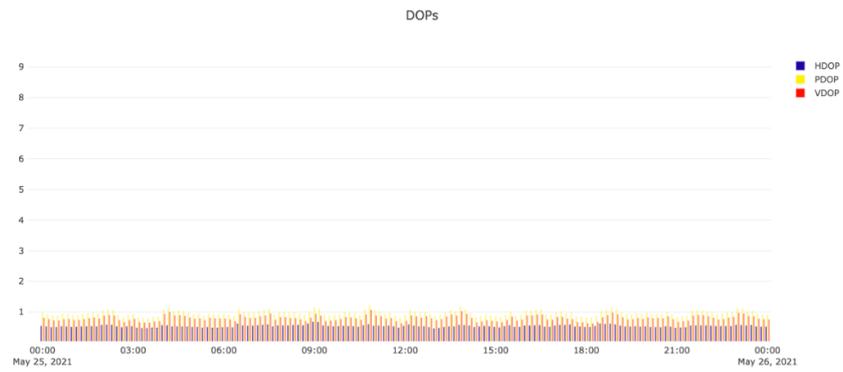


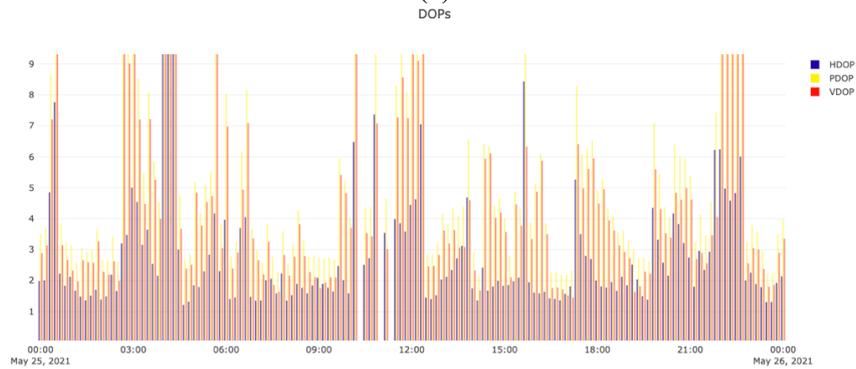
Рис. 4. Количество видимых спутников

На рис. 5 представлены значения геометрических факторов на протяжении 24 часов, если городская застройка не учтена (а) и учтена (б). Из графиков видно, значения геометрических факторов значительно возросли, в некоторые моменты времени превышают 9, и могут резко меняться, когда один из КА выпадает из области видимости. Также видно, что в 10:20, 11:00 и 11:20 навигационное решение нельзя получить.

На рис. 6 представлены графики малой (зеленым цветом) и большой (красным цветом) полуосей среднеквадратических эллипсов погрешностей горизонтальных координат для случая без учета городской застройки (а) и с ее учетом (б). Как и на графиках геометрических факторов для случая с учетом городской застройки можем наблюдать значительную динамику изменения параметров, а также их сильное возрастание. Значения параметров в некоторые моменты времени может превышать десятки метров, в то время как для открытой полусферы значения не превышают единицы.

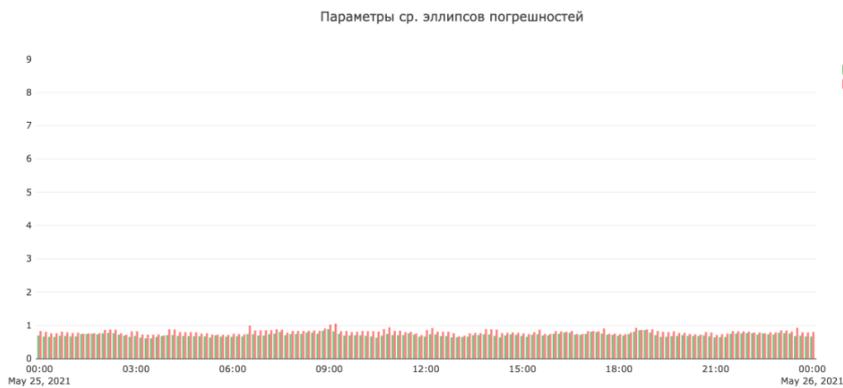


(a)



(б)

Рис. 5. Геометрические факторы без учета (а) и с учетом (б) городской застройки



(a)



(б)

Рис. 6. Параметры среднеквадратических эллипсов погрешностей горизонтальных координат без учета (а) и с учетом (б) городской застройки

Рассмотрим подробнее момент времени 10:20, когда навигационное решение невозможно получить. График видимых спутников для такой ситуации представлен на рис. 7. Общее количество видимых спутников – 4, однако имеется по два измерения от разных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), следовательно 5 неизвестных (3 координаты и 2 разности шкал времени) и как результат невозможность получить решение.

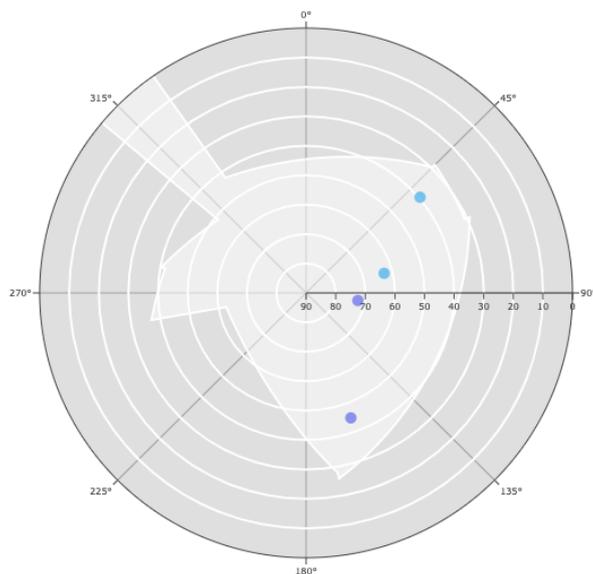


Рис. 7. График видимых спутников в полярной системе координат

Из графиков можно сделать следующие выводы: наиболее благоприятные периоды времени для проведения навигационного сеанса – 0:40-2:30, 6:50-9:30, 16:00-17:00, 23:00-00:00, самая высокая точность достигается в 23:30, в остальные периоды времени погрешность навигационного решения превышает 8 м, а в районе 10:20, 11:00 и 11:20 решение невозможно получить.

На рис. 8 представлены среднеквадратические эллипсы погрешностей горизонтальных координат для наилучшего (а) и неблагоприятного (б) моментов времени для результата без учета и с учетом городской застройки, где синий эллипс – без учета городской застройки, желтый – с учетом. Желтый эллипс значительно больше, а синий полностью содержится внутри него, что свидетельствует о значительном ухудшении точности. Можно заметить, что погрешность при учете городской застройки в неблагоприятный момент времени превышает погрешность без учета городской застройки более, чем в 5 раз.

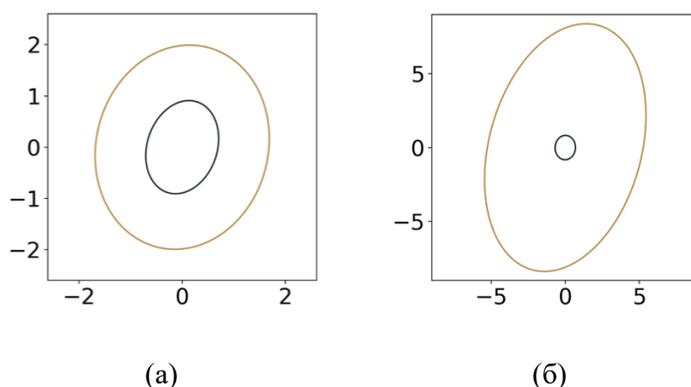


Рис. 8. Среднеквадратические эллипсы погрешностей горизонтальных координат

Таким образом, в результате использования программного обеспечения были спрогнозированы наиболее подходящие временные интервалы для проведения сеанса спутниковой навигации, определены временные интервалы, когда сеанс невозможно провести, также определены предполагаемые точности навигационных решений.

С помощью программного обеспечения было продемонстрировано влияние городской застройки на погрешность местоопределения. Показано, что пренебрежение окружающей обстановкой существенно искажает прогноз точности навигационного решения. Применение программного обеспечения позволяет повысить эффективность геодезических работ в стесненных условиях радиовидимости спутников.

Литература

1. Программная утилита GNSS Mission Planning. URL: <http://www.gnssmissionplanning.com> (дата обращения 25.05.2021).
2. Официальный сайт производителя спутниковых приемников NovAtel. URL: <https://novatel.com> (дата обращения 25.05.2021).
3. Официальный сайт производителя спутниковых приемников Javad. URL: <http://www.javadgnss.ru> (дата обращения 25.05.2021).
4. Официальный сайт производителя спутниковых приемников Trimble. URL: <https://www.trimble.com> (дата обращения 25.05.2021).

Меренков Даниил Николаевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3451,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: danmerenkov@gmail.com

Ищенко Алексей Петрович

Год рождения: 1974

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

преподаватель (квалификационная категория "преподаватель практики"),

e-mail: aishchenko@itmo.ru

УДК 004.056

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ
ВНУТРЕННЕГО НАРУШИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ДЕВИАНТНОГО
ПОВЕДЕНИЯ В СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЕ**

Д.Н. Меренков

Научный руководитель – преподаватель практики А.П. Ищенко

Аннотация

В работе рассмотрено девиантное поведение внутреннего нарушителя в организации. Предложена модель системы обнаружения внутреннего нарушителя на основе девиантного поведения в социальной группе. Проведен эксперимент в реальных условиях на предприятии с численностью пользователей информационной системы организации, превышающей отметку в 1000 человек, отражающий эффективность работы предложенной модели, которая позволяет обнаруживать внутренних нарушителей на 24% быстрее.

Ключевые слова

Информационная безопасность, внутренний нарушитель, девиантное поведение, кластеризация, социальные группы.

Информация является неотъемлемой частью деятельности каждой организации. Нарушение свойств безопасности информации, как правило, приводит к экономическим убыткам. Согласно данным аналитического отчета компании InfoWatch за 2020 год в России более 79% случаев всех утечек информации приходилось на внутренних нарушителей, из которых 77% признаны умышленными. С 2004 года количество утечек по вине внутренних нарушителей выросло в 14 раз и достигло отметки в 1423 инцидента [1].

Стремительно растущее число внутренних нарушителей требует обработки большего количества информации для их обнаружения, что неизбежно ведет к увеличению времени, необходимого для выявления нарушителей. Позднее противодействие угрозам, реализуемым внутренними нарушителями, может оказаться бессмысленным, поскольку информация к этому времени может быть скомпрометирована и использована третьими лицами. Следовательно, востребованным является более быстрое обнаружение внутреннего нарушителя до непосредственного момента реализации им угроз информационной безопасности.

Существующие на российском рынке решения, позволяющие обнаруживать внутренних нарушителей, основываются либо на сопоставлении текущего действия человека с заданным шаблоном разрешенных действий, выход за границы которых считается аномалией, либо на основе индивидуально составленного шаблона поведения для каждого из пользователей. Существующие решения не оценивают влияние социальной группы и внешних факторов на поведение человека и его изменение. В связи с этим, необходимо создать систему, которая будет учитывать эти факторы. Целью работы является повышение уровня информационной безопасности организации за счет уменьшения времени реагирования на инциденты информационной безопасности, вызванные действиями внутреннего нарушителя

Сложность противодействия внутренним нарушителям заключается в том, что часть из них является легитимными пользователями информационных систем организации и обладает полномочиями на совершение определенных действий с информацией, входящими в круг их должностных обязанностей

В результате изучения трудов социологов, в число которых входил ученый калифорнийского университета Тамотсу Шибутани и член РАН Осипов Г. В. было определено, что поведение человека зависит от личных мотивов, поведения социальной группы, в которой состоит человек и влияния внешних факторов [2, 3]. Так же, было определено, что участник социальной группы подвержен ее влиянию и с большой вероятностью действует так же, как и большинство ее членов.

Разработанная автором модель состоит из трех этапов:

1. Кластеризация людей в социальные группы на основе их социально-значимых критериев.
2. Сбор данных о совершенных пользователями действиях в информационной системе организации.
3. Выявление девиантного поведения и дообучение модели.

В ходе реализации первого этапа работы модели использовался метод кластеризации k-means++, исходными данными для которого являлись социально-значимые критерии человека, такие как: возраст, пол, финансовое положение, семейное положение, уровень образование, и тд. Для оценки наиболее подходящего количества кластеров использовался метод локтя. Для оценки согласованности внутри кластеров данных применялся метод силуэта. В результате было определено оптимальное количество кластеров – 8 (рис. 1).

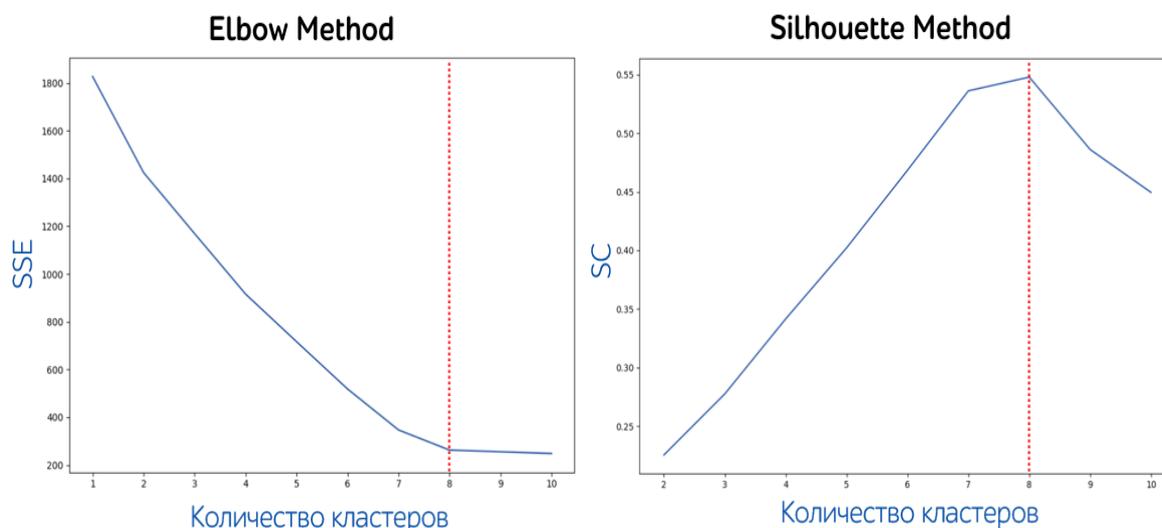


Рис. 1. Графики метода "локтя" и метода "силуэта"

Используя метод главных компонент, визуализируем полученное разбиение людей на кластеры (рис. 2). Как мы видим, метод кластеризации K-Means++ справился с задачей хорошо и смог разделить людей на непересекающиеся кластеры.

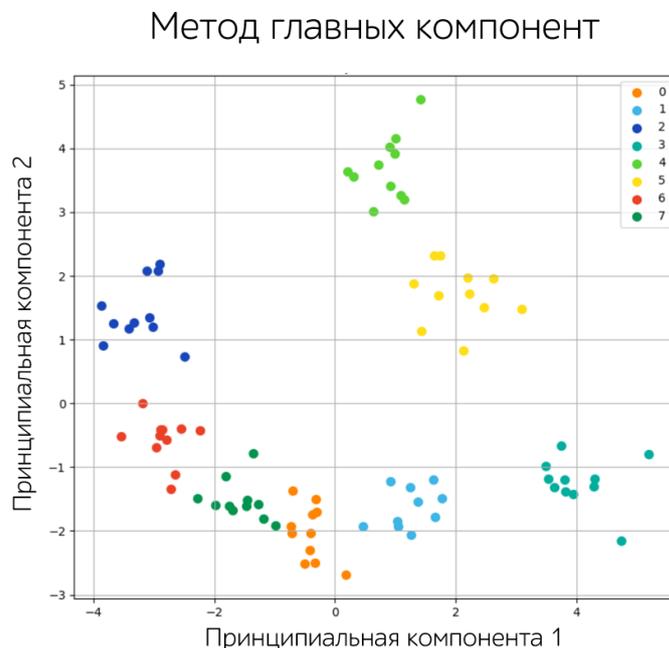


Рис. 2. Визуализация распределения людей по кластерам данных методом кластеризации k-means++ с помощью использования метода главных компонент

Второй этап работы модели заключается в сборе данных о произошедших событиях в информационной системе организации. При этом все действия принимались за нормальные. Собираемые данные включали в себя: идентификатор пользователя и социальной группы, к которой относится человек, совершенное действие, время совершения действия и внешние факторы, при которых происходило данное действие.

За время второго этапа было зафиксировано более 150 тысяч событий.

Третий этап работы модели основывается на первых двух и является основным для детектирования аномальных действий и, как следствие, обнаружения внутренних нарушителей.

Пусть $M = \{m_0, m_1, \dots, m_n\}$ – множество всех событий, зафиксированных за время наблюдения, где $m_i = (a_i, t_i, p_i, g_i, EF_i)$, при этом $a_i \in A$, $p_i \in P$, $EF_i \subset EF$, $g_i \in G$, где $A = \{a_i, a_{i+1} \dots a_j\}$ – множество всех анализируемых действий; $P = \{p_i, p_{i+1} \dots p_j\}$ – множество всех сотрудников; $G = \{g_i, g_{i+1} \dots g_j\}$ – множество всех социальных групп; $EF_i = \{f_i, f_{i+1}, f_n\}$ – подмножество множества $EF = \{f_i, f_{i+1}, \dots, f_n\}$ всех учитываемых внешних факторов; t_i – время суток, когда было зафиксировано событие.

Для каждого зафиксированного события m_i определяется значение девиантности $dev_{m_i} \in \{0,1\}$, где $dev_{m_i} = 0$, если событие m_i нормальное и $dev_{m_i} = 1$, если событие девиантное. Тогда примем за $m_s = (a_s, t_s, p_s, g_s, EF_s)$ текущее действие сотрудника, для которого необходимо принять решение о девиантности.

Рассчитаем значение функции Zp_i для каждого события $m_i \in M$, где исполнителем действия является человек, текущее действие которого анализируется в

данный момент, и значение функции Zg_i для каждого события $m_i \in M$, где исполнителем действия является социальная группа, к которой относится этот человек:

$$Zp_i(m_i) = \frac{C}{H * E}, p_i = p_s, t_s - \tilde{t} \leq t_i \leq t_s + \tilde{t},$$

$$Zg_i(m_i) = \frac{C * B}{H * E}, g_i = g_s, t_s - \tilde{t} \leq t_i \leq t_s + \tilde{t},$$

где $C = P(EF_i) - \sum_{j=1}^{P(EF_i)} |f_{ij} - f_{sj}|$ – количество совпавших внешних факторов события m_i с внешними факторами текущего события m_s , при этом $f_{sj} \in EF_s, f_{ij} \in EF_i$; $H = \sum_{j=1}^{P(EF_i)} |f_{ij} - f_{sj}|$ – расстояние Хемминга, являющееся мерой количества несовпавших внешних факторов события m_i с внешними факторами текущего события m_s , при этом $f_{sj} \in EF_s, f_{ij} \in EF_i$; $E = \sum_{j=1}^{P(EF_i)} w_j * (f_{ij} - f_{sj})^2$ – взвешенное расстояние Евклида, выражающее значение важности отсутствующих внешних факторов событий m_i и m_s , при этом $f_{sj} \in EF_s, f_{ij} \in EF_i, w_j \in W$; \tilde{t} – некоторые временные рамки для поиска наиболее «близких» событий в множестве зафиксированных событий; W – множество всех экспертных оценок уровня влияния внешних факторов $f_i \in EF$ на изменение действия; B – вероятность совпадения действий человека с действиями членов социальной группы, к которой относится человек; $P(EF_i)$ – мощность множества EF_i .

Рассчитав значения Zp_i и Zg_i , найдем максимальные среди них. Множество аргументов $m_i \dots m_{i+c}$, соответствующих максимальным значениям функции Z , являются наиболее «близкими» событиями к текущему событию m_s , где c – количество таких событий.

Множество действий $a_i \dots a_{i+c}$, соответствующих $m_i \dots m_{i+c}$, является множеством нормальных действий, если значение девиантности событий $dev_{m_i} \dots dev_{m_{i+c}} = 0$

Событие a_s считается девиантным, если $a_s \notin a_i \dots a_{i+c}$, где $dev_{m_i(a_i)} = 0$ или $a_s \in a_i \dots a_{i+c}$, где $dev_{m_i(a_i)} = 1$

Вычислив максимальные значения функции Z , мы найдем такие события, которые будут считаться наиболее «близкими» к текущему. Каждое текущее действие журналируется и в случае, если оно распознано моделью, как девиантное, оповещает службу безопасности об этом.

Тестирование работы модели проводилось в реальных условиях и заключалось в умышленном создании инцидентов информационной безопасности. Инциденты заключались в обмене рабочими местами между сотрудниками, попытке доступа к закрытому сетевому хранилищу, скачивании большого объема файлов и т. д. После этого двум сотрудникам службы безопасности было сообщено о том, что произошли инциденты информационной безопасности. Одному сотруднику была выдана разработанная модель, а второй использовал только штатные средства для расследования инициированных инцидентов ИБ. В результате работы модель смогла выявить 73% всех инициированных нарушений. Время расследования инцидентов информационной безопасности, за счет уменьшения времени реагирования, снизилось на 24%.

Модель позволяет реализовать меру А.13.2.1 ГОСТа Р ИСО/МЭК 27001–2006 за счет снижения времени реагирования на инциденты информационной безопасности и меру А.13.1.1 за счет оперативного оповещения службы безопасности о произошедшем

инциденте информационной безопасности по соответствующим каналам управления. Таким образом, исходя из выполнения этих мер, согласно ГОСТу Р ИСО/МЭК 27001–2006, повышается уровень информационной безопасности организации, из чего следует, что цель работы достигнута [4].

В дальнейшей работе планируется увеличение количества анализируемых внешних факторов, социально-значимых критериев человека и проведение большего количества экспериментов для формирования более точных результатов работы модели.

Литература

1. Утечки информации ограниченного доступа: отчет за 9 месяцев 2020 | InfoWatch [Электронный ресурс]. URL: <https://www.infowatch.ru/analytics/reports/30708> (дата обращения: 27.04.2021).
2. Шибутани Т. Социальная психология / Т. Шибутани, АСТ Феникс, 1999. 544 с.
3. Осипов Г.В. Социология. Основы общей теории / Осипов Г.В. Инфра-М. 2017. 912 с.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности.

Милосердов Дмитрий Игоревич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3447,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: dmitrii@itmo.ru

Коржук Виктория Михайловна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет безопасности технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: vmkorzhuk@itmo.ru

УДК 004.056

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ УСТРОЙСТВ-АКТУАТОРОВ
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Д.И. МИЛОСЕРДОВ

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.М. Коржук

Аннотация

В работе предложен алгоритм работы исполнительных механизмов, которые также называют актуаторами, в случае обнаружения аномалии в нижнем уровне автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП). Помимо этого, в работе предложены классификации последствий возникновения аномалий и взаимодействия устройств в узлах полевого уровня.

Ключевые слова

Автоматизированные системы управления, актуаторы, АСУ ТП, функциональная безопасность, информационная безопасность, безопасное поведение.

Переход человечества к Индустрии 4.0 помогают осуществлять киберфизические системы (КФС). Однако, сами КФС состоят из АСУ ТП, для которых упор делается на процесс, выполнение которого должна обеспечить система.

На основе анализов от компании Positive Technologies можно говорить о том, что 14% всех атак на АСУ ТП направлены именно на полевой уровень, где находятся актуаторы, датчики и контроллеры [5]. В полевом уровне могут возникать такие инциденты, как: ошибки датчиков, возможные физические повреждения, неправильно настройка устройства или некорректная работа операторов. Все это мы можем объединить под единым понятием аномалии в полевом уровне.

Одновременно с этим темпы роста рынка АСУ ТП поражают. По оценкам экспертов из Global Market Insights средний темп ежегодного роста рынка АСУ ТП составляет около 20%, а по некоторым оценкам к 2026 году показатели оборота денежных средств в данной сфере составит более 15 миллиардов долларов США.

Для определения безопасного поведения необходимо обратиться к ГОСТ Р МЭК 61508, который описывает подход к разработке устройств безопасности в системах, в которых присутствуют электрические, электронные и/или программируемых электронных элементов. Под понятием риска мы будем понимать множество, элементами которого будут: вероятность возникновения события, которое может

нанести вред; оценка тяжести нанесенного вреда. Безопасность определяется состоянием системы, при котором отсутствует недопустимый риск. Из этого можно сделать такой вывод, что поведение мы будем считать безопасным, когда управляемое оборудование будет совершать такой алгоритм действий, при котором состояние оборудования не будет нести в себе неприемлемого риска [1-5].

Соответствие устройств уровням SIL, которые описаны в ГОСТ Р МЭК 61508, не гарантирует, что производство станет работать лучше. Устройство с присвоенным ему уровнем SIL способно ежечасно выходить из строя и приносить убытки, останавливая производство, потому что SIL направлен на отказоустойчивость во время аварии или иной чрезвычайной ситуации.

Для регламентации безопасности в системах управления необходимо обратиться к ГОСТ Р МЭК 62433.

Уровни безопасности (УБ) определяются на базе модели угроз зоны для каждой системы в индивидуальном порядке и ей присваивается значение УБ от 1 до 5 (где 1 - низкий уровень безопасности, а 5 - высокий).

Третьим примером классификации можно взять классы защищенности АСУ ТП по приказу ФСТЭК №31. Документ устанавливает требования к обеспечению защиты информации, обработкой которых занимается АСУ ТП в объектах КИИ. Каждой такой АСУ ТП присваивается класс защищенности (К1, К2, К3), определяющийся на основе нескольких факторов:

- степень значимости информации, которая обрабатывается;
- степень возможного ущерба при нарушении конфиденциальности, целостности или доступности информации.

В рамках разработки алгоритма будет предложено несколько классификаций на основании которых и будет проходить дальнейшая разработка.

Для выполнения задачи обеспечения безопасного поведения актуаторов нужно определить с кем они взаимодействуют и какую тяжесть вреда могут причинить при отсутствии перевода в “безопасное поведение”.

Взаимодействуют актуаторы с датчиками напрямую и с сетью, которая соединяет полевой уровень с более высшими, если мы говорим про интеллектуальные исполнительные механизмы, через контроллер, который также связан с сетью, при ситуации с обычными их версиями. Для удобства предложено объединить связку устройств полевого уровня АСУ ТП “интеллектуальный датчик - интеллектуальный актуатор - сеть” и “датчик -актуатор – контроллер - сеть” в понятие узел. В данной работе представлена следующая классификация взаимодействия актуаторов и датчиков узлах, описанная в табл. 1.

Таблица 1

Классификация взаимодействия устройств в узлах полевого уровня АСУ ТП

Класс	Описание взаимодействия
1	Одному актуатору соответствует датчик
2	Одному актуатору соответствует множество датчиков
3	Множество актуаторов соответствует единственному датчику
4	Узлы, использующиеся в чрезвычайных или аварийных ситуациях

Второй предложенной классификацией является определение уровней последствий возникновения аномалий в АСУ ТП, описанных в табл. 2.

Таблица 2

Классификация уровней последствий возникновения аномалий в АСУ ТП

Уровень	Описание последствий возникновения аномалий
1	Системе не критично отключение узла на срок, необходимый на восстановление
2	Система сможет функционировать, но отключение заметно снизит уровень производительности
3	Возможно критическое влияние на обеспечение информационной и функциональной безопасности
4	Влияние на жизнедеятельность и здоровье человека

Остается открытым вопрос определения уровней последствий возникновения аномалий. Тут и находится связь между двумя приведенными классификациями. По предложению, уровень последствий определяется экспертами для каждого узла системы на основании следующих параметров:

- класс узла, которому присваивают уровень, в соответствии с таблицей;
- время, необходимое на обеспечение безопасности людей;
- время, необходимое на обеспечение функциональной безопасности оборудования и информационной безопасности данных;
- ресурсы, необходимые на восстановление системы;
- класс защищенности АСУ ТП, в которой находится узел;
- для определения третьего и четвертого уровня класс SIL устройств, установленных в узле.

На основе каждого из четырех уровней и будет далее разработан алгоритм обеспечения безопасного поведения актуаторов после выявления аномалий. Общая схема алгоритма описана на рис. 1.

Алгоритм первого уровня линеен и предполагается к нему относить только те узлы, которые выгоднее обследовать уполномоченным лица, чем продолжать разрешать им работать. В большинстве случаев это может относиться к механическим актуаторам.

В первую очередь необходимо логирование последних событий для последующих выводов о роде возникновения аномалии и о мощности ее произошедшего или потенциального воздействия. Также узел перестанет исполнять свои штатные действия на основе показания датчиков или указаний микроконтроллера, если отсутствует возможность отключения через переход оборудования в безопасный режим. Под отправкой предупреждения имеется в виду оповещение об обнаружении аномалии остальным узлам системы и оператору, ответственному за данный участок системы.

Для отправки предупреждения также существует алгоритм, представленный на рис. 2.

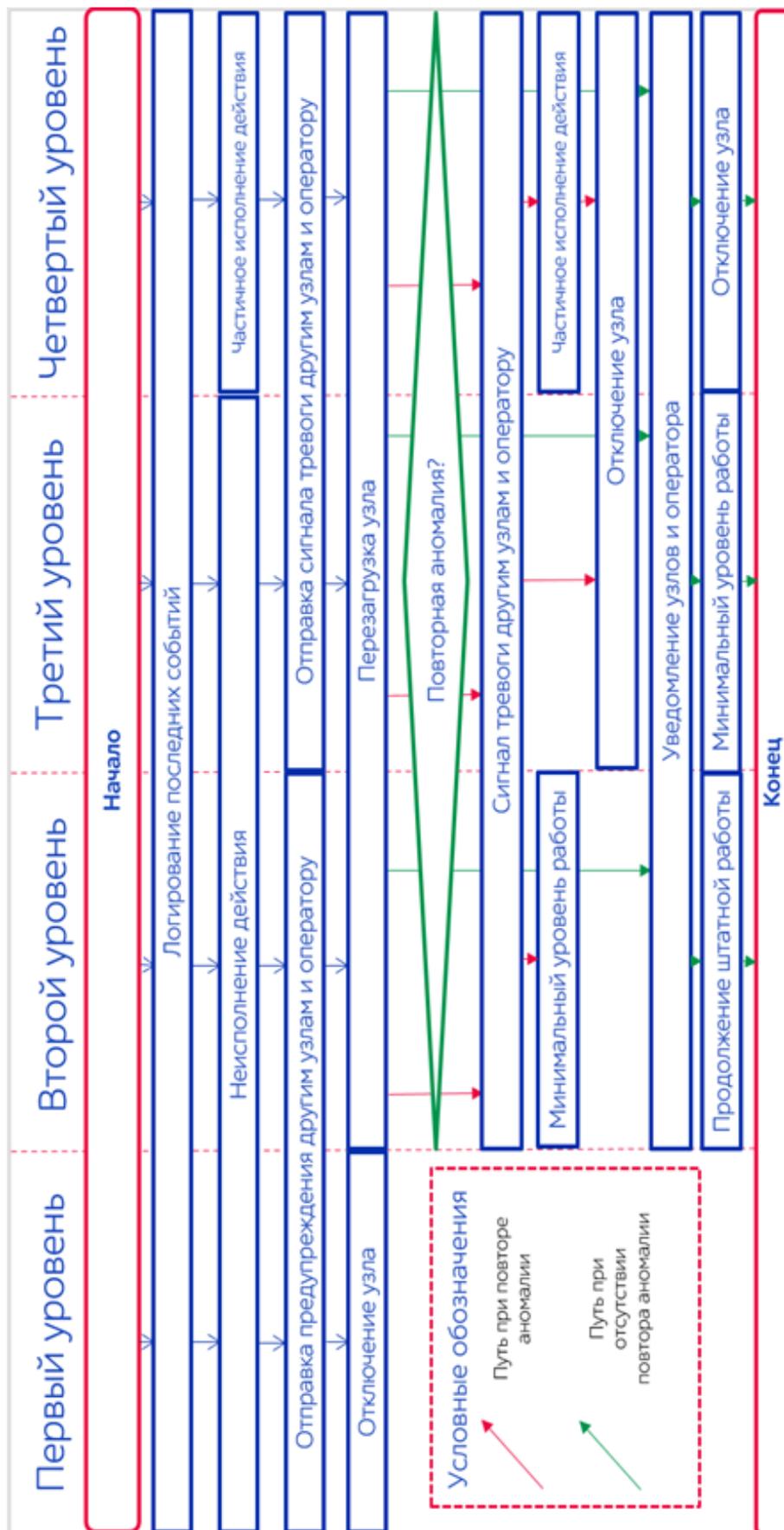


Рис. 1. Алгоритм обеспечения безопасного поведения устройств-актуаторов в АСУ при выявлении аномалии

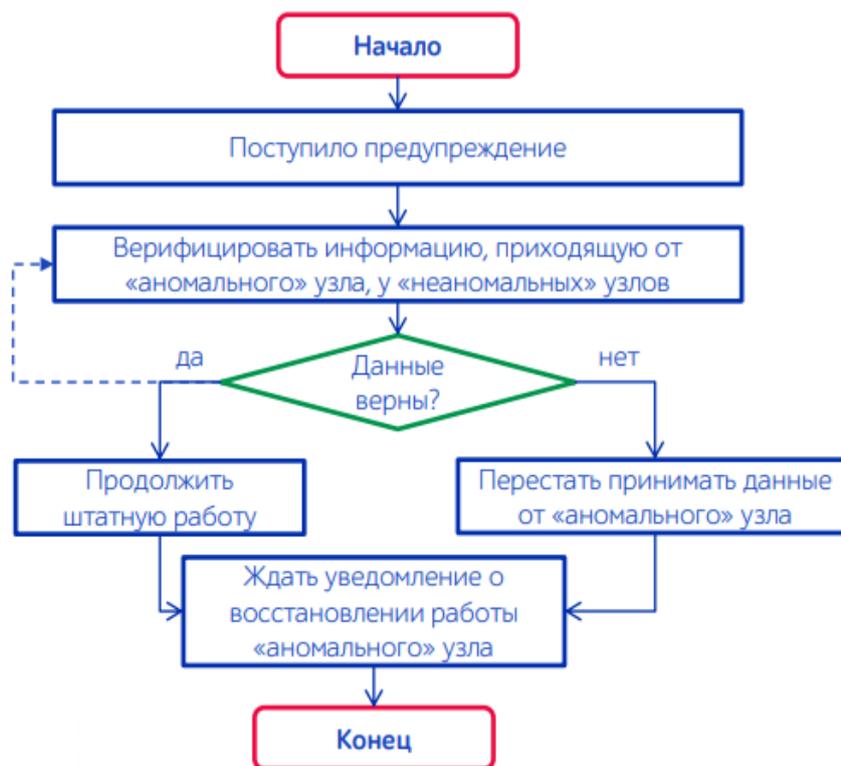


Рис. 2. Алгоритм действия узлов при получении сигнала предупреждения от аномального узла

Для окружающих узлов важно понимать, является ли предупреждение ошибкой первого рода или же существует реальная угроза распространения аномалии. Это можно понять благодаря верификации информации у смежных с аномальными узлами. Если информация подтверждается, то узел может продолжать свою штатную работу, параллельно с этим узел постоянно запрашивает подтверждение информации у соседних узлов. Это осуществляется за счет репутации узлов. Если же подтверждает аномальность передаваемых данных, то необходимо изолировать аномальный узел от всех остальных, чтобы ненормальные показания, значения и действия не сказывались на работе целой системы или отдельных ее участков. После возвращения аномального узла в режим стандартного функционирования остальные узлы возвращают привычное получение данных от него.

Для второго и третьего уровня последствий первым отличием является то, что одновременно с отправкой отчета о последнем состоянии во втором уровне отправляется уже описанное неисполнение действия, а в уровне, где возможно критическое влияние на обеспечение информационной и функциональной безопасностей, сразу же отправляется сигнал тревоги другим узлам и оператору, который будет рассмотрен далее.

Перезагрузка узла, осуществленная с помощью, при возможности перехода в безопасное состояние.

При повторном обнаружении аномалии действия алгоритмов двух уровней обнаруживается второе отличие. После посылы сигнала тревоги, а для третьего уровней сигнал посылается повторно, узлы второго уровня воздействия переходят в режим ограниченного функционала. В это время будут выполняться жизненно важные для системы функции, но вернуть в штатный режим работы узел смогут только уполномоченные лица после проверки оборудования. Узлы же третьего уровня отключаются из соображений не допуска распространения аномалий на другие узлы.

Еще одно отличие можно увидеть при отсутствии повторного обнаружения аномалии. Если в случае со вторым уровнем достаточно просто продолжить штатную работу узла, то в более тяжелом случае необходимо снизить уровень функционирования до нижних пределов.

Возвращаясь к алгоритму действий узлов при получении сигнала тревоги от аномального участка (рис. 3), видно, что он линеен и нацелен на незамедлительное обособление неисправного узла. Получив сигнал и последние показания, они перестают принимать значения до момента, пока не будет соответствующего указания от уполномоченных лиц.



Рис. 3. Алгоритм действия узлов при получении сигнала тревоги от аномального узла

К четвертому уровню относятся узлы, участвующие в обеспечении безопасности при аварийных и чрезвычайных ситуациях. Действие данного класса узлов напрямую может повлиять на жизнь и здоровье людей.

Особенным он является еще и потому, что для при выявлении аномалии устройства все-таки исполняем заложенную алгоритмами функцию, но делаем это частично или с некоторыми условиями. Для наглядности будет приведен пример: если аномалия обнаруживается в узле, который отвечает за тушение пожара путем откачки воздуха из помещения, то система объявляет сигнал тревоги и дает нормативное время для эвакуации людей (в соответствии с размерами помещения и установленными нормативами эвакуации), затем исполняет действие. Другим примером может стать открытие резервуара с водой: если он относится к четвертому классу, то в случае аномалии он откроется частично, а не сразу полностью, что может спасти жизни людей. Все нормы по частичному исполнению должны быть взяты из нормативно-правовых актов или руководящих документов той или иной конкретной области, где используется данный узел, например, противопожарная, противохимическая и иные сферы обеспечения функциональной безопасности человека.

Возвращаясь к алгоритму, то после перезагрузки узел четвертого класса отключится, только он сделает это после уведомления оператора или дополнительно еще раз исполнит частично указание, а лишь потом отключится.

Частичное исполнение необходимо, как фактор спасения жизни человека, которая гораздо важнее решений всех последствий. Отключается узел для того, чтобы не позволить распространиться аномалии на другие узлы. Если же возникает реальная угроза, то режим полного функционирования будет запущен или по команде оператора

или на основе опроса аномальным источником остальных. Если все узлы утверждают угрозу, то необходимо использовать режим полноценной работы узла.

В результате проведенных оценок можно сказать, что при использовании разработанного алгоритма снижается уровень угрозы УБИ.214, противодействие которой нацелено на своевременное выявление и реагирование инцидентов в АСУ. Алгоритм позволяет реагировать не только на несанкционированный доступ в систему, но также и на аномалии биотического, абиотического, техногенного и антропогенного характера.

В результате повторной оценки рисков было установлено, что при использовании алгоритма в актуаторах уровень угрозы и ущерба снижается. В итоге разработанный алгоритм сможет дополнить существующие классификации международных стандартов, разработан в виде ПО и внедрен на предприятия, содержащие АСУ ТП.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 62443-3-3-2016 Сети промышленной коммуникации. Безопасность сетей и систем. Часть 3-3. Требования к системной безопасности и уровни безопасности (Переиздание). docs.cntd.ru. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200135801> (дата обращения: 21.02.2021).
2. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования. docs.cntd.ru. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103191> (дата обращения: 01.03.2021).
3. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения - docs.cntd.ru. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006979> (дата обращения: 25.04.2021).
4. Monostori L. Cyber-physical systems //CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. 2019. С. 460-467.
5. ICS Security: 2017 in review. URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ww-en/analytics/ICS-Security-2017-eng.pdf> (дата обращения: 25.04.2021).

Митиенко Мария Владимировна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО

факультет технологического менеджмента и инноваций,

студент группы №U3494,

направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика,

e-mail: mitienko.m@yandex.ru

Николаев Андрей Сергеевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО

факультет технологического менеджмента и инноваций,

к.э.н., доцент,

e-mail: nikand_95@list.ru

УДК 65.011.8

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТАРТАПА SENDO

М.В. Митиенко

Научный руководитель – к.э.н., доцент А.С. Николаев

Работа выполнена в рамках темы НИР «Формирование цифровой среды для оптимизации логистических процессов с использованием инновационных решений поиска автотранспорта по геолокации».

Аннотация

В данной работе были изучены современные представления о цифровой среде, проанализированы логистические процессы и основные направления транспортной логистики в условиях цифровизации. В ходе работы был проведен анализ стартапа Sendo, его результатов деятельности и проведены исследования конкурентной среды. В заключении были сформулированы рекомендации по формированию цифровой среды для стартапа Sendo.

Ключевые слова

Цифровая среда, продвижение стартапов, инновационные логистические решения, digital-маркетинг, Sendo.

Рынок грузоперевозок стабильно развивается с каждым годом, так темп роста составляет минимум на 2%. [1] Ежегодно растет объем грузоперевозок, причем около 70% перевозок осуществляются с помощью грузовых автомобилей. [1] Несмотря на перспективность и важность рынка грузоперевозок для России в связи с обширной географией, присутствует немалое количество проблем, связанных с отслеживанием, неудобством документооборота и перегоним полупустого транспорта. Также одной из главных проблем является схема работы рынка.

Как происходит работа на данный момент: грузовладелец создает запрос и получает предложения от перевозчиков или экспедиторов, которые первые успели предложить свои условия, далее перевозчики или экспедиторы могут обращаться к последующим перевозчикам (рис. 1). Это является неэффективной работой, так как остается большое количество перевозчиков, которых не смогли запросить, но возможно они могли предложить более удобные условия для сотрудничества.

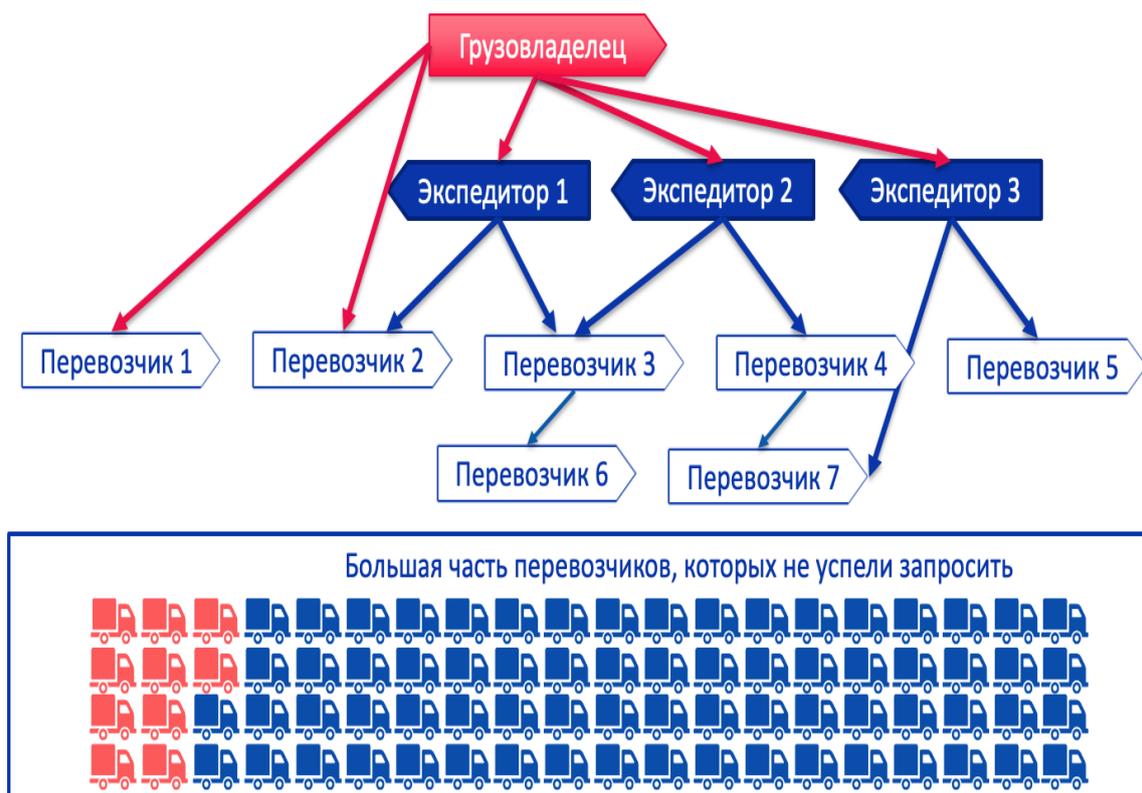


Рис. 1. Схема работы рынка логистики в России

Актуальность обусловлена тем, что сегодня современным программам и развитием рынка продиктована необходимость более комплексного развития транспортно-логистической инфраструктуры, элементом которой являются такие сервисы, как стартап Sendo. Которые позволили бы связать тех, кто заинтересован в данных решениях и тех, кто эти решения предоставляет, чтобы не происходила такая ситуация, как изображена на рис. 1.

Таким образом, целью работы является разработка рекомендаций по формированию цифровой среды для стартапа Sendo.

Sendo – это онлайн сервис для заказа и отслеживания грузоперевозок. Является проектом крупной логистической компании Акросс, которая создала стартап в 2017 году и потратила на реализацию более 25 млн рублей собственных средств. Сервис разработан на функциональном легко масштабируемом языке программирования Clojure. Технологическое ядро системы включает в себя использование методов машинного обучения, прогнозной аналитики и искусственную нейронную сеть, что позволяет реализовать следующие функции:

1. Подбор ближайших освобождающихся машин, которые позволяет минимизировать холостой пробег под подачу, а также осуществлять «обратные» загрузки без ожидания.

2. Геоанализ маршрутов, выявляющий ходовые направления для получения оптимальных условий и оптимизирующий колебания спроса и предложения по направлениям.

3. Геопоиск сборных грузов, позволяющий дозагрузку машин с неполной загрузкой по маршруту следования.

Как видно из рис. 2, решается одна из главных проблем рынка - охватываются все релевантные перевозчики, благодаря функции геоанализа, что в итоге экономит время и средства грузовладельцев и грузоперевозчиков.

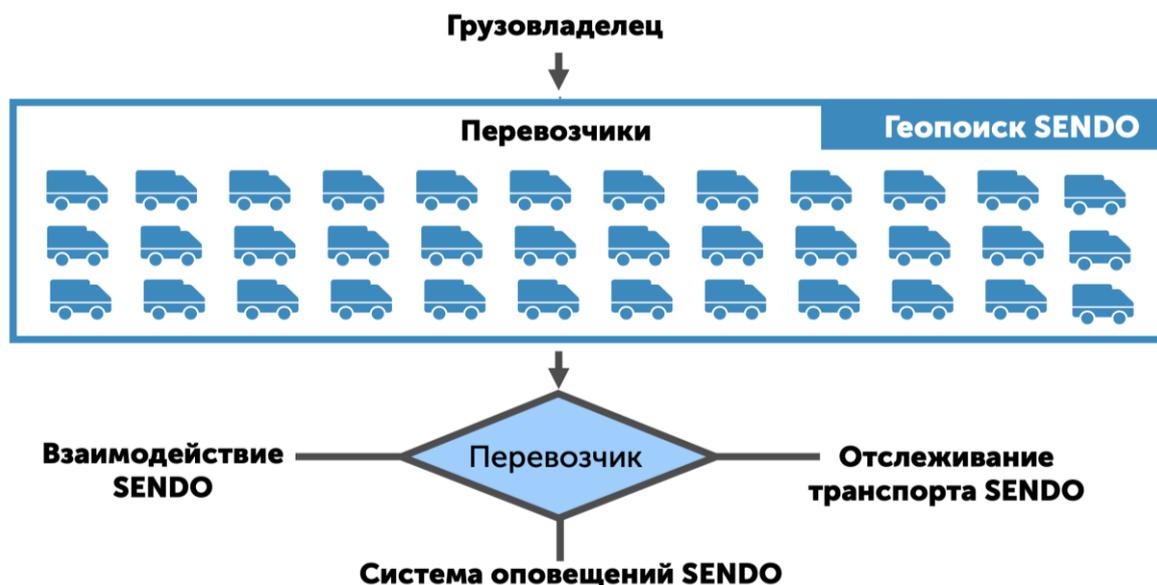


Рис. 2. Модель работы стартапа Sendo

В рамках изучения стартапа, автором был проведен SWOT-анализ и составлена матрица системных характеристик. По полученным результатам было выявлено, что основная проблема – это отсутствие финансирования, так как собственные инвестиции прекратились в 2020 году на фоне пандемии коронавируса. Также были выявлены проблемы, связанные с управлением стартапом, такие как: трата большого количества времени на согласования всех действий; многократное превышение должностных обязанностей операционного директора и маркетолога; абстрактность целей; отсутствие стратегии и системы работы.

Автором были выбраны и проанализированы основные методики управления стартапами по критериям наиболее важным для Sendo (рис. 3)

Критерий	Система управления проектом			
	Waterfall	Agile	Scrum	Kanban
Подход	линейный	гибкий	гибкий	гибкий
Возможность внесения изменений	-	+	-+	+
Масштабируемость	-	+	+	+
Простота перехода	-+	+-	-+	+
Сложность и времязатратность ведения	+	+-	+-	-+
Акцент на планировании	+	+-	+	-+

Рис. 3. Анализ существующих методик управления стартапами по критериям Sendo

По итогам анализа выявлено, что наиболее подходящий способ управления командой в рамках этого проекта будет являться гибридный принцип использования методологий Agile и Kanban. Более детально данная методика была раскрыта на конференции Проспект Свободный 2021.

Далее в ходе анализа стартапа перейдем к изучению конкурентной среды. В таблице представлены конкуренты их краткое описание деятельности, преимущества и недостатки.

Описание компаний-конкурентов

Компания	Краткое описание
ATI.SU	Самая крупная и популярная логистическая площадка. Выступает в роли брокера. Большое количество сервисов, но все они разрозненны. Отсутствуют современные функции
DELIVER	Электронный экспедитор. Сложная регистрация, подбор перевозчика осуществляется менеджером, отслеживание груза через интернет
GROOZGO	Электронный экспедитор. Усовершенствованный функционал, в отличии от Deliver. Работают только с прямыми собственниками грузов и машин. Основное направление – пищевая логистика
ВЕЗЕТ ВСЕМ	Занимается всеми видами перевозок, акцент не на грузоперевозки. Представляет собой логистическую компанию, перевозчиками которой являются сторонние лица
AGORA FREIGHT	Самый новый из всех сервисов. География – весь мир. Любой вид транспорта. Акцент на международные перевозки

Самый сильным конкурентом является Agora Freight. Но тем не менее у стартапа Sendo выделяются конкурентные преимущества:

- 1) постоянное отслеживание груза, не зависящее от интернет-соединения;
- 2) возможность догруза;
- 3) поиск грузоперевозчиков по геолокации;
- 4) автоматизированные процессы работы;
- 5) единый электронный документооборот;
- 6) страхование грузов;
- 7) современный, удобный сервис.

Проанализировав стартап и конкурентную среду, я предлагаю рекомендации по продвижению: гранты, выставки, медиа, digital - маркетинг и управление ИС.

Рассмотрим подробнее. Касательно получения грантов и инвестиций, рекомендую продолжить работу в союзе «НейроНет» для возможности получения государственных или частных инвестиций – уже были попытки общения с потенциальным инвестором, но на фоне пандемии COVID процесс остановился, необходимо продолжить работать в этом направлении.

Также рекомендуется подать заявку для участия в программе «Технологический прорыв НТИ и в программы фонда развития интернет инициатив.

Из выставок предлагается принять участие в TransRussia 2021, 2022 и онлайн выставка технологических проектов Startup Expo 2021. Во второй выставке участие бесплатное, в первое есть субсидии для участников.

Публикации и партнерские материалы в медиа источников таких как: Ati.su, VC.ru, Forbes.ru – дают охват большого количества аудитории, в том числе грузовладельцев и грузоперевозчиков, а также это дополнительный органический трафик на сайт.

Товарный знак Sendo (рис. 5) является комбинированным, то есть состоит из словесного и изобразительного обозначения. Перед составлением заявки, был проведен поиск по данным обозначениям. Касательно словесного обозначения были найдены 3 товарных знака, но они представлены в других классах регистрации.



Рис. 5. Товарный знак Sendo



Рис. 6. Товарный знак Норникель

По изобразительному обозначению был проведен поиск по фото в поисковых системах Яндекс и google - похожих изображений не было найдено. Но, на мой взгляд графический элемент Sendo отдаленно напоминает товарный знак Норникеля (рис. 6), более этого Норникель представлен в 39 классе. Могут возникнуть сложности, но потенциально это не мешает регистрации товарного знака Sendo. Безусловно, итоговое решение будет зависеть от специалиста Роспатента.

Далее в ходе изучения стартапа автором были выделены перспективные направления развития:

- интеграция с системой «Платон»;
- интеграция с биржей ATI.SU;
- расширение функционала: ЖД-перевозки, морские перевозки;
- интеграция партнерской базы для водителей: стоянки, автомойки, автосервисы, шиномонтажи;
- внедрение системы в транспортные коридоры, например коридор Западная Европа - Западный Китай.

В рамках практической работы автором было произведено мини-социологическое исследование с помощью email-рассылки, с целью определить реальную аудиторию.

Из 24 разосланных писем с необходимыми метриками отслеживания, 54% перешли на сайт и 8% оставили заявку. Таким образом, оценивая потенциальную аудиторию в 3,78 млн пользователей, отложенная аудитория составляет 2 млн, а реальная 302 тыс. пользователей.

По итогам выпускной квалификационной работы был предложен комплекс действий, который в целостности формирует необходимую цифровую среду для стартапа. Было осуществлено:

1. Исследован рынок грузоперевозок в России, определены основные проблемы.
2. Проведен анализ компании, выявлены слабые стороны стартапа.
3. Предложены рекомендации по управлению стартапом, дана конкретная методика управления под данный стартап.
4. В результате конкурентного анализа определена ниша и конкурентные преимущества.
5. Даны рекомендации по управлению интеллектуальной собственностью.
6. Создана заявка для регистрации товарного знака, проведен анализ словесного и изобразительного обозначения.
7. Разработаны рекомендации для продвижения, состоящих из 5 элементов.
8. Предложены рекомендации по масштабированию проекта.
9. Сделан прогноз потенциальной, реальной и ожидаемой аудитории.
10. Предложены перспективные направления для дальнейшего развития.

Предложенные комплекс действий приведет к успешному выходу на рынок, представлению потенциальной аудитории правильной ценности продукта, и как следствие увеличение клиентской базы. Более того, у стартапа имеется четкий вектор развития и масштабирования, как и с технической точки зрения, так и с управленческой. Предложения по поиску финансирования помогут стартапу найти необходимые инвестиции и начать масштабную работу.

Литература

1. Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики.: Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики [Электронный ресурс]. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/24196.pdf> (дата обращения: 20.03.2021).

Михайлов Алексей Игоревич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

студент группы №Р3421,

направление подготовки: 09.03.04 – Нейротехнологии и программирование,

e-mail: mihalovish@yande.ru.ru

Штенников Дмитрий Геннадиевич

Научный руководитель, доцент, к.т.н.,

Год рождения: 1975

Университет ИТМО,

мегафакультет компьютерных технологий и управления,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

к.т.н., доцент,

e-mail: dshtennikov@itmo.ru

УДК 35.24.12

**ЧАТ-БОТ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ОКРАСА ТЕКСТА**

А.И. Михайлов

Научный руководитель –к.т.н., доцент Д.Г. Штенников

Аннотация

В работе описан механизм оценки эмоциональной окраски текста с целью выявления негативных сообщений и дальнейшего определения концентрации негативных сообщений в чате. Своевременное определение концентрации негативных сообщений позволяет в режиме реального времени уведомлять администрацию чата о повышении концентрации негативных сообщений до критического значения.

Ключевые слова

Анализ эмоциональной окраски, концентрация негативных сообщений, компьютерная лингвистика, метод случайного леса, обучение с учителем.

Анализ эмоциональной окраски текста всё чаще используется для решения прикладных задач, которые ранее решались вручную. Со временем становится всё больше данных, и их разрешение требует новых способов обработки информации. Спрос на аналитику и мониторинг текстов очень высокий, данные становятся всё проще монетизировать. Маркетологи, психологи, журналисты, лингвисты, экономисты, редакторы и другие профессии нуждаются в оперативном определении эмоциональной окраски текста. В ответ на этот запрос совершенствуются старые и создаются новые способы оценки эмоциональной окраски текста.

Оценка эмоциональной окраски используется как для большого количества данных (тональность художественных текстов, общественное мнение по социально важным вопросам на основании комментариев в социальных сетях, фильтрация текстов в целях госбезопасности), так и для задач маленького масштаба (оценка работников корпорации на основании отзывов). В некоторых случаях допустимо использовать опросы, но в большинстве случаев такой вариант не применим или не эффективен. Анализ окраски текста предлагает более широкий пласт решений, позволяет своевременно принимать решения на основании актуальных данных.

Автоматическое определение особенностей внутреннего содержания текста сводится к определению того, является ли текст полярным. Текст, который сообщает нам факты, иллюстрирует информацию, подведение итогов, отчёты, является

неполярным, то есть нейтральным. Такие сообщения служат для передачи информации и не поддаются определению эмоционального окраса текста. Для полярных сообщений решается задача определения полярности, где +1 – позитивная тональность, а -1 – негативная тональность.

Существует актуальная проблема – модерация чатов. Имеющиеся в наличии автоматические средства на сегодняшний день используют фильтры и банят пользователей за использование в тексте запрещённых нецензурных слов, но, если пользователи знают о наличии такого фильтра в чате, его легко обойти. Вторым аналогом решения этого вопроса является модератор, который вручную в режиме реального времени следит за сообщениями пользователя, но это занимает слишком много времени. Моё решение данной актуальной проблемы предлагает автоматическую оценку концентрации негативных сообщений в режиме реального времени и своевременное уведомление администрации чата о превышении критического значения концентрации негативных сообщений. Это позволяет заниматься модерацией чата только в тех случаях, которые автоматическое средство анализа отмечает, как достойные внимания. В случаях, когда концентрация негативных сообщений в рамках нормы, уделять время чату не требуется.

В рамках данной ВКР было проведено подробное исследование методов анализа текста, подробно описаны различные варианты, их положительные и отрицательные стороны. Для формата данного конкурса эти объяснения слишком длинные, поэтому ограничусь упоминанием о том, что метод, на котором основана модель, осуществляющая предсказания – наиболее оптимальный при учёте условий разработки.

Итак, будучи администратором в чате, бот считывает сообщения в режиме реального времени и считает концентрацию негативных сообщений. Если она высокая, администратору приходит сообщение об этом. Также администратор при помощи зарезервированного сообщения может узнать текущую концентрацию негативных сообщений в чате.

Сама выпускная квалификационная работа, по сути, состоит из двух частей – создание модели, которая будет делать прогнозы, получая на вход сообщения из чата и сам чат-бот, который получает сообщения из чата и, используя вышеописанную модель, вычисляет концентрацию. Для иллюстрации создания модели, на рис. 1 ниже представлена диаграмма классов анализа.

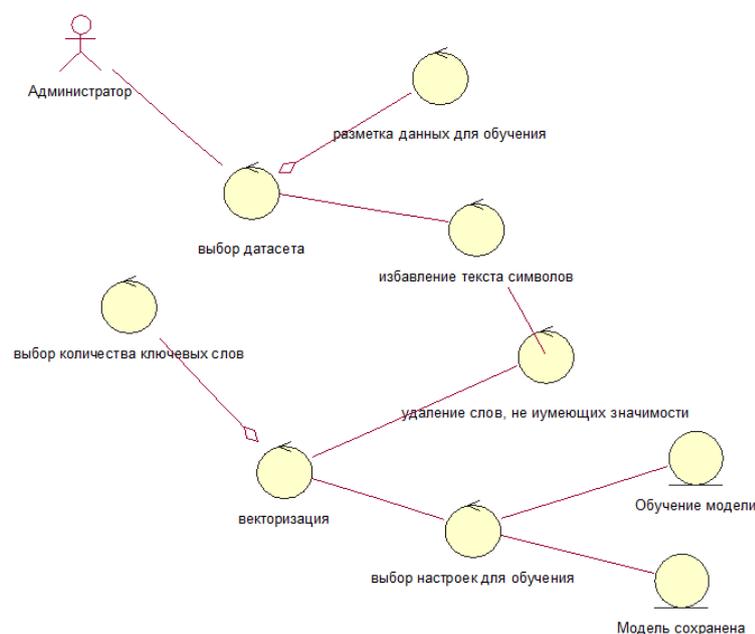


Рис. 1. Диаграммы классов анализа

Чтобы продемонстрировать работу самого чат-бота, больше подойдёт диаграмма вариантов использования на рис. 2.

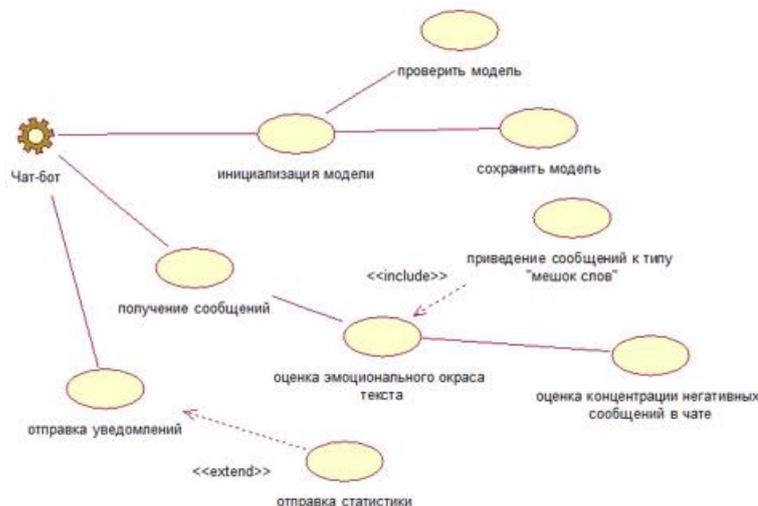


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования Чат-бота

Выбор датасета для обучения – одна из самых важных частей создания любой модели. Так как меня интересовали именно сообщения в чате, а не, например, комментарии-отзывы в интернет-магазинах (размеченных датасетов на эту тему существует очень много), пришлось очень долго подбирать подходящие данные. Текст должен быть коротким и размечен по классам заведомо положительных и заведомо отрицательных сообщений. Наиболее подходящим к моей сфере разработки я выбрал корпус на основе русскоязычных постов микроблогинговой площадки twitter [1].

После удачного выбора данных для обучения, необходимо привести данные к формату, с которым моя модель может работать, то есть провести очистку и векторизацию. Сначала из всех текстов удаляются символы нерусского языка, знаки препинания и лишние пробелы, затем по признаку TF-IDF осуществляется выборка 3000 наиболее значимых слов, которые встретились в тексте хотя бы 7 раз; так как дальнейшее увеличение количества слов незначительно влияет на точность прогнозов.

Далее я протестировал три метода построения модели: Байесовский метод, метод рекуррентных нейронных сетей и метод случайного леса. Так как метод случайного леса оказался наиболее точным и использовался в конечной модели, далее подробно будет о нём.

Выборка данных рекуррентно делится на примерно равные части по случайному признаку. Когда количество терминальных вершин достигает критического значения, что позволяет деревьям быть сколь угодно глубокими, поэтому в большинстве случаев удаётся натренировать модель даже до 100% точности на обучаемой выборке, но при этом значение дисперсии будет высоко. Другими словами, *при наличии B независимых и одинаково распределённых переменных, каждая с дисперсией σ^2 , то сумма или, что то же самое, среднее значение выборки случайных переменных будет иметь дисперсию по формуле (1)*

$$D = \frac{1}{B} \sigma^2 \quad (1)$$

Среди полученных терминальных вершин сохраняются только те, в которые попало наибольшее количество представителей одного класса. Таким образом, итерационно повторяется построение деревьев или до достижения обозначенной точности прогнозов или заданное количество раз (200 раз в моём случае). Дальнейшее увеличение количества деревьев не принесло повышения точности прогноза.

Алгоритм классификации случайным лесом использует критерий Джини. Джини является мерой того, как часто случайно выбранный элемент из набора будет неправильно помечен, если он был случайно помечен в соответствии с распределением ярлыков в подмножестве. Критерий Джини может быть вычислен путем суммирования вероятностей p_i элемента i быть выбранным, умноженным на вероятность ошибки $1-p_i$ в классификации этого элемента. Он достигает своего минимума (нуля), когда все наблюдения в узле попадают в одну целевую категорию. Критерий Джини аналогичен энтропии, являясь частным случаем энтропии Цаллиса с коэффициентом деформации $q = 2$.

Алгоритм случайного основывается на предположении, что на большой глубине построения случайных деревьев корреляция вычисленных терминальных вершин будет минимальной, но, если это требование не соблюдено, также существуют способы минимизировать эту корреляцию при необходимости, которая не возникла в рамках моей работы.

Алгоритм случайного леса несмотря на свою высокую точность, работает по принципу черного ящика. То есть получить информацию от алгоритма о том, каким образом получены данные прогнозы затруднительно. В то же время алгоритм не является требовательным к данным для обучения в отличие от глубоких нейронных сетей. Глубокие нейронные сети в рамках задач классификации зачастую обладают более высокой точностью, чем метод случайного леса, но не применимы для маленьких корпусов случайных данных, поскольку для того, чтобы обучить глубокую нейронную сеть отличать тонкие семантические особенности текста, которыми она и заполучила свою популярность, необходимо четким образом на конкретных примерах обучения продемонстрировать эту разницу.

Полученные результаты являются ответом на поставленные в рамках работы цели и задачи:

1. Точность прогнозов последней версии модели достигла 78% (Accuracy).
2. Протестирована работа чат-бота в рамках реального чата.
3. Скорость реакции на изменение настроений в чате менее 5 секунд.

В развитии данного проекта мне бы хотелось реализовать работу чат-бота и для других мессенджеров, а также сделать возможность добавления моего кода в реализацию других чат-ботов более простой через импорт в качестве библиотеки.

Подводя итоги, в рамках дипломной работы был разработан чат-бот, осуществляющий оценку концентрации негативных сообщений с высокой точностью в режиме реального времени. Чат-бот протестирован и готов к использованию.

Литература

1. Рубцова Ю.В. Построение корпуса текстов для настройки тонового классификатора // Программные продукты и системы. 2015. №1(109). С.72-78. <http://study.mokoron.com/>.

Мищенко Владислава Юрьевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы № Т3425,

направление подготовки: 19.03.03 – Продукты питания животного происхождения,

e-mail: 3105mischenkovladislava@mail.ru

Надточий Людмила Анатольевна

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: l.tochka@mail.ru

УДК 637.146.1

**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ
КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОРОЩЕННЫХ СЕМЯН ЛЬНА (LINUM USITATISSIMUM L.)**

В.Ю. Мищенко

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

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка рецептуры кисломолочного продукта с использованием пророщенных семян льна (*Linum usitatissimum* L.)».

Аннотация

В работе рассмотрена целесообразность использования в рецептуре йогурта пророщенных семян льна масличного. Приведен основной состав сухих семян из актуальных литературных источников, а также при прорастании. Проведено непосредственно проращивание с определением оптимального количества вносимой влаги, осуществлен подбор рецептуры готового йогурта.

Ключевые слова

Лен масличный, *Linum usitatissimum* L., разработка рецептуры, йогурт, проращивание.

В настоящее время в условиях плохой экологии, малоподвижного образа жизни и многих других факторов, большая часть населения все чаще стала уделять свое внимание правильному сбалансированному питанию. Одним из векторов развития рынка здоровых продуктов является не только разработка новых, но и увеличение ассортимента традиционных продуктов. Такими продуктами могут являться кисломолочные. Они по питательной и биологической ценности превосходят молочные, так как содержат все необходимые организму человека вещества, что и в аналоге, однако в более усвояемой форме.

Введение в кисломолочные продукты с функциональными свойствами растительных добавок позволит обогатить продукты дополнительно клетчаткой, повысить антиоксидантные, антиканцерогенные и другие свойства. Одним из примеров полезного ингредиента являются пророщенные семена льна. Изначально семена масличного льна известны своим составом: масло, которое высоко ценится благодаря высокому содержанию полиненасыщенных жирных кислот; лигнанов; пищевых волокон и других. При прорастании содержание белка, многих витаминов и минералов повышается. Это связано с особенностями биохимических процессов при развитии зародыша в семени [1].

На проращение семени влияют два фактора: влажность и температура. При их увеличении возникает свободная вода, которая резко усиливает проницаемость клеточных стенок и, тем самым, интенсивность окислительных процессов. Так происходит процесс перехода резервных нерастворимых веществ зерна в растворимые и легкоусвояемые. Влага проникает внутрь зерна и образует твердые растворы с такими веществами, как белки, крахмал, клетчатка, и др. Таким образом, предполагается, что ростки характеризуются повышенным накоплением веществ, в сравнении с сухими семенами, а следовательно, такая добавка в продукты питания обеспечит требуемую высокую пищевую и биологическую ценность [2].

Что же касается основного состава, в семенах льна содержится до 33 % белка, с достаточно высокой для растительного усвояемостью (особенно богат триптофаном). Количество клетчатки до 7,7 %, а при проращивании увеличивается до 9,6 %. Среди микро- и макроэлементов можно выделить следующие: фосфор (700 мг в 100 г), магний (540 мг в 100 г), железо (7,7 мг в 100 г), цинк (5,7 мг в 100 г), марганец (0,03 мг в 100 г), медь (0,1 мг в 100 г). Можно выделить и высокое содержание кальция (1400 мг в 100 г). В семенах содержится фолиевая кислота, каротин, такие витамины, как E, K, P, B₁. Количество витамина C в семенах 1,35 мг в 100 г а при проращении достигает предела в 14,44 мг в 100 г, антиоксиданты — с 56 мг в 100 г до 526 мг в 100 г [3].

Для семян льна по ГОСТ наиболее оптимально проращивание на двойном слое фильтровальной бумаги в чашках Петри, при постоянной температуре равной 20 °С, в темноте. Подсчет проросших семян следует определять в течение 7 дней, энергию проращивания – на 3 день, всхожесть - на 7 [4].

В качестве оптимизации процесса проращивания использовалось предварительное прогревание и предварительная промывка сухих семян. Промывали семена в течение 2 минут при комнатной температуре, а затем высушивали на фильтровальной бумаге. Прогревание осуществлялось в открытых чашках Петри в течение 5 суток при температуре 35 °С. Для определения влажностного фактора и подсчета проросших семян в каждом из образцов на двойной слой фильтровальной бумаги в чашки Петри укладывали по 100 штук тщательно отобранных семян. Утилизации подвергались некачественные семена, не отвечающие данному ГОСТ, имеющие нехарактерный для семян льна цвет или же с нарушенной формой. Чашки Петри предусмотрительно дезинфицировались 96% этанолом. Проросшие семена подсчитывали каждый день, по мере проращивания. Для обеспечения проветривания, семена приоткрывали чашки Петри на 10 секунд. Для оценки влажностного фактора в каждый из образцов вносили различное количество дистиллированной воды: 1 образец – 2 мл воды; 2 образец – 3 мл воды; 3 образец – 4 мл воды; 4 образец – 5 мл воды; 5 образец – 6 мл воды; 6 образец – 7 мл воды. Данные образцы хранились в течение 7 дней в условии лаборатории, то есть при естественном освещении, комнатной температуре 20 °С, в ежедневно проветриваемом помещении, с оптимальной циркуляцией воздуха. Все эксперименты проводились в трехкратной повторности.

Данные о влиянии влажностного режима на проращивание семян льна отображены в табл. 1.

На второй день проращивание наблюдалось у образцов, под номерами 4 и 5, все же остальные показали всхожесть лишь на 3 день. Образцы 1 и 2 проросли, однако динамика не продолжилась, вследствие недостаточного количества влаги. При внесении 2 и 3 мл влаги в чашки Петри образцы высыхают.

Образцы 4 и 5 показали приблизительно одинаковые значения, однако образец под номером 4 демонстрировал более высокую скорость. Образец под номером 6 показал результаты ниже ожидаемого, вследствие избыточного количества влаги.

Влияние влажностного режима на основные характеристики проращивания семян представлено в табл. 2.

Таблица 1

Влияние влажностного режима на прорастание семян

№	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день	7 день
1	0	0	37±1,56	37±1,56	37±1,56	37±1,56	37±1,56
2	0	0	39±0,94	39±0,94	39±0,94	39±0,94	39±0,94
3	0	0	43±1,60	78±1,47	85±1,47	99±0,47	99±0,47
4	0	2±1,25	47±0,82	87±0,82	92±1,47	100	100
5	0	1±2,34	47±1,47	84±0,82	90±1,56	100	100
6	0	0	39±1,87	84±0,41	89±1,56	97±0,82	97±0,82

Таблица 2

Влияние влажностного режима на основные характеристики прорастания семян

Основные показатели	1 образец	2 образец	3 образец	4 образец	5 образец	6 образец
Энергия прорастания, %	37,67	39,00	43,66	47,33	47,00	39,66
Всхожесть, %	37,67	39,00	99,33	100	100	97,67
Скорость прорастания, сут.	5,00	5,00	5,26	5,33	5,28	5,21
Дружность прорастания, шт.	5,38	5,57	14,19	14,29	14,29	13,95

Скорость прорастания – принимают за средневзвешенное число дней, за которое семя прорастает.

Дружность семян-количество семян, которые проросли за одни сутки.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятным влажностным режимом для семян льна является внесение 5 мл дистиллированной воды (образец 4), он показал хорошую всхожесть, дружность прорастания, а также обладал самой высокой скоростью прорастания и энергией.

В ходе изучения литературных источников было принято решение в качестве наполнителя в исследуемые образцы вносить ростки семян льна, известные своей пользой, а также для увеличения потребительских свойств – различные добавки с сахаром.

Предполагалось, что они будут подчеркивать несколько ореховый привкус семян льна, что способствует увеличению потребительских свойств. Все образцы изготавливались традиционным способом по технологии производства йогурта с применением закваски прямого внесения.

Была проведена органолептическая оценка образцов для определения дозы внесения наполнителя с помощью дегустационной комиссии в составе 5 человек. Было разработано 9 образцов для исследования с различными вносимыми сладкими наполнителями, а также с различной дозой внесения пророщенных ростков 1:1, 1:2, 2:1.

Задачами данного исследования являлось определить оптимальную дозу внесения исследуемого компонента, а также наиболее предпочтительный сладкий наполнитель.

В табл. 3 представлены образцы с различными рецептурами.

Таблица 3

Рецептуры наполнителей на 100 г готового продукта

№ образца	Сквашенная смесь, г	Ростки льна, г	Сироп «Лесной орех», г	Джем «Малиновый»	Сироп «Карамель»
1	95	2,5	2,5	-	-
2	95	1,25	3,75	-	-
3	95	3,75	1,25	-	-
4	95	2,5	-	2,5	-
5	95	1,25	-	3,75	-
6	95	3,75	-	1,25	-
7	95	2,5	-	-	2,5
8	95	1,25	-	-	3,75
9	95	3,75	-	-	1,25

Результат органолептической оценки представлен в табл. 4.

Таблица 4

Результаты органолептической оценки

Показатель	Номер образца								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Внешний вид и консистенция	5	4,73	4,8	5	4,8	4,8	5	4,73	4,87
Запах	5	4,85	5	5	3,85	5	5	4,65	5
Вкус	5	4,6	5	4,6	3,6	4,48	4,88	4,44	4,96
Комплексная оценка (с уч. к. весомости для каждого показателя (0,33))	5	4,75	4,95	4,88	4,26	4,80	4,97	4,66	4,96

Можно отметить, что образец 5, с составом 1,25 г льна и 3,75 г джема малинового показал наименьшие результаты, наблюдалось несочетание легкого орехового привкуса ростков льна с резким сладким ягодным наполнителем, образцы 4 и 6 с внесенным джемом малиновым также показали низкие результаты.

Наивысшие оценки показали образцы с вносимой дозой семян к сладкому наполнителю: 1:1. Образцы 1,7.

Таким образом, за счет органолептической оценки членами дегустационной комиссии был выбран образец номер 1 со следующим рецептурным составом, представленным в табл. 5.

Таким образом, в ходе работы была обоснована польза такого компонента, как пророщенные семена льна масличного в составе кисломолочного продукта. Для осуществления дальнейшего проращивания был проведен эксперимент с целью выяснения оптимального количества дистиллированной воды. По итогу, в чашки Петри для эффективного проращивания необходимо вносить 5 мл влаги.

Рецептура йогурта с пророщенными семенами льна и сиропом «Лесной орех» на 1000 г готового продукта

Название компонента	Количество вносимого компонента без учета потерь, г
Йогурт, сквашенный без наполнителя	950
Ростки семян льна	25
Сироп «Лесной Орех»	25
ИТОГО	1000

Осуществлен подбор рецептуры кисломолочного продукта с добавлением пророщенных семян льна и сиропом «Лесной орех». По данной рецептуре рекомендуется вносить ростки льна в составе 2,5% от общей массы.

В дальнейшем планируется исследование микробиологических показателей готового продукта, а также методов контроля сухих семян в качестве сырья на предмет контаминации спорами плесневых грибов.

Литература

1. Sean Finnie, Vanessa Brovelli, Darrel Nelson. Sprouted grains as a food ingredient , Sprouted Grains. 2019. no. 30. P. 321–324.
2. Конева М.С. Диссертация: разработка технологии и оценка потребительских свойств смузи, обогащенных продуктами из пророщенного зерна пшеницы. ВАК. 2017. 175 с.
3. Шаскольская Н. Самая полезная еда: проростки / Шаскольская Н., Шаскольский В. СПб.: Азбука-Аттикус. 2011. 192 с.
4. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ. 2008. 30 с.

Мусихина Екатерина Сергеевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы № V3427,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: katarreb@bk.ru

Иванов Сергей Александрович

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

к.ф.-м.н.,

e-mail: ykkaroh@gmail.com

УДК 535.421

**РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕВОГО
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ БРЭГГОВСКИХ
РЕШЕТОК В ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНОМ СТЕКЛЕ**

Е.С. Мусихина

Научный руководитель – к.ф.-м.н. С.А. Иванов

Аннотация

В работе были рассчитаны параметры записи и чтения осевого делителя лазерного пучка для рабочей длины волны 1550 нм. Были записаны три осевых делителя (на 4, 5 и 7 каналов) в фото-термо-рефрактивном стекле с равным распределением интенсивности между лучами. Проведена оценка динамического диапазона изменения показателя преломления материала в зависимости от количества решеток, записанных в единице объема материала.

Ключевые слова

Фото-термо-рефрактивное стекло, дифракционная решетка, мультиплексирование, объемная брэгговская решетка, осевой делитель.

В настоящее время в медицине получили распространение фракционные лазерные системы, которые используются для точечного воздействия лазерным излучением на биологические ткани, например, для низкоинтенсивной лазерной терапии с использованием непрерывного или импульсного лазерного излучения или в косметологии. И в косметологии, и для лазерной терапии необходимо разделить пучок таким образом, чтобы обеспечить равномерное воздействие излучения на участок кожи человека. Для этого могут использоваться системы сканирования и массивы микролинз, однако наиболее распространено использование дифракционных оптических элементов (ДОЭ). Картины дифракции, формируемые такими элементами, могут представлять собой как массивы точек различной конфигурации, так и случайное распределение точек. Наиболее распространены картины дифракции в виде одно- и двумерных массивов точек.

Для задач деления пучка в медицинских приборах ДОЭ производятся с помощью литографии или голографии. Голографические оптические элементы (ГОЭ) имеют преимущество перед ДОЭ, изготовленными литографическим методом, тем, что имеют меньшую стоимость и меньшую трудоемкость процесса производства. Материалами для ГОЭ чаще всего являются полимерные материалы ввиду их доступности и

простоты их синтеза, однако полимерные материалы обладают слабой стойкостью к высоким мощностям непрерывного лазерного излучения, поэтому для взаимодействия с высокомогным непрерывным лазерным излучением требуется другой материал. Одним из наиболее подходящих материалов для подобного рода задач является фото-термо-рефрактивное (ФТР) стекло. ФТР стекло обладает химической, механической и термической стойкостью. Кроме того, оптические элементы, записанные на ФТР стекле, отличаются долгим сроком службы, так как не происходит деградация записанных в материале структур.

Таким образом, целью данной работы является запись осевых делителей лазерного пучка с использованием осевого мультиплексирования на ФТР стекле и исследование влияния мультиплексирования на динамический диапазон показателя преломления материала.

ФТР стекло для проведения эксперимента было синтезировано на базе научно-исследовательского центра оптического материаловедения университета ИТМО. Для проведения эксперимента были изготовлены пластины $25 \times 12,5$ мм для записи осевых делителей (с толщинами 1, 2 и 5 мм), и 30×12 мм, (с толщиной 1 мм) для исследования влияния мультиплексирования на динамический диапазон материала. Поверхность образцов была предварительно отшлифована и отполирована.

Запись решеток в ФТР стекле осуществлялась путем регистрации интерференционной картины в стекле излучения гелий-кадмиевого лазера Kimmon K Series IK3501R-G с длиной волны 325 нм по асимметричной схеме. Проявление голограмм проводилось посредством термической обработки образцов: при температуре 493°C в течение 10 часов. для исследования динамического диапазона материала; для осевых делителей проявление производилось при температуре 515°C , длительность обработки подбиралась отдельно для каждого элемента.

Определение амплитуды модуляции показателя преломления записанных решеток осуществлялось с помощью анализа контуров угловой селективности голограмм для прошедшего и дифрагированного лучей. Длина волны лазера для анализа контуров угловой селективности отдельных голограмм была выбрана отличной от рабочей длины волны элемента (1550 нм), поэтому был использован твердотельный лазер Cobolt Rumba с длиной волны 1064 нм. Оценка точности записи полученных осевых делителей осуществлялась с помощью волоконного лазера RIO ORION с длиной волны излучения 1549,34 нм.

Работа выполнялась по заказу ООО НТО «ИРЭ-Полус». Целью работы являлось создание трех осевых делителей лазерного пучка – на 4, 5 и 7 лучей; рабочая длина волны элементов – 1550 нм. Решетки элемента должны воспроизводиться одновременно при нормальном падении излучения с рабочей длиной волны на поверхность образца (рис. 1).

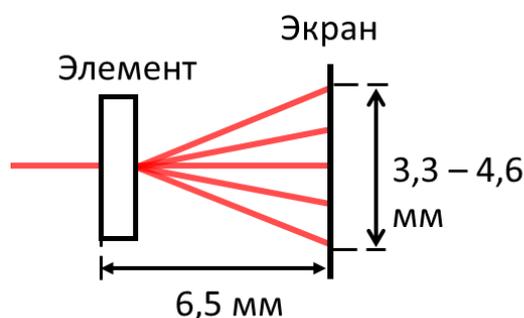


Рис. 1. Схематическое изображение принципа работы осевого делителя

Кроме того, дифрагированные пучки каждого элемента должны иметь равную интенсивность (отклонение интенсивности в одном пучке от среднего значения не должно превышать 5%) и должны лежать на окружности с диаметром от 3,3 до 4,6 мм при условии, что изображение расположено на расстоянии 6,5 мм от задней поверхности элемента (рис. 2). Точки каждого элемента, лежащие на окружности, должны отстоять друг от друга на равный угол.

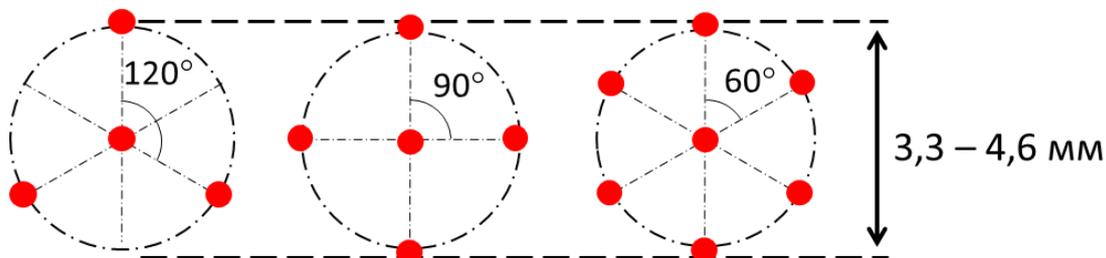


Рис. 2. Требуемые картины дифракции для делителей

Параметры одиночных решеток успешно могут быть рассчитаны с помощью теории связанных волн Когельника [1], однако в том виде, в котором она дана Когельником, эта теория подразумевает взаимодействие монохроматического излучения с одиночными объемными голографическими решетками (брэгговскими решетками). Так как одиночная решетка в среде формируется интерференцией двух волн, при восстановлении голограммы также возникает две волны.

В случае осевого делителя при восстановлении голограммы (которая представляет собой мультиплексные решетки) одновременно должны воспроизводиться все решетки элемента, то есть возникать большее количество лучей. Таким образом, каждая решетка все еще считается сформированной двумя волнами, однако вектор распространения одной из этих волн является общим для всех решеток элемента. Соответственно, конечный вид математического выражения, описывающего такую систему, будет отличаться от данного Когельником (1).

В работе [2] приведено аналитическое выражение для дифракционной эффективности решетки в угле Брэгга для случая воспроизведения двух решеток с общим углом Брэгга (3), так же в данной работе указано, что полученные результаты могут быть распространены на случай воспроизведения N решеток с общим углом Брэгга.

$$\eta_1 = \sin^2(\nu) \quad (1)$$

$$\nu = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot T}{\lambda \cdot \cos(\theta)} \quad (2)$$

$$\eta_N = \frac{1}{N} \sin^2(\sqrt{N}\nu) \quad (3)$$

Если все N решеток делителя имеют одинаковые параметры, то дифракционная эффективность одной решетки составляет $1/N$ от общей эффективности. Дифракционная эффективность решетки зависит от амплитуды модуляции показателя преломления, толщины решетки, длины волны излучения и угла Брэгга. Угол Брэгга и длина волны принимаются неизменными, так как исходя из их значений производился расчет прочих параметров элемента, тогда эффективность зависит от толщины решетки и амплитуды модуляции показателя преломления. Так, если увеличить толщину среды, то можно получить то же значение дифракционной эффективности с меньшими

значениями амплитуды модуляции, что позволяет верхнюю границу количества решеток в элементе.

При сравнении одиночной решетки и решетки из делителя с одинаковой толщиной можно заметить, что для получения одной и той же эффективности для решетки в системе требуется в \sqrt{N} раз меньшая амплитуда модуляции показателя преломления, чем для случая независимого воспроизведения такой же решетки вне системы.

Для случая, когда восстановление голограммы происходит той же длиной волны, которой совершалась запись, угол дифракции излучения равен углу записи голограммы. Соответственно, для ФТР стекла такой длиной волны будет 325 нм. Однако для элемента, рассматриваемого в данной работе, все несколько сложнее, так как рабочая длина волны элемента (1550 нм) значительно превосходит длину волны записи (325 нм), что обуславливает необходимость провести дополнительные вычисления для определения параметров записи и воспроизведения элемента.

Кроме того, ключевой особенностью элемента является одновременное воспроизведение всех его решеток при нормальном падении излучения с рабочей длиной волны на поверхность образца. Для случая, когда плоскости решетки перпендикулярны плоскости вхождения излучения, чтение брэгговских решеток происходит под углом Брэгга, при этом угол падения пучка на элемент и угол дифракции равны. Поэтому для того, чтобы было возможным прочитать решетку при нормальном падении излучения на элемент, решетка должна быть повернута в среде на определенный угол.

Для того, чтобы записать решетку в среде под наклоном, необходимо обеспечить разные углы падения пучков излучения при записи. Если вести запись с помощью интерферометра, то изменять углы падения излучения возможно поворотом обоих зеркал интерферометра. В таком случае изменение угла между пучками приведет к смещению области интерференции, что значительно осложняет процесс калибровки схемы.

Схема подразумевает наличие только одного поворотного зеркала, с помощью которого изменяется угол между пучками, второй пучок остается неподвижным. Как результат, изменение угла смещает область пересечения вдоль неподвижного пучка. Наклон решетки в среде в такой схеме возможно осуществить поворотом образца относительно падающего излучения. Таким образом, очевидно, что вариант с поворотом непосредственно образца предпочтительнее.

В результате, угол записи решеток элемента составил $1,77^\circ$, угол поворота образца при записи составил $8,63^\circ$ (рис. 3).

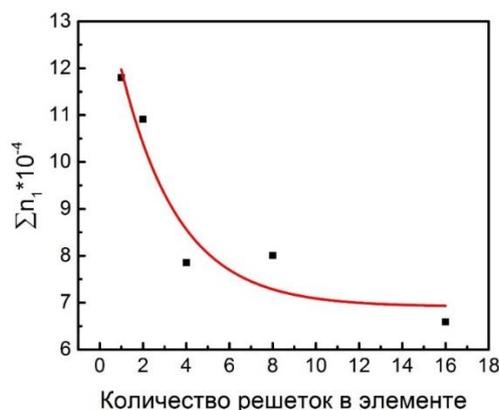


Рис. 3. График зависимости суммарного значения амплитуды модуляции решеток элемента от количества решеток в элементе

Запись более, чем одной решетки в единице объема среды приводит к тому, что решетки начинают влиять друг на друга. Это влияние выражается в следующем: суммарная амплитуда модуляции показателя преломления решеток каждого элемента меньше, чем амплитуда модуляции одной решетки, имеющей ту же экспозицию. В связи с этим была исследована зависимость суммарного значения амплитуды модуляции показателя преломления материала от количества записанных объемных брэгговских решеток в единице объема среды. Для исследования данной зависимости был записан ряд элементов с разным количеством решеток в каждом элементе: 2, 4, 8 и 16 решеток. Далее были измерены контура угловой селективности в прошедшем пучке для всех элементов и определены значения суммарной амплитуды модуляции показателя преломления каждого элемента. График зависимости изображен на рис. 3.

С увеличением количества решеток в элементе суммарное значение амплитуды модуляции решеток элемента экспоненциально уменьшается с $11,8 \times 10^{-4}$ для одиночной решетки до $6,5 \times 10^{-4}$ для шестнадцати – то есть уменьшается почти вдвое.

Оценка параметров записанных элементов проводилась путем анализа контура угловой селективности элемента. Особенностью чтения системы является одновременное воспроизведение всех решеток, поэтому при записи было важным сохранить значения углов сведения пучков и углов поворота решеток в среде равными для всех решеток элемента. В схеме записи, используемой в данной работе, угол между пучками оставался неизменным, соответственно, период от решетки к решетке не изменялся, но при исследовании образца с двумя решетками, имеющими общий угол Брэгга и повернутыми на 180° относительно друг друга, обнаружилось, что они воспроизводятся не одновременно, а, следовательно, требовалось изменить угол наклона решеток в среде. Наклон решеток должен быть таким, чтобы вектора считывающего излучения решеток совпадали. На рис. 4 изображены контура угловой селективности для элемента с двумя решетками с общим углом Брэгга до и после калибровки схемы.

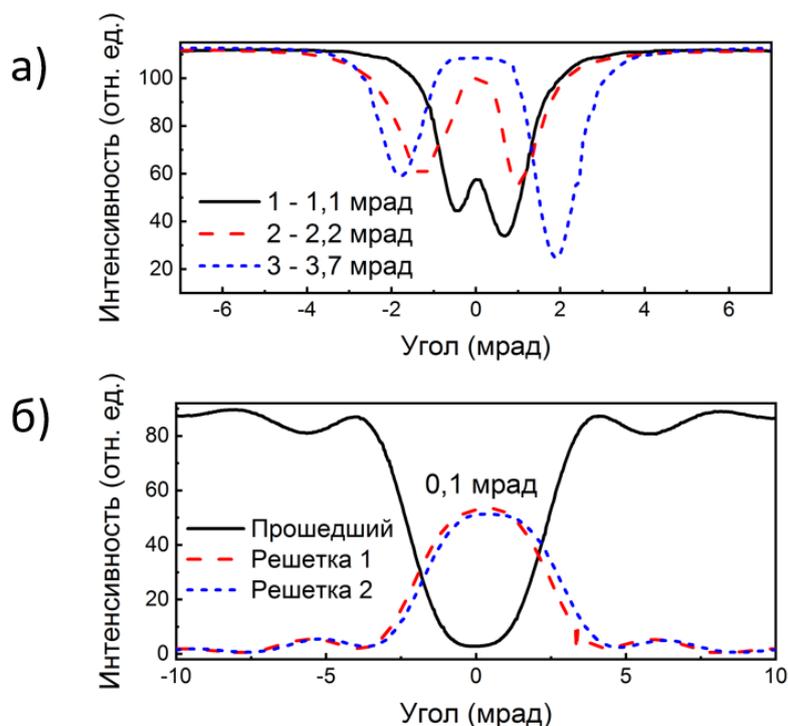


Рис. 4. Контурсы угловой селективности элемента из двух решеток с общим углом Брэгга в случае неодновременного (а) и одновременного (б) воспроизведения решеток элемента

Последовательным изменением угла наклона разница между векторами была уменьшена с 3,7 мрад до 0,1 мрад.

Всего было записаны 3 осевых делителя: на 4, 5 и 7 каналов. Измерение полученных элементов осуществлялось лазером с длиной волны 1549,34 нм. Данная длина волны отличается от требуемой на 0,66 нм, однако в связи с тем, что элементы считываются на пропускание, они менее селективны по длине волны, чем если бы они работали на отражение, соответственно, согласно [1, 2], значения дифракционной эффективности данных элементов для 1550 и 1549,34 нм практически не отличаются (рис. 5).

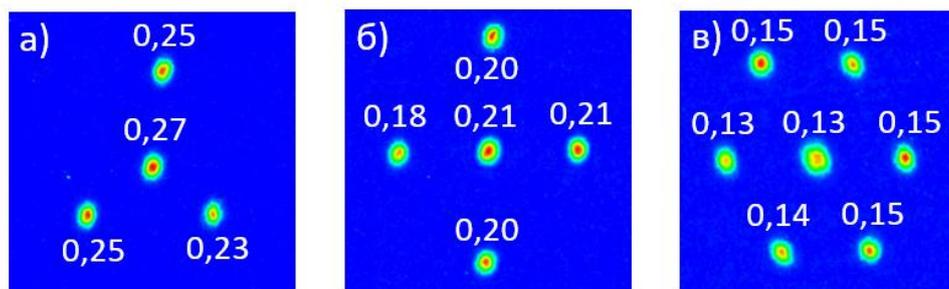


Рис. 5. Графики уровней интенсивности дифракционных картин записанных элементов: а) 4 канала, б) 5 каналов, в) 7 каналов

Угол чтения элемента составил 0° (т. е. чтение элемента происходило при нормальном падении света на образец), угол дифракции составил $17,26^\circ$, что соответствует диаметру окружности дифракционной картины на расстоянии 6,5 мм от задней поверхности элемента равному 4,03 мм. Отклонение от среднего значения энергии в одном пятне дифракционной картины для каждого элемента не превышает 2%.

В данной работе был исследован случай осевого мультиплексирования объемных брэгговских решеток на ФТР стекле. Так как элементы представляли собой совокупность решеток с общим углом Брэгга, математическое описание, предложенное Когельником, оказалось неподходящим для данного случая, поэтому было использовано описание, предложенное Кейсом, согласно которому для получения одной и той же дифракционной эффективности одной решетке в системе из решеток с общим углом Брэгга требуется меньшая амплитуда модуляции показателя преломления чем для аналогичной единичной решетки вне системы.

Кроме того, был проведен анализ влияния количества решеток на динамический диапазон изменения показателя преломления материала – был записан ряд элементов с разным количеством решеток (начиная с одной и заканчивая шестнадцатью решетками) и проведено сравнение суммарной амплитуды модуляции показателя преломления решеток элементов с амплитудой модуляции показателя преломления единичной решетки с той же экспозицией. С увеличением количества решеток в элементе суммарное значение амплитуды модуляции экспоненциально уменьшается с $11,8 \times 10^{-4}$ для одной решетки до $6,5 \times 10^{-4}$ для шестнадцати решеток.

В результате работы были записаны и протестированы три осевых делителя пучка: на 4, 5 и 7 лучей. В итоге при считывании элементов рабочей длиной волны диаметр окружности, полученной на экране, соответствует требуемому. Отклонение от среднего значения интенсивности в лучах не превышает 2%.

В дальнейшем возможна запись делителей на большее число каналов и с иным видом дифракционной картины (например, несколько концентрических окружностей с разными радиусами, прямоугольный массив точек и т. д.)

Элементы были изготовлены по заказу ООО НТО «ИРЭ-Полюс».

Литература

1. Kogelnik H. Coupled Wave Theory for Thick Hologram Gratings // The Bell System Technical Journal. 1969. V. 48. Pp. 2909–2947.
2. Case S.K. Coupled-wave theory for multiply exposed thick holographic gratings // JOSA. 1975. T. 65. №. 6. С. 724-729.

Носкова Алина Олеговна

Год рождения: 1999
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
студент группы №Т3430,
направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,
e-mail: alishanoskova@mail.ru

Забодалова Людмила Александровна

Год рождения: 1948
Университет ИТМО,
факультет биотехнологий,
д.т.н., профессор, (квалификационная категория «ординарный профессор»),
e-mail: zabolalova@gmail.com

УДК 637.146

**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ СЫРА
ТВОРОЖНОГО, ОБОГАЩЕННОГО СУЛЬФОРАФАНОМ,
ЭКСТРАГИРОВАННЫМ ИЗ РЕПЫ**

А.О. Носкова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.А. Збодалова

Аннотация

В работе описан способ производства обогащенного творожного сыра с онкопротекторными свойствами посредством включения микрокапсулированного экстракта сульфорафана, выделенного из репы, в состав продукта. Установлено, что внесение капсул с сульфорафаном в количестве 4,2 г на 100 г творожного сыра позволяет достичь профилактического эффекта при систематическом употреблении рекомендуемой дневной порции (60 г для взрослого человека).

Ключевые слова

Сульфорафан, онкопротекторный эффект, микрокапсулирование, обогащение, творожный сыр.

В настоящее время онкологические заболевания являются одной из важнейших проблем человечества, ежегодно в мире регистрируется 8 миллионов новых случаев злокачественных новообразований. По данным Всемирной организации здравоохранения только на территории России функционирует 117 онкологических диспансеров. Лечение обычно включает в себя использование дорогостоящих и часто травмирующих лекарств, хирургическое вмешательство и облучение. Значимым фактором, позволяющим улучшить сопротивляемость и состояние организма во время болезни и после нее или заранее предотвратить ее развитие, является правильно подобранное питание. Исходя из этого можно говорить об актуальности создания высокоценных пищевых продуктов, содержащих в себе натуральные вещества, обладающие онкопротекторными свойствами.

Одним из соединений с выраженной противораковой активностью является сульфорафан – изотиоционат, который образуется посредством реакции гидролиза из глюкорафанина, содержащегося в овощах семейства крестоцветных. Вещество обладает липофильным строением, небольшой молекулярной массой и высокой биодоступностью (74%), что выгодно выделяет его на фоне многих онкопротекторных компонентов [1].

Сульфорафан эффективен в задерживании и предотвращении роста доброкачественных и злокачественных новообразований, способен оказывать терапевтическое действие на раковые клетки за счет ингибирования ферментов, активирующих про-канцерогены, и иницированию ферментов, способствующих элиминации мутагена. Множество исследований подтвердили, что данное вещество позволяет снижать риск развития различных типов рака: легких, груди, печени, пищевода, желудка, тонкой и толстой кишки, головного мозга [2-4]. Помимо рассмотренного онкопротекторного действия сульфорафан также оказывает другие не менее важные эффекты на организм человека: способствует нормализации холестерина, предотвращает осложнения при диабете 2 типа, улучшает состояние сердечно-сосудистой системы, защищает от действия УФ-излучения, вызывающего канцерогенез, уменьшает выраженность симптомов при аутизме.

При выборе продукта для обогащения основное внимание уделялось его пищевой и биологической ценности, вкусовым качествам и востребованности на рынке. Творожный сыр богат легкоусвояемыми белками, кальцием, фосфором и жирными кислотами; при этом по сравнению со зрелыми сырами имеет повышенное содержание незаменимых аминокислот. В 100 г творожного сыра содержится около 10% суточной потребности в фосфоре и 20% – в кальции, систематическое употребление продукта укрепляет костную ткань, улучшает состояние кожи и волос, способствует восстановлению физических сил после операций и травм и нормализует состав крови. Данный продукт является уникальным составляющим здорового питания детей и взрослых и употребляется различными группами населения как самостоятельное блюдо и в составе кулинарных изделий, в связи с чем неизменно составляет существенную долю производства в молочной промышленности [6].

В данной работе объектами исследования являлись: экстракт сульфорафана, выделенный из репы сорта Петровская 1; микрокапсулы с сульфорафаном с оболочками на основе альгината натрия и лактата кальция; обогащенный творожный сыр.

Для выполнения экспериментальной работы использовался готовый водный экстракт сульфорафана, полученный Беляковой Т.Н. (ООО «ГК Питерпром») из репы сорта Петровская 1 по технологии, описанной в [5], в котором по специально разработанной методике было определено содержание сульфорафана: 35 мг в 1 г сухой биомассы репы и 0,83 мг – в 1 мл водного экстракта. В качестве источника вещества выбрана репа, так как в отличие от других представителей крестоцветных её урожайность менее зависима от климатических условий, состава почв и ухода, что позволяет достаточно легко выращивать ее в условиях России.

С целью увеличения устойчивости активного вещества к воздействиям окружающей среды и уменьшения влияния привкуса репы на органолептические показатели готового продукта проведено микрокапсулирование экстракта сульфорафана. В качестве материала оболочек выбран нетоксичный, разрешенный для употребления в пищу и биосовместимый природный полимер – альгинат натрия.

Микрокапсулирование проводилось на инкапсуляторе Buchi Encapsulator B-390. Размер капсул регулировался частотой вибрации, размером форсунки, скоростью потока, концентрациями растворов альгината натрия и сульфорафана. Оптимальные параметры для формирования капсулы отображались при визуализации в реальном времени в свете лампы стробоскопа: при достижении идеальных параметров была ясно видна неизменная цепь капсул, четко отделяющихся на отрезки в несколько сантиметров, начиная с расстояния от 3 до 5 мм ниже форсунки. Эффективность микрокапсулирования и размер получаемых капсул контролировались микроскопически на микроскопе Leica DM18.

Для выбора оптимальной концентрации раствора альгината натрия была опытным путем определена зависимость минимального размера однопоточных форсунок от процентной концентрации альгината натрия в его растворе. Полученные результаты проиллюстрированы на рис. 1.

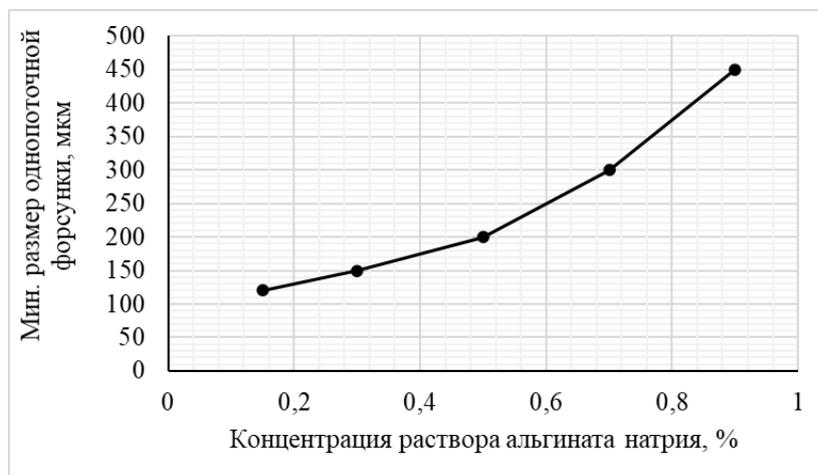


Рис. 1. Зависимость минимального размера однопоточной форсунки от процентной концентрации раствора альгината натрия

Следующим шагом эксперимента было проведение микрокапсулирования экстракта сульфорафана. Опытным путем были подобраны оптимальные параметры: давление воздуха 280–350 мбар; напряжение на электроде 900 В; частота вибраций 1500 Гц; диаметр отверстия внутренней форсунки 200 мкм; диаметр отверстия внешней форсунки 300 мкм; концентрация раствора альгината натрия 0,3%.

Для увеличения содержания активного вещества в каждой капсуле проводилось сгущение экстракта сульфорафана на ротационном испарителе Buchi Rotavapor R-3 при температуре 32-35 °С от 6 до 18 процентов. После сгущения было проведено инкапсулирование и определена зависимость среднего размера получаемых капсул от количества сухих веществ в экстракте, проиллюстрированная на рис. 2. Оптимальной выбрана концентрация сухих веществ, равная 15%, при этом размер капсул ещё позволяет практически не ощущать их в готовом продукте, однако содержание активного вещества в них уже значительно увеличено по сравнению с исходным.



Рис. 2. Зависимость среднего размера капсул от количества сухих веществ в экстракте

Отделение капсул от полимеризационной смеси (раствора лактата кальция) производилось путем фильтрования через лавсан плотностью 145 г/м кв. с последующей промывкой дистиллированной водой. Масса снятых с лавсана капсул измерялась на лабораторных весах для последующего добавления в творожный сыр в соответствии с рассчитанной дозой для достижения профилактического эффекта в порции продукта.

В результате микроскопического анализа на микроскопе Leica DMI8, было определено, что эффективность инкапсулирования составляет 60-65%, средний размер капсул равен 600 мкм. Для сравнения было также проведено микроскопирование незакапсулированного экстракта сульфорафана и пустых капсул на основе альгината натрия. Полученные изображения показаны на рис. 3.

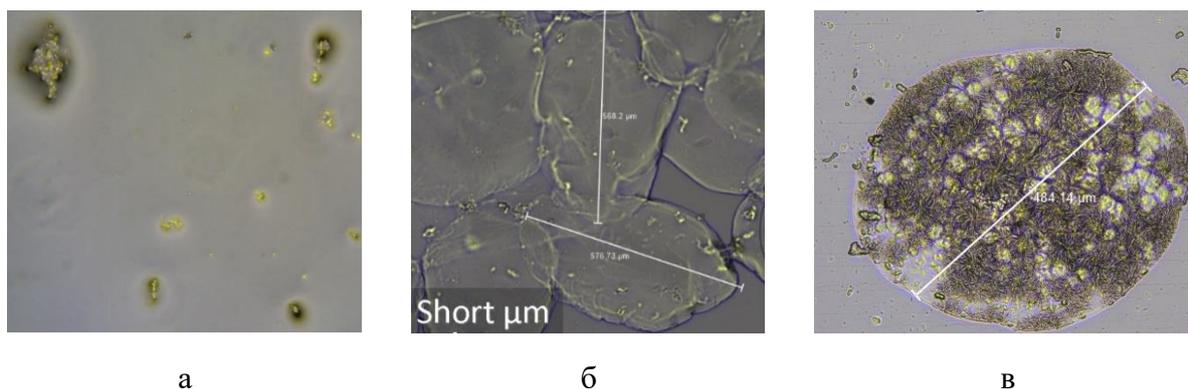


Рис. 3. (а) Микроскопия экстракта сульфорафана; (б) микроскопия пустых капсул на основе альгината натрия; (в) микроскопия капсул с экстрактом сульфорафана

Доза внесения капсул в продукт, необходимая для достижения профилактического эффекта в рекомендуемой дневной порции (60 г для взрослого человека), определялась расчетным методом на основании величин профилактической массы сульфорафана (по литературным данным профилактическое онкопротекторное действие вещества на организм достигается при употреблении от 3 мг в день), содержания сульфорафана в 1 мл экстракта, концентрации сухих веществ в нем (15%), среднего размера капсул и эффективности микрокапсулирования (60-65%). В соответствии с вычислениями определена масса капсул для добавления в творожный сыр: 4,2 г на 100 г продукта.

Масса капсул для добавления в продукт может быть значительно уменьшена без потери количества активного вещества за счет лиофилизации. Помимо этого, лиофильное высушивание позволит обеспечить удобное и длительное хранение капсул на производстве в сухом виде. Возможность лиофилизации капсул исследовалась на примере высушивания водного экстракта сульфорафана на лиофильной сушилке Vuchi Lyovarog L-200. Подбор параметров проводился на основе теоретических данных о принципах лиофилизации и свойствах экстракта, а также экспериментальным путем. Эффективность высушивания определялась гравиметрическим методом. В ходе проведения опытов были опробованы и проанализированы несколько режимов, исходя из чего удалось определить наиболее удачные параметры, которые представлены в табл. 1 (концентрация сухих веществ в исходном образце составляла 15%). В дальнейшем полученные результаты будут адаптированы для капсул с экстрактом сульфорафана.

Таблица 1

Параметры лиофильной сушки экстракта сульфорафана

Наименование показателя	Этапы сушки			
	Замораживание	Предварительная первичная сушка	Первичная сушка	Вторичная сушка
Длительность	12 часов	14 мин	360 мин	60 мин
Температура	- 20 °С	-10 °С	0 °С	5 °С
Давление	~ 1013 мбар	0,7 мбар	0,3 мбар	0,1 мбар

Производство творога осуществлялось кислотно-сычужным способом в соответствии с разработанной рецептурой, обоснование компонентов которой приведено в табл. 2. Внесение капсул с сульфорафаном происходило на этапе добавления к полученному творожному сгустку сливок и других рецептурных компонентов, после чего производилась термизация при 60-65 градусах и упаковывание.

Таблица 2

Компоненты рецептуры творожного сыра

Компонент	Назначение
Молоко коровье	Основной компонент творожного сыра
Закваска, сычужный фермент	Сквашивание молока и образование творожного сгустка
Хлористый кальций	Восстановление свертываемость пастеризованного молока, приближение скорости синерезиса к характерной для сырого молока
Сливки	Нормализация по жиру, придание нежной консистенции
Каррагинан, камедь рожкового дерева	Стабилизация консистенции, обеспечение равномерного распределения капсул по объему, дополнительное связывание влаги для предотвращения отделения сыворотки при хранении
Соль пищевая	Балансирование вкусовых качеств, придание соленого вкуса
Сушеные орегано, базилик, майоран	Добавление продукту новых оттенков вкуса и аромата; уменьшение влияния возможного привкуса репы на органолептические свойства

После выработки творожного были экспериментально определены его свойства. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Органолептическая оценка продукта проводилась профильным методом комиссией в составе 8 человек. После проведения дегустации была проведена статическая обработка данных. Для визуализации результатов органолептического анализа построена профилограмма, изображенная на рис. 4. Анализ результатов

органолептической оценки показал увеличение комплексного показателя качества творожного сыра с капсулами сульфорафана по сравнению с творожным сыром с добавлением жидкого экстракта. Наиболее высокую оценку (комплексный показатель качества 4,86) получил образец с добавлением 4,2 г капсул на 100 г продукта.

Таблица 3

Оценка показателей творожного сыра

Наименование показателя	Результат оценки	Требования по ГОСТ 33480–2015
Массовая доля жира в продукте, %	15	не нормируется
Массовая доля жира в сухом веществе, %	51,6	4-80
Массовая доля влаги, %	71	40-80
Титруемая кислотность, °Т	135	70-200
Активная кислотность, рН	4,8	4,0-6,0

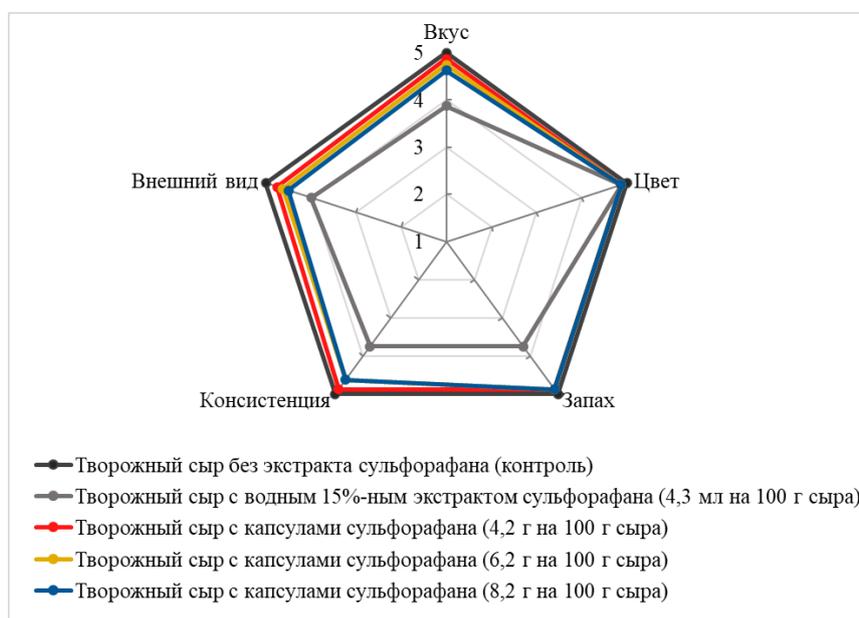


Рис. 4. Профилограмма бальной органолептической оценки образцов творожного сыра

В результате проведенной работы можно утверждать, что включение микрокапсулированного сульфорафана в рецептуру творожного сыра в сочетании с подобранной рецептурой и режимами производства позволяет создать конкурентоспособный продукт с высокой пищевой и биологической ценностью и функциональными свойствами, оказывающего онкопротекторный и другие положительные эффекты при профилактике и лечении многих заболеваний.

В ходе дальнейших исследований планируется увеличение эффективности микрокапсулирования за счет внесения дополнительных компонентов в состав материала оболочек капсул, а также адаптация режима, разработанного при лиофилизации водного экстракта сульфорафана, для высушивания капсул.

Литература

1. Aghajanpour M. Functional foods and their role in cancer prevention and health promotion: a comprehensive review / Aghajanpour M., Nazer M.R., Obeidavi Z., Akbari M., Ezati P., Kor N.M. // American Journal of cancer research. 2017. Vol. 7 (4). P. 740-769.
2. Huang TY Effect of sulforaphane on growth inhibition in human brain malignant glioma GBM 8401 cells by means of mitochondrial- and MEK/ERK-mediated apoptosis pathway / Huang T.Y., Chang W.C., Wang M.Y., Yang Y.R., Hsu Y.C. // Cell Biochem Biophys. 2012. №63. P. 247-259.
3. Navarro SL Mechanisms of action of isothiocyanates in cancer chemoprevention: an update / SL Navarro, F Li, JW. Lampe // Food Funct. 2011. №2. P. 579-587.
4. Wang M. Effects of phytochemicals sulforaphane on uridine diphosphateglucuronosyltransferase expression as well as cell-cycle arrest and apoptosis in human colon cancer Caco-2 cells / M Wang, S Chen, S Wang, D Sun, J Chen, Y Li, W Han, X Yang, HQ Gao // Chin J Physiol. 2012. №55. P. 134-144.
5. Белякова Т.Н. Исследование влияния водного экстракта сульфорафана на показатели качества ферментированного продукта / Белякова Т.Н., Забодалова Л.А. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2019. № 3. С. 52-61.
6. Суховеркова Е.Б. Эффективные решения для производства творожных продуктов в условиях современного рынка / Суховеркова Е.Б. // Журнал «Молочная промышленность». №4. 2019. с. 43-44.

Опарин Егор Николаевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы № V3401,

направление подготовки: 12.03.03. – Оптические и квантовые

технологии в коммуникациях,

e-mail: oparine2@gmail.com

Цыпкин Антон Николаевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

д.ф.-м.н., доцент,

e-mail: tsypkinan@mail.ru

УДК 535-14

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ДВУХ ПИКОСЕКУНДНЫХ
ТЕРАГЕРЦОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ
В ПЛАНАРНОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ**

Е.Н. Опарин

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент А.Н. Цыпкин

Аннотация

В работе проведено исследование интерференции двух пикосекундных терагерцовых импульсов при распространении в планарном волноводе. Экспериментально определена оптимальная ширина планарного металлического волновода для получения фазово-модулированных терагерцовых импульсов пикосекундной длительности. Для случаев волноводной и линейно модуляции выявлена предельная временная задержка между двумя импульсами, при котором сохраняется корреляция между временной и спектральной формой сформированной последовательности.

Ключевые слова

Терагерцовое излучение, волноводы, интерференция, фазовая модуляция, сверхкороткие импульсы, оптические гребенки.

Работы в терагерцовом диапазоне частот начали вестись сравнительно недавно, ввиду отсутствия до 80-х годов прошлого века его эффективных источников и детекторов. Однако уже сейчас данное направление переросло в многообещающую и активно развивающуюся сферу науки [1].

Несмотря на это, многие технические решения здесь еще не отработаны. Например, уже известна методика кодирования информации, на основе которой возможно построение сверхбыстрых беспроводных терагерцовых систем связи, работающих в импульсном режиме [2]. Однако в основе этой технологии положено формирование последовательности фазово-модулированных (чирпированных) терагерцовых импульсов, методика получения которых развита в недостаточной мере.

Актуальность настоящей работы опирается на два фактора. Во-первых, на потребность в разработке способов фазовой модуляции импульсов терагерцового диапазона частот. Одним из потенциальных решений здесь представляется применение волноводов. Известные из оптики и СВЧ техники зависимости указывают на широкий потенциал использования их в качестве высокодисперсных сред с изменяемыми

характеристиками [3]. Вторым существенным фактором является важность подробного рассмотрения последовательностей, получаемых в результате интерференции двух фазово-модулированных терагерцовых импульсов. Это необходимо для последующей оптимизации метода кодирования информации, упомянутого выше.

Целью данной работы является экспериментальный и теоретический анализ особенностей распространения и последующей интерференции пикосекундных терагерцовых импульсов в планарном металлическом волноводе. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи. Во-первых, на основе численного моделирования и его экспериментальной апробации определяются параметры планарного металлического волновода, оптимальные для получения фазово-модулированных терагерцовых импульсов пикосекундной длительности. Во-вторых, выявляется зависимость наличия корреляции между временной и спектральной формой, получаемых последовательностей импульсов, от временной задержки между ними.

Методы и материалы

Задача распространения терагерцового излучения через волновод поддается аналитическому решению и не требует использования трудоемких численных методов решения уравнений Максвелла [4]. В ее основе лежит решение уравнения Гельмгольца. Ключевым результатом является выражение для волнового числа:

$$k_z = \begin{cases} \sqrt{k^2 - k_c^2} = k\sqrt{1 - \left(\frac{k_c}{k}\right)^2} = k\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} & \text{при } f > f_c \\ 0 & \text{при } f = f_c \\ i\sqrt{k^2 - k_c^2} = ik\sqrt{1 - \left(\frac{k_c}{k}\right)^2} = ik\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} & \text{при } f < f_c \end{cases}$$

Отсюда видно, что на частотах, превышающих частоту отсечки, в волноводе распространяются бегущие волны, при $f = f_c$ – стоячие волны, а частоты ниже частоты отсечки соответствуют затухающим не распространяющимся волнам.

При этом частота отсечки определяется в первую очередь геометрическими размерами волновода и имеет вид:

$$f_c = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi m_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{\pi m_y}{L_y}\right)^2}.$$

Экспериментальная же апробация результатов производилась на модифицированном лабораторном ТГц спектрометре с разрешением во времени [5]. Модификация заключалась в помещении интерферометра Майкельсона перед генератором ТГц излучения, что позволило сформировать два последовательных фемтосекундных импульса. Одно из зеркал интерферометра было закреплено на месте, в то время как другое установлено на линейную подвижку, позволяющую изменять временную задержку между импульсами.

Временная задержка была выбрана таким образом, чтобы фемтосекундные импульсы не интерферировали на кристалле InAs. Далее сгенерированные ТГц импульсы через систему сферических линз заводились в планарный металлический волновод, где подвергались фазовой модуляции и растягивались во времени. Полученные chirпированные ТГц импульсы интерферировали на кристалле-детекторе CdTe, формируя последовательность импульсов с соответствующим ей

квазидискретным спектром. В ходе эксперимента параметры данной структуры изменялись путем варьирования временной задержки между импульсами или за счет изменения ширины волновода (рис. 1).

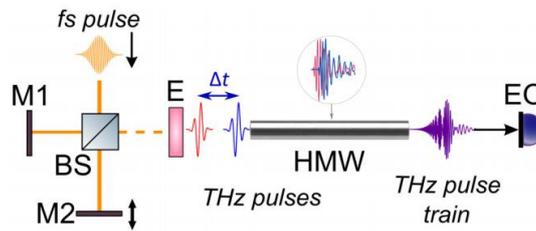


Рис. 1. Узел формирования последовательности терагерцовых импульсов [2]

Результаты

На основе рассмотренного ранее теоретического подхода показано, что управлять дисперсионными характеристиками волновода можно при помощи изменения зазора между образующими его пластинами. Соответствующие различным зазором эффективные показатели преломления представлены на рис. 2а.

Наибольшей дисперсии подвержено излучение на частотах, близки к частоте отсечки, которая тем выше, чем меньше размер волновода. Таким образом, для осуществления максимальной величины фазовой модуляции необходимо минимизировать размеры волновода. Полученные в результате численного распространения через волновод импульсы, а также зависимости их мгновенной частоты от времени представлены на рис. 2б.

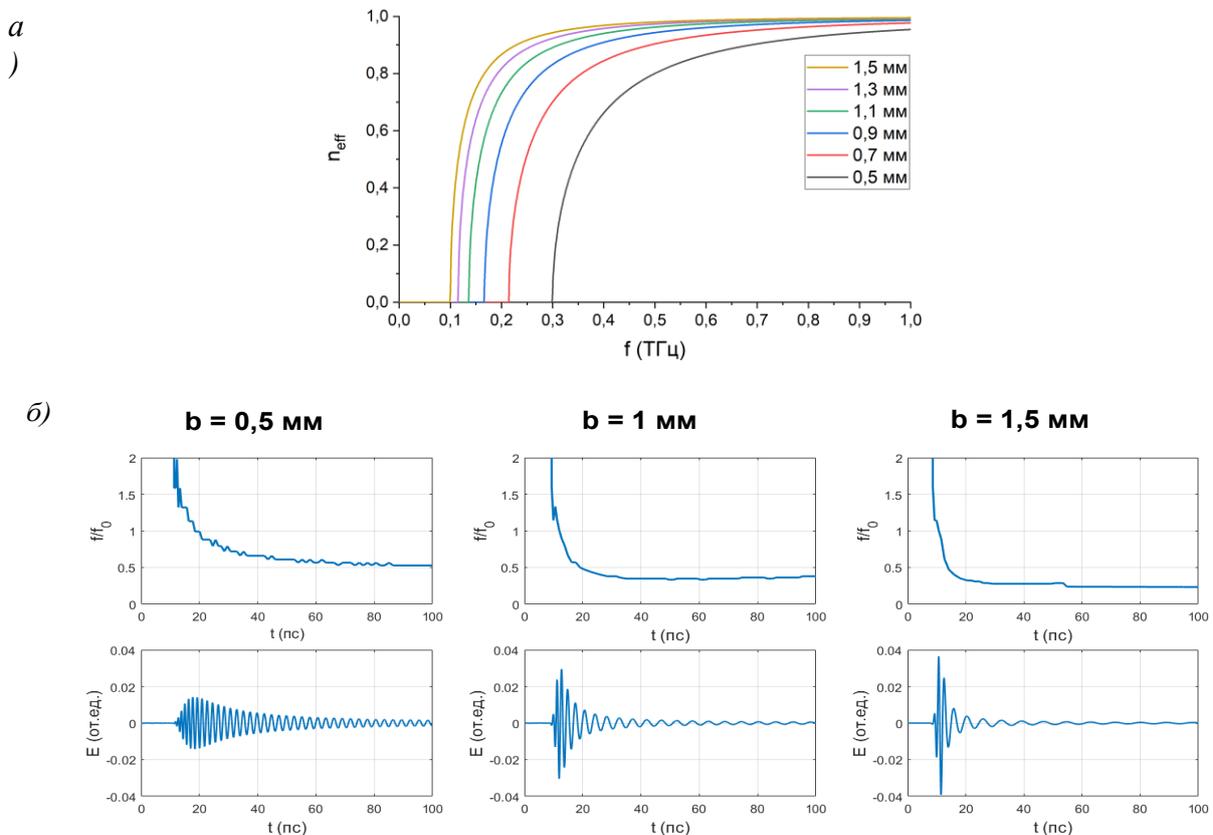


Рис. 2. (а) Эффективные показатели преломления волноводов различной ширины и (б) временные формы импульсов на выходе из волноводов шириной от 0,5 до 1,5 мм и соответствующие им распределения мгновенной частоты во времени

Приведенные выше рассуждения, однако, не учитывают особенностей проведения эксперимента. А именно не рассматривается аспект заведения свободно распространяющегося излучения в волновод. Размеры последнего оказываются меньше перетяжки ТГц пучка, что значительно снижает эффективность его заведения. Потери при этом составляют вплоть до порядка по амплитуде сигнала. Особенно сильно это сказывается на низкочастотной области спектра, где радиус перетяжки наибольший. Данный факт, в сочетании с нахождением максимума частотной модуляции в области низких частот, приводит к ограничению длительности и величины модуляции импульса, которой можно добиться при помощи волновода.

На рис. 3 приведены экспериментальные данные, полученные в результате распространения ТГц импульсов через планарный волновод. Можно отметить, что уменьшение его ширины ниже 0,7 мм не приводит к дополнительному растяжению импульсов. Данное значение воздушного зазора примем оптимальным, так как для него достигается компромисс между длительностью импульса, величиной его модуляции и потерями излучения.

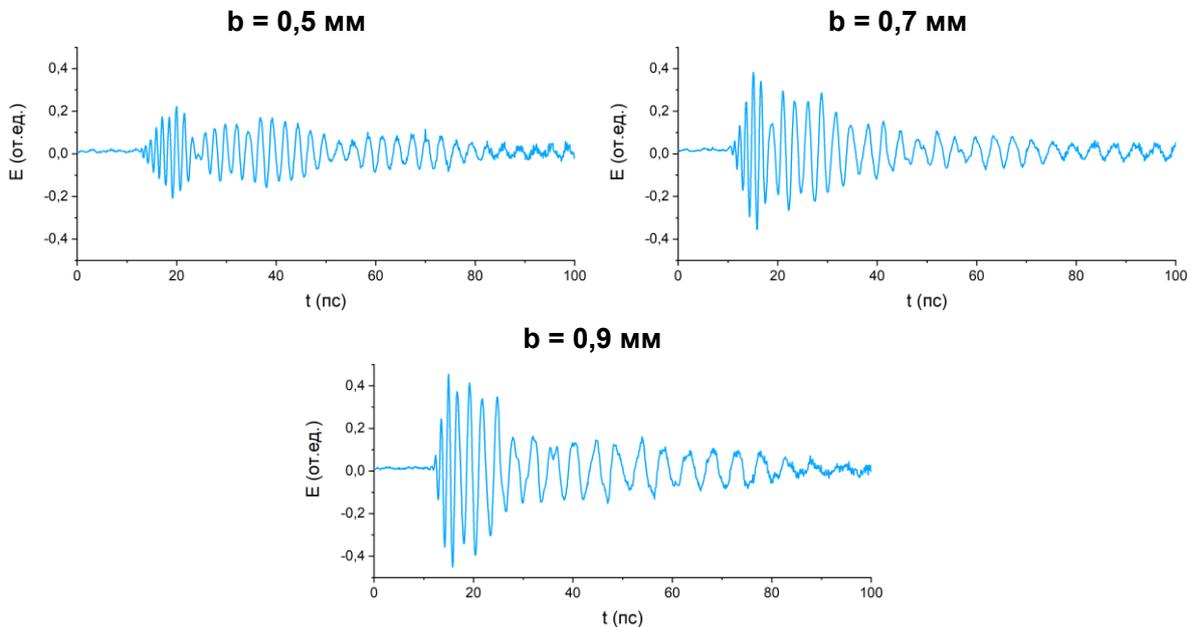


Рис. 3. Экспериментально полученные терагерцовые импульсы на выходе из волноводов шириной от 0,5 до 0,9 мм

Свойства же последовательности импульсов, сформированной в результате интерференции двух импульсов, определяются во многом временной задержкой между этими импульсами. Большая задержка позволяет создать большее число пиков в квазидискретном спектре. Вместе с тем чрезмерное разнесение импульсов во времени приводит к исчезновению интерференции между ними, что разрушает корреляцию между временной и спектральной формами частотной гребенки.

Оценить предельную временную задержку, при которой будет сохраняться корреляция между временной и спектральной формой сигнала, можно путем прямого подсчета пиков в соответствующих областях при разных задержках между импульсами. Полученные значения приведены на рис. 4.

Следует отметить, что точное совпадение числа пиков практически не наблюдается, однако, как показывает численное моделирование, условиям корреляции удается удовлетворить и при отличии количества субструктур не более единицы.

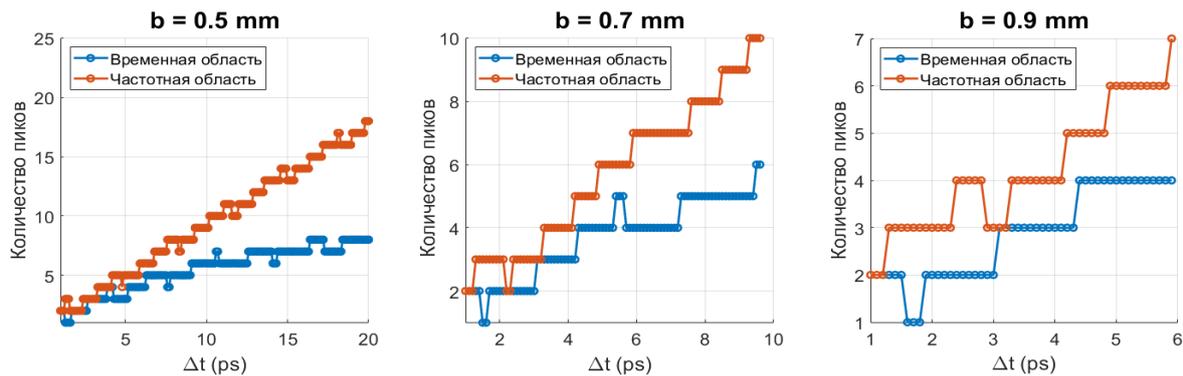


Рис. 4. Количество пиков в ТГц частотной гребенке и соответствующей ей последовательности импульсов при различных временных задержках для случая волноводной модуляции импульсов

Для рассматриваемых фазово-модулированных ТГц импульсов, распространяющихся в планарном волноводе с зазором 0,7 мм, предельной является задержка в 5,5 пс, что обеспечивает формирование частотной гребенки из 6 пиков. Ей соответствует последовательность из 5 субимпульсов во времени.

Дополнительно рассмотрим предельное значение δt для гребенок, сформированных на основе импульсов, полученных при распространении излучения через волновод размером большим и меньшим оптимального. Например, при $b = 0,5$ мм предельная задержка составляет 6,7 пс (6 пиков в спектре, 5 субимпульсов во временной форме), а при $b = 0,9$ мм – 4,4 пс (5 пиков в спектре, 4 субимпульсов во временной форме).

Для наглядности сравним полученные результаты с характеристиками традиционных в оптическом диапазоне частотных гребенок, сформированных при интерференции двух сверхкоротких импульсов с линейной частотной модуляцией (иначе говоря – с линейным чирпом).

Такие импульсы задаются следующим уравнением:

$$E(t) = E_0 \cdot \exp\left(-2 \frac{t^2}{\tau_0^2}\right) \sin\left(\omega_0 \left(1 + \frac{\alpha_0}{\tau_0} t\right) t\right),$$

где E_0 – амплитуда импульса, ω_0 – его центральная частота, τ_0 – длительность и α_0 – коэффициент линейной частотной модуляции, принятый в данной работе равным 0,4. Эта и прочие характеристики подбирались таким образом, чтобы длительность и ширина спектра заданного импульса были равны соответствующим характеристикам импульса, полученного при модуляции в планарном волноводе. Волноводу размером 0,5 мм соответствует импульс длительностью 20,5 пс, 0,7 мм соответствует 9,7 пс, 0,9 мм – 5,9 пс.

На рис. 5 представлены результаты подсчета количества пиков в квазидискретном спектре и в соответствующей ему временной форме сформированной частотной гребенки для разных задержек между импульсами. По приведенным зависимостям можно заметить, что в случае линейно модуляции предельное время задержки превышает таковое для волновода размером $b = 0,5$ мм ($\delta t_{\text{предельное}} = 8$ пс), меньше при $b = 0,7$ мм ($\delta t_{\text{предельное}} = 5,2$ пс) и вновь превышает при $b = 0,9$ мм ($\delta t_{\text{предельное}} = 5,1$ пс). Количество субструктур в спектральной и во временной области при этом тоже меняется: для $b = 0,5$ мм 8 и 7 пиков соответственно, 5 и 4 пика для b равного 0,7 мм, и 0,9 мм.

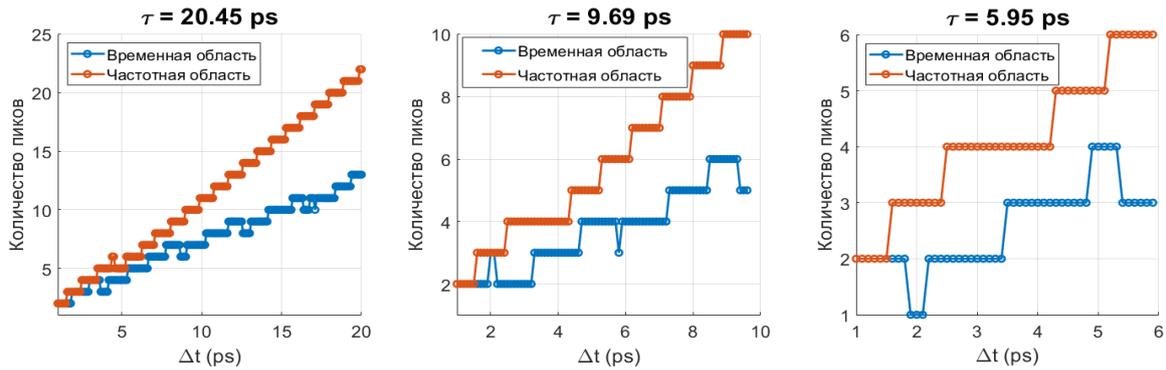


Рис. 5. Количество пиков в ТГц частотной гребенке и соответствующей ей последовательности импульсов при различных временных задержках для случая линейной модуляции импульсов

Заключение

В работе проведено исследование интерференции двух пикосекундных терагерцовых импульсов при распространении в планарном волноводе. Экспериментально определена оптимальная ширина планарного металлического волновода для получения фазово-модулированных терагерцовых импульсов пикосекундной длительности – она составила 0,7 мм для параметров использованной экспериментальной установки. При данном размере волновода выполняется компромисс между величиной модуляции и амплитудой модулированных импульсов.

Для случаев волноводной и линейно модуляции выявлена предельная временная задержка между двумя импульсами, при котором сохраняется корреляция между временной и спектральной формой сформированной последовательности. Для импульсов, полученных в результате модуляции в волноводе размером 0,7 мм, она составила 5,5 пс. Для соответствующих линейно-модулированных импульсов – 5,2 пс.

Данные результаты необходимы для разработки физической основы систем беспроводных коммуникаций на основе терагерцового излучения, а именно для определения оптимальных параметров планарного волновода, при помощи которого планируется осуществлять фазовую модуляцию терагерцовых импульсов пикосекундной длительности. Кроме того, результаты работы необходимы для выявления зависимостей параметров формирующихся при интерференции фазово-модулированных импульсов последовательностей с квазидискретным спектром.

Литература

1. Zhang X.C., Xu J. Introduction to THz wave photonics. New York: Springer. 2010. Т. 29. С. 246.
2. Liu X. et al. Formation of gigahertz pulse train by chirped terahertz pulses interference //Scientific Reports. 2020. Т. 10. №. 1. С. 1-7.
3. Mendis R. et al. A tunable universal terahertz filter using artificial dielectrics based on parallel-plate waveguides //Applied physics letters. 2010. Т. 97. №. 13. С. 131106.
4. Balanis C.A. Advanced engineering electromagnetics. John Wiley & Sons, 2012.
5. Bepalov V. et al. Methods of generating superbroadband terahertz pulses with femtosecond lasers. J. Opt. Technol. 75, 636–642. 2008.

Паншин Игорь Васильевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В3405,

направление подготовки: 12.03.02 – Опотехника,

e-mail: igorpanshin@hotmail.com

Михеев Сергей Васильевич

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

к.т.н.,

e-mail: msv@itmo.ru

УДК 681.786

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ
ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ НА МАТРИЧНОМ ПРИЁМНИКЕ**

И.В. Паншин

Научный руководитель – к.т.н. С.В. Михеев

Аннотация

Разрабатываемая система предназначена для оперативного контроля положения датчиков Автоматизированной Системы Коммерческого Осмотра Поездов и Вагонов (АСКО ПВ) при их монтаже на габаритные железнодорожные ворота. Внимание уделено решению возникающих математических задач, разработке алгоритмов, обзору современных систем и решений. В частности, выявлены проблемы метода «обратной угловой засечки» по трём точкам, часто применяемого для построения таких систем.

Ключевые слова

Промышленная геодезия, промышленная фотограмметрия, система измерения координат объектов, компьютерное зрение, обратная угловая засечка в пространстве, Perspective-N-Point.

Системы на основе камеры с матричным приёмником позволяют быстро и точно измерять координаты объектов. С их помощью можно не только решать нетривиальные задачи, не поддающиеся другим системам, но и значительно ускорить измерения в привычных задачах.

Примером такой задачи является оперативный контроль положения датчиков АСКО ПВ при монтаже. Автоматизированная Система Коммерческого Осмотра Поездов и Вагонов (АСКО ПВ) – один из эффективных способов снижения аварийности железнодорожных грузоперевозок [1], доля которых в общем грузообороте растёт уже свыше 20 лет и составляет более 46%. Датчики АСКО ПВ монтируются на габаритные железнодорожные ворота, размер которых составляет порядка 8x12 метров. Для корректной работы системы, датчики должны быть установлены в строго определённые конструктором места (с точностью порядка ± 1 см). Система на основе камеры с матричным приёмником позволит быстро и точно контролировать положение датчиков, что ускорит процесс их монтажа.

На этапе обзора было установлено бурное развитие систем т.н. «промышленной фотограмметрии», на рынке представлены такие системы как V-STARS, AICON DPA, Pix4D и др. [2] Но такие системы обладают высокой стоимостью, обусловленной

широким функционалом и крайне высокой точностью, не требуемыми в рамках решаемой задачи. Также, такие системы, как правило, не рассчитаны на оперативный контроль (работу в реальном времени) и работу вне помещения. Поэтому, целесообразным является исследование и разработка оригинальной системы.

Такие системы измерения координат базируются на том, что используют камеру с матричным приёмником для выполнения угловых засечек. В первую очередь, была составлена модель построения изображения точки на матричном приёмнике, изображённая на рис. 1.

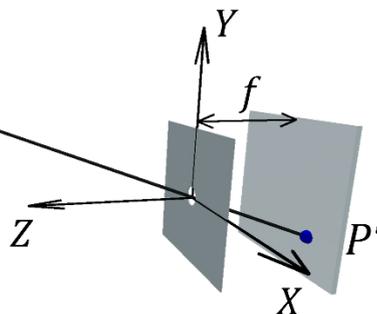


Рис. 1. Построение изображения точки на матричном приёмнике

Камера (упрощённо представленная камерой-обскурой) строит изображение P' точки P на матричном приёмнике. Камера находится в начале системы координат XYZ и сопряжена с ней, а её фокусное расстояние равно f . Тогда изображение точки P будет задавать направляющий вектор прямой, проходящий через неё в пространстве.

Чтобы определить координаты объекта в пространстве применяют прямую либо обратную угловую засечку. Было решено использовать обратную засечку, т.к. она позволяет провести измерения имея всего 1 видеоканал. Для объяснения принципа её работы представлен рис. 2.

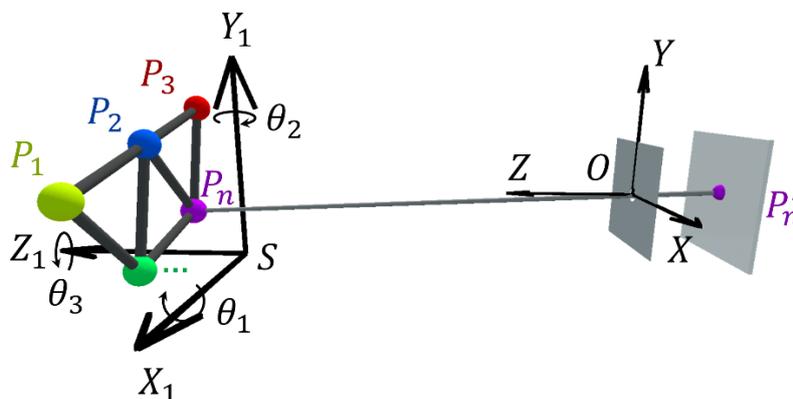


Рис. 2. Построения изображения системы из n точек, находящихся в системе координат $X_1Y_1Z_1$

На данном рис. 2 имеется n точек ($P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$) в системе координат $X_1Y_1Z_1$. Эта система имеет линейные смещения S и угловые смещения (на углы Эйлера $\theta_1, \theta_2, \theta_3$) относительно системы XYZ . Объектив, находящийся в начале системы координат XYZ , строит изображения точек $P'_1, P'_2, P'_3, \dots, P'_n$ на матрице. Тогда, если функция преобразования объектива известна, и известны координаты точек $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ в системе $X_1Y_1Z_1$, то можно определить линейные и угловые смещения системы $X_1Y_1Z_1$ – это и называется «обратной угловой засечкой».

Ранее решение данной задачи выполнялось численно, и считалось, что уже при числе точек $n = 3$ она имеет однозначное решение [3]. Хотя использование численных

методов позволило быстро решить сложную математическую задачу, оно не позволило оценить число решений. В данной работе в ходе расчётов и обзора удалось установить, что данная задача может иметь до 4х решений, а чаще всего имеет 2 решения. Это означает, что в общем случае установить взаимное расположение системы XYZ и $X_1Y_1Z_1$ по трём точкам невозможно.

Примечательно, что одна и та же задача получила разные названия в разных областях: «обратная угловая засечка» в терминах оптико-электронных приборов, и «Perspective-N-Point» в области компьютерного зрения [4].

Поэтому был разработан свой алгоритм. Вместо 3х точек он использует 3 прямые, как показано на рис. 3.

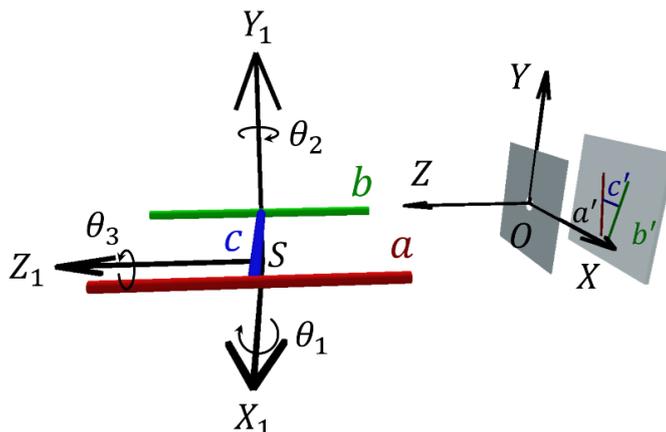


Рис. 3. Система из трёх прямых, позволяющая определить нормаль плоскости по их изображениям

Здесь система координат $X_1Y_1Z_1$ содержит плоскость, в которой лежат три прямые: a , b , c , такие, что $a \perp b$ и $b \perp c$. Разработанный алгоритм позволяет найти нормаль плоскости, содержащей эти прямые, по их изображениям a' , b' и c' . Чтобы определить положение плоскости (а не только её нормаль) необходимо знать хотя бы одно расстояние между какими либо двумя объектами в ней. Например, это может быть расстояние между прямыми a и b , либо расстояние между специально установленными в ней двумя точками.

То, как разработанный алгоритм используется в разрабатываемой системе, представлено на рис. 4.

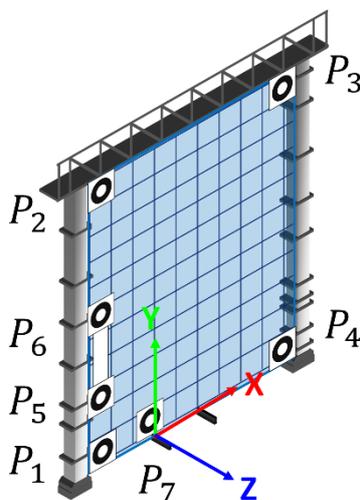


Рис. 4. Задание системы координат для проведения измерений в плоскости ворот

В плоскости габаритных железнодорожных ворот устанавливаются 7 контрольных меток: P_1, P_2, \dots, P_7 . Метки $P_1 - P_4$ устанавливаются на углы ворот. Таким образом, по изображениям прямых P_1P_2, P_2P_3 и P_3P_4 можно найти нормаль плоскости ворот (поскольку $P_1P_2 \perp P_2P_3$ и $P_2P_3 \perp P_3P_4$). Далее, для нахождения расстояния до плоскости, используются две метки: P_5 и P_6 . Они нанесены на «масштабную линейку» и расстояние между ними заранее известно. Последняя метка P_7 устанавливается на рельс и задаёт точку начала системы координат. Это связано с тем, что координаты датчиков в проекте монтажа задаются относительно рельса.

Разработанный алгоритм обладает следующими достоинствами:

- для любых входных данных существует ровно одно решение (погрешности во входных данных не приводят к неразрешимости или неоднозначности);
- решение рассчитывается по формуле за одну итерацию;
- в формуле не используются функции, способные приводить к большим численным ошибкам (например, \tan или atan);
- отсутствие в формуле трансцендентных функций также ускоряет расчёт;
- может быть легко модифицирован для решения схожих задач, может использовать от 4 до 9 контрольных меток.

Второй ключевой задачей является нахождение изображений контрольных меток на матричном приёмнике. Важно заметить, что было решено использовать не активные метки (светодиоды), а пассивные (диффузный отражатель с кольцевым рисунком). Это позволило значительно упростить конструкцию меток и наносить их прямо на корпус контролируемых объектов, но потребовало более сложного алгоритма их нахождения на матрице.

На этапе обзора было найдено большое число меток и алгоритмов их нахождения из области компьютерного зрения. Однако, в имеющихся исследованиях они тестировались на расстояниях до 5–7 метров – в то время, как в разрабатываемой системе съёмка выполняется с 13 метров. Наиболее вероятно, расстояние может быть скомпенсировано более высоким разрешением сенсора камеры – однако, этот вопрос требует отдельного изучения, как и в целом возможность применения таких меток для фотограмметрических задач. Для других же меток, используемых в коммерческих системах промышленной фотограмметрии, не публикуются алгоритмы. Внешний вид вышеописанных меток представлен на рис. 5 (а) и (б).

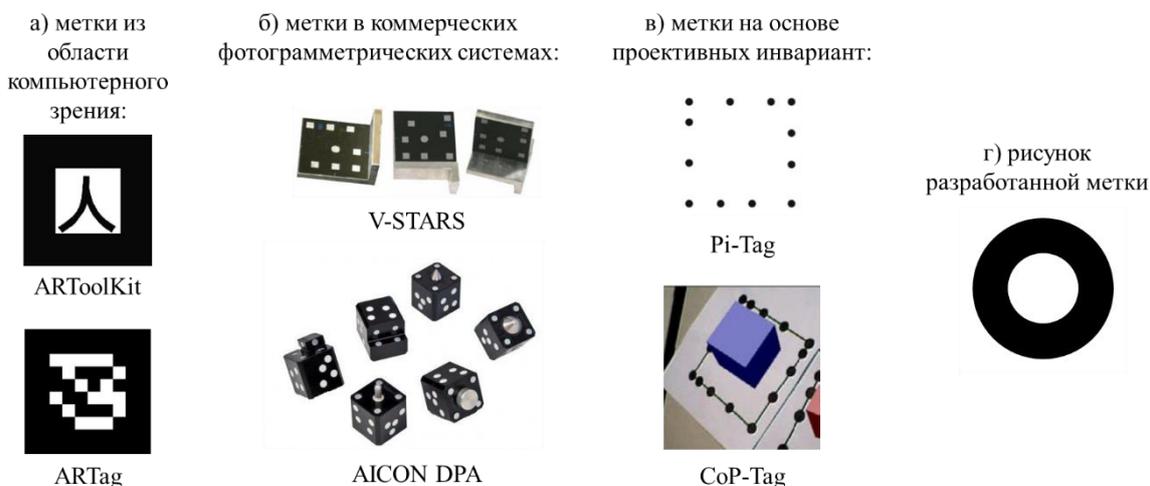


Рис. 5. Внешний вид рисунка различных контрольных меток

Поэтому, было решено разработать свой рисунок метки и алгоритм его поиска. На этапе обзора был найден ряд меток (например, Pi-Tag и CoP-Tag – рис. 5в) обнаружение которых базируется на проективных инвариантах [5]. Для их обнаружения в начале ищутся «элементарные» объекты (эллипсы), а затем среди них находят те, положение которых удовлетворяет искомой инварианте. Однако, алгоритм нахождения эллипсов является достаточно ресурсоёмким. Поэтому, было решено разработать такой рисунок, который не использует «элементарные» объекты. Было решено сделать кольцевой рисунок, представленных на рис. 5г. Его нахождение базируется на наличии в нём радиальной симметрии и работает за счёт поиска нужных значений проективных инвариант.

Разработанный алгоритм обладает следующими достоинствами:

- алгоритм базируется на построчном сканировании, что делает его асимптотику близкой к $O(N)$, где N – число пикселей. Это потенциально может дать значительный выигрыш в скорости обработки больших изображений. Это критично, поскольку такой алгоритм должен работать в реальном времени;

- крайне высокий потенциал для применения параллельных вычислений: сканирование каждой строки выполняется независимо, что позволяет легко разбить работу на тысячи потоков;

- относительная простота реализации (в сравнении с другими алгоритмами).

Пример работы алгоритма поиска меток совместно с алгоритмом определения системы координат представлен на рис. 6.

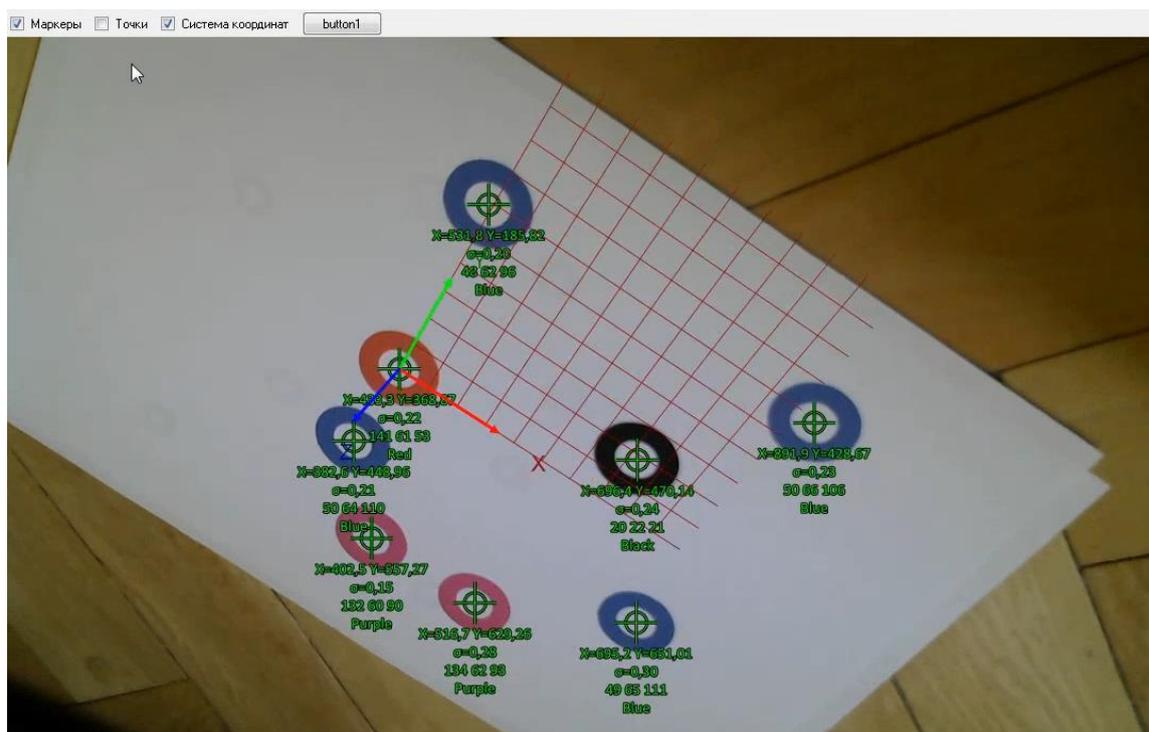


Рис. 6. Пример работы разработанных алгоритмов

На этапе проверочного точностного расчёта использовались методы численного моделирования. Во-первых, оценена точность нахождения центра изображения метки в зависимости от отношения сигнал/шум. Для этого на изображение метки накладывался аддитивный гауссовый белый шум, как показано на рис. 7.

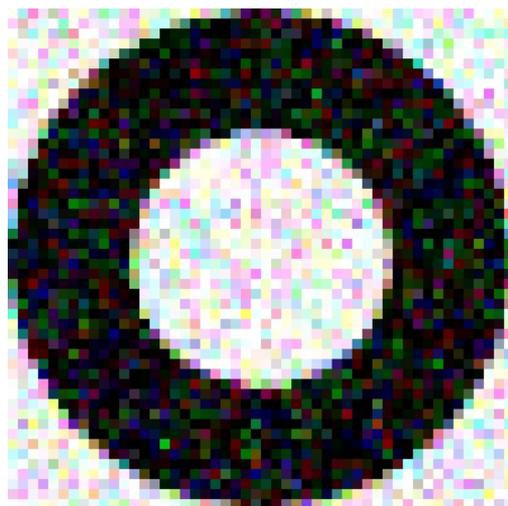


Рис. 7. Изображение метки с добавлением аддитивного гауссового белого шума

Далее была оценена точность работы всей системы при помощи моделирования методом Монте-Карло. Если принять на первичные погрешности допуски, указанные в таблице, то итоговая погрешность измерений составит $\pm 0,9$ см.

Таблица

Первичные погрешности и их влияние на погрешность измерений

Источник погрешности	Первичная погрешность	Вносимая погрешность измерений σ_i , мм
Погрешность нахождения центра меток на матрице	0,1 пикселя	2,1
Погрешность установки опорных КМ по ОХ	4 мм	4
Погрешность установки опорных КМ по ОУ	4 мм	4
Погрешность установки опорных КМ по ОZ	10 мм	6
Погрешность длины масштабной линейки	0,5 мм	3
Погрешность измерения углового поля камеры	5 угл. мин.	1

Выделяя направления для дальнейшей работы следует обратить внимание на алгоритм нахождения изображений меток. Целесообразно выполнить его серьёзную доработку: повысить точность, уменьшить минимальный необходимый размер изображения метки, уменьшить чувствительность к теням и дефектам рисунка метки. Либо, вместо этого, имеет смысл исследовать возможность применения меток из области компьютерного зрения.

В ходе данной работы удалось найти ряд проблем, связанных с методом «обратной угловой засечки», являющейся основой для построения подобных систем. Это удалось сделать как за счёт численных расчётов, так и за счёт обзора современных исследований в англоязычных источниках из области компьютерного зрения. Были проанализированы существующие и разработаны свои алгоритмы решения задачи «обратной угловой засечки» и задачи нахождения изображения метки на матрице. Последний алгоритм позволил отказаться от активных меток в пользу пассивных. В качестве аппаратной базы выбран бюджетный смартфон Blackview A60 с 10-мегапиксельным матричным приёмником OV8858. Данные, полученные на этапе расчётов, свидетельствуют о соответствии разработанной системы требованиям технического задания.

Литература

1. Карпухина М.А. Современные системы коммерческого осмотра вагонов / Карпухина М.А., Селиверов Д.И. // Технические науки в России и за рубежом: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). Москва: Буки-Веди. 2012. С. 125-127. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/55/2959/> (дата обращения: 17.05.2021).
2. Bösemann W. Industrial photogrammetry - accepted metrology tool or exotic niche // XXIII ISPRS Congress. Prague. 2016. Vol. XLI-B5. pp. 15-24.
3. Коняхин И.А., Михеев С.В. Моделирование оптико-электронных систем измерения пространственных координат на основе метода "обратной угловой засечки" // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. №18.
4. Паншин И.В., Михеев С.В. Принципы определения пространственных координат объекта по изображению с матричного приёмника // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. [2021, электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/6814>, своб. (дата обращения: 17.05.2021).
5. Li Y. et al. A novel marker system in augmented reality // Proceedings of 2012 2nd International Conference on Computer Science and Network Technology. IEEE. 2012. С. 1413-1417.

Посохов Даниил Александрович

Год рождения: 2000,
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3477,
направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение,
e-mail: p-blank12@yandex.ru.

Киприянов Кирилл Васильевич

Год рождения: 1987,
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
ассистент,
e-mail: kvkipriianov@itmo.ru

УДК 004.35

**РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА СЧИТЫВАНИЯ И ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА**

Д.А. Посохов

Научный руководитель – ассистент К.В. Киприянов

Аннотация

В работе рассмотрены варианты передвижения в виртуальной реальности. На их основе описывается проектирование датчика для контроллера типа WIP с улучшениями. Проведен эксперимент для определения наилучшего расположения датчика считывания движения ноги.

Ключевые слова

VR, методы передвижения в виртуальной реальности, прототипирование изделий, считывание движения, simulation sickness.

На данный момент VR (Virtual Reality) технологии популярны и используются в разных сферах жизни, таких как промышленность, медицина, армия, авиация и сфера развлечений.

В промышленности данные технологии применяются на этапе проектирования новых изделий и согласования технического проекта. На этапе конструирования компания, выбирая 3D модель и VR технологию вместо традиционного прототипирования объектов в масштабе 1 к 1, может сэкономить время и ресурсы на разработку прототипов. Часто в промышленности применяют VR для обучения новых сотрудников работе на сложных и опасных объектах [1].

В медицине ситуация похожая, а именно виртуальную реальность используют для обучения хирургов, стоматологов и врачей других профессий. Всё больше возрастает необходимость использования VR технологий в восстановительной медицине для помощи больным [2].

На протяжении развития этой технологии основной упор инженеров и разработчиков был направлен на улучшения качества передаваемого изображения. При этом вопрос об развитии способа передвижения и управления VR пространством оставался в стороне.

В результате анализа области контроллеров для VR была составлена таблица. В ней сравниваются различные технологии по 5 признакам: уровень компактности, цена, уровень погружения, снижение симптомов SS (Simulation Sickness) и реализация движения в сторону и назад.

Сравнение разных технологий для передвижения в VR

Название критерия	Беговые платформы	Стандартный контроллер	WIP устройства	Телепортация	Leap Motion
Уровень компактности	Низкий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Цена	Высокая	Низкая	Средняя	Низкая	Низкая
Уровень погружения	Высокий	Низкий	Средний	Низкий	Низкий
Снижение симптомов simulation sickness	Сильное	Слабое	Среднее	Слабое	Слабое
Реализация движения в сторону и назад	Полная	Без движения ног	Без движения ног	Без движения ног	Без движения ног

Из таблицы видно, что беговые платформы и WIP (Walk In Place) устройства лучше справляются с проблемой SS и имеют лучший уровень погружения в VR, чем остальные. Для разработки нового контроллера был выбран WIP тип устройства с реализацией движения в сторону и назад. Таким образом, будет создано устройство, которое дешевле беговой платформы, но удобнее чем стандартное WIP устройство.

В данной работе рассматривается процесс создания датчика считывания движения для нового контроллера. Согласно техническому заданию, датчик должен обеспечить считывание информации о движении ног (гироскоп) и передать эту информацию по радио–сигналу (NRF передатчик). Датчик решено было сделать автономным, поэтому необходимо выбрать аккумулятор, микроконтроллер и обвязку для микроконтроллера и управления датчиком.

Для считывания угла отклонения ног был выбран ENC-03RC. Это аналоговый датчик, который показывает изменение положения по одной оси. Для создания беспроводной сети был выбран датчик NRF24L01. Его отличительной особенностью является встроенная возможность создавать сети типа звезда. Основные требования к микроконтроллеру — наличие аппаратного встроенного интерфейса SPI (Serial Peripheral Interface), более 10 свободных выходов. Для этого отлично подходит серия дешевых МК (Микроконтроллер) Atmega. Для уменьшения потребляемого тока был выбран Atmega-8L. Был выбран аккумулятор Robitron LP602030 с ёмкостью 300 mAh и напряжением 3,7 В.

На рис. 1 представлена принципиальная схема. К выводу 29 PC6 (RESET) МК Atmega 8L подключается схема сброса, основанная на стандартной RC–цепи и кнопке. Данная схема нужна для удобства программирования микроконтроллера. К выводу 20 AREF подводится к земле через конденсатор на 100 нФ для улучшения работы встроенного в микроконтроллер АЦП (Аналого-цифровой преобразователь). Для включения МК были подключены 3, 5, 21 и 4, 6, 18 выводы к земле и напряжению 3 В. Для стабильности работы и уменьшения помех добавлены LC-фильтр на напряжение и резистор на 100 Ом к AVCC (напряжение для АЦП).

NRF24L01 подключается по интерфейсу SPI. Так MISO, MOSI, SCK, CE, CSN подключаются к пинам МК 16, 15, 17, 13, 14. Для запуска модуля NRF к выводам 1 и 2 подводятся земля и напряжение. NRF работает на напряжении в пределах от 1,9 до 3,6 В, и сопротивление модуля ≈ 320 Ом. Для работы модуля между 2 выводом NRF и напряжением необходимо поставить понижающий резистор номиналом 51 Ом.

ENC-03RC не требуется сложного подключения. OUT пин модуля к 23 ножке МК, к которой подключен аппаратный АЦП. GND и VCC подключаются соответственно к общей земле и напряжению.

Микросхема LM339 имеет 14 выходов, два из которых (3 и 12) подключаются к GND и VCC. Микросхема включает в себя 4 компаратора напряжений. Эта микросхема используется для индикации заряда батареи. Принцип работы схемы такой. Светодиод VD5 выполняет функцию стабилитрона и создает постоянное напряжение на линии R1-R13. С помощью резисторов R7, R9, R10, R12, R13 создается напряжение, необходимое для проверки заряда аккумулятора. В последствии сравнения напряжений в компараторах загораются светодиоды. Если батарея полностью заряжена, то горят все светодиоды, если же полностью разряжена, то не горит ни один.

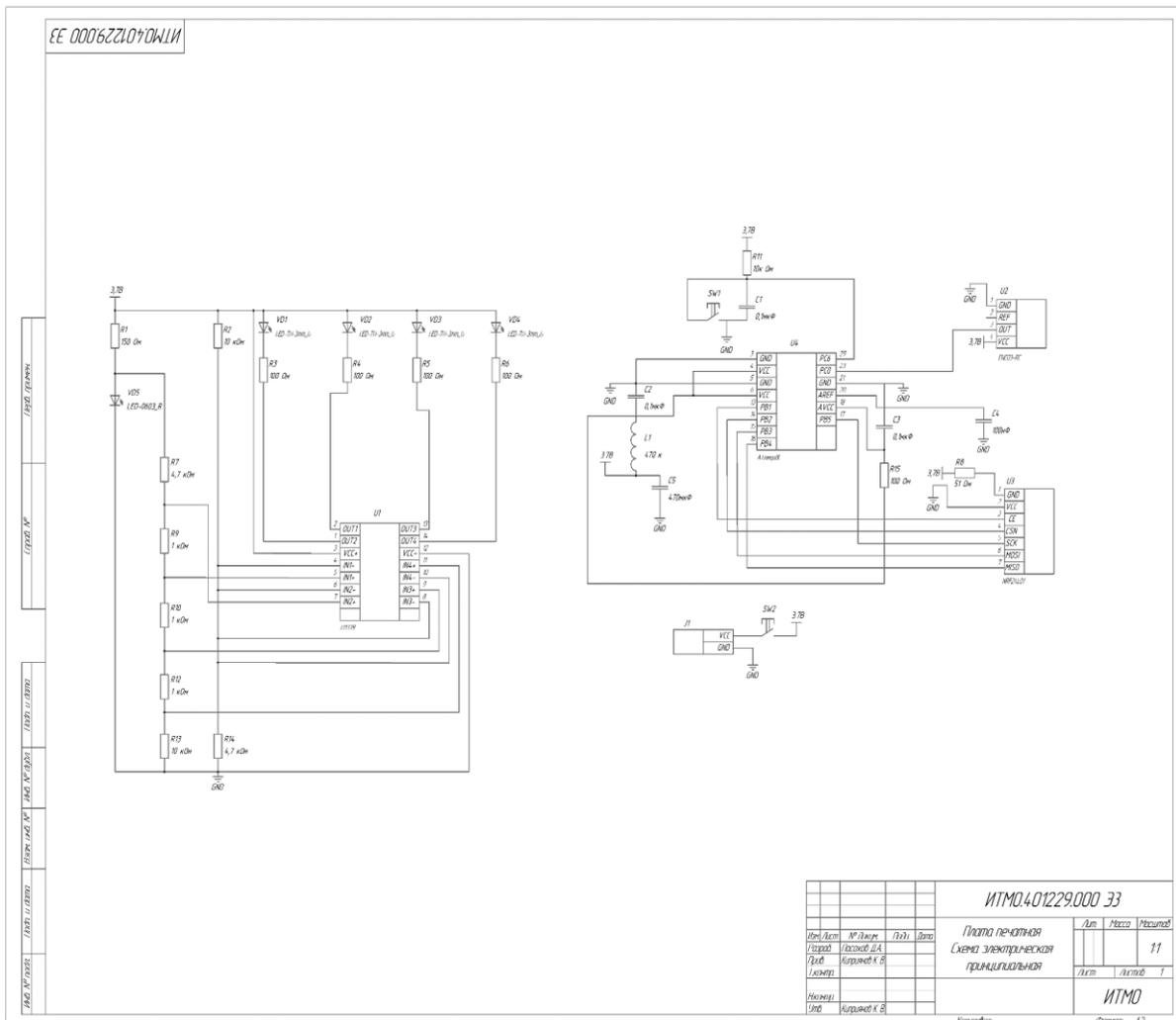


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная

На основе принципиальной схемы была разведена двухслойная плата и получена её 3D модель. Под размеры печатной платы были спроектированы: корпус, крышка и подготовлена сборка готового датчика, приведенная на рис. 2.

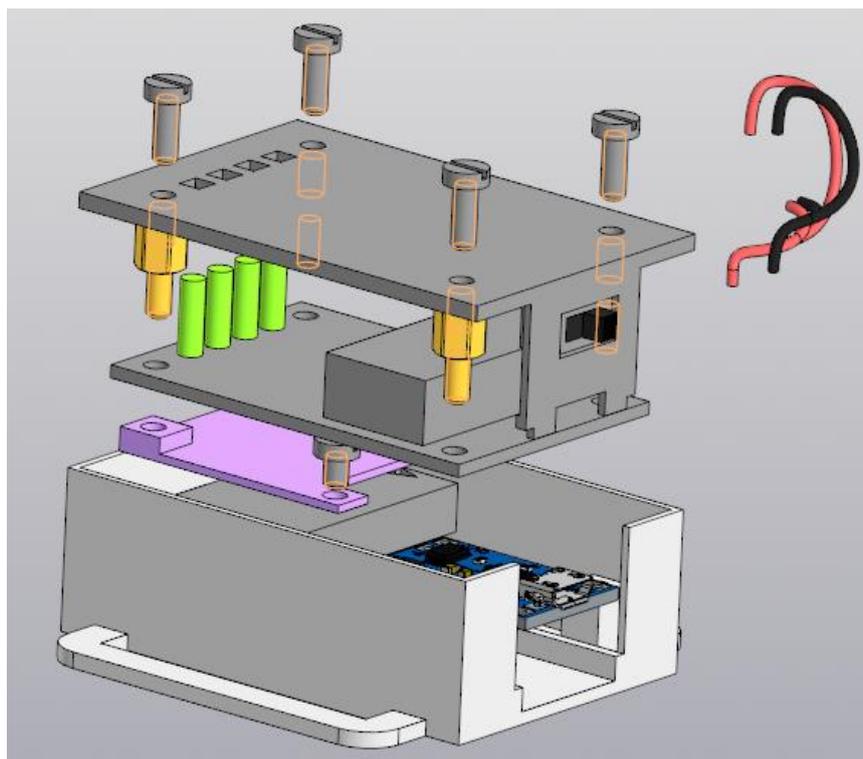


Рис. 2. Сборка устройства

Был проведён эксперимент, в котором сравнивались значения датчика, закрепленного в двух местах. В первом случае измерения проводились на стопе, во втором на бедре пользователя. На рис. 3 изображены сигналы ускорения, полученные с бедра (синий график) и со стопы (красный график). Видно, что графики отличаются несущественно, хотя амплитуда сигнала, полученного со стопы, ниже. Поэтому наиболее эффективным положением датчиков является бедро.

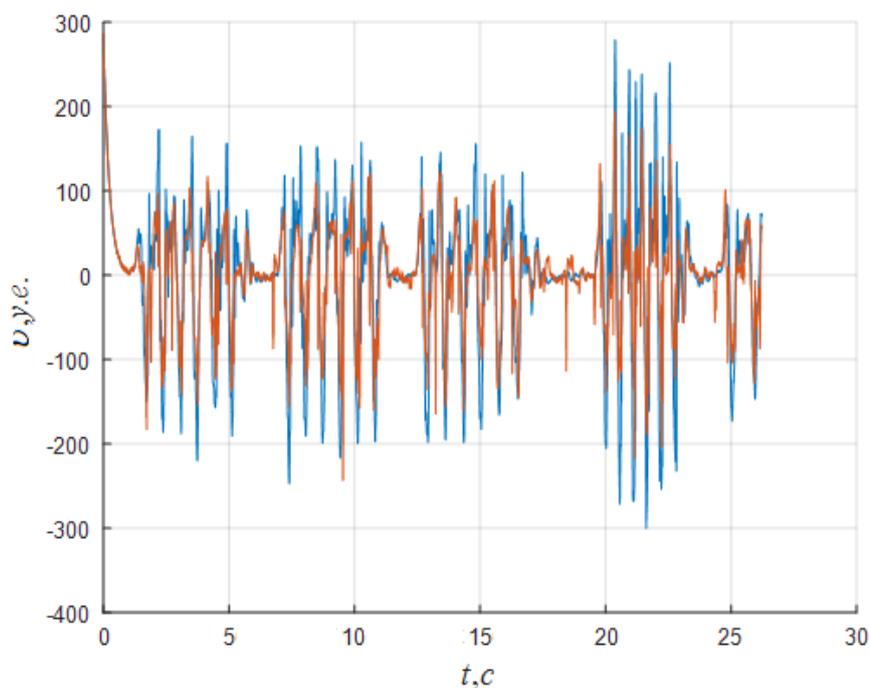


Рис. 3. Графики ускорения, полученные с датчиков на бедре и стопе

В результате работы был разработан датчик считывания информации о положении конечностей человека (ног). Устройство полностью соответствует требованиям, заданным в техническом задании. Для достижения данной цели были выполнены следующие задачи:

- был произведен анализ предметной области;
- был обоснован выбор компонентов для печатной платы;
- была разработана конструкция печатной платы датчика;
- была разработана конструкция корпуса датчика;
- был разработан алгоритм работы датчика.

Сформирован комплект документации: принципиальная схема на печатную плату, перечень элементов на печатную плату, спецификация на печатную, чертеж печатной платы, сборочный чертеж на печатную плату и чертежи на составные части корпуса.

Литература

1. Eddy Lek. How Virtual Reality Compresses Operators Learning Curve in Oilfields [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.se.com/industrial-software/2018/03/27/how-virtual-reality-compresses-learning-curve-of-operators-in-oil-fields/> (дата обращения: 12.05.2021).
2. Виртуальная реальность – игра, лечение, жизнь. Технологии VR на службе реабилитационной медицины [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/company/russian_rehab_industry/blog/447558/ (дата обращения: 12.05.2021).

Сантьев Алексей Альбертович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

физико-технический мегафакультет,

факультет фотоники,

студент группы №V3400,

направление подготовки: 12.03.03 – Оптические и квантовые

технологии в коммуникациях,

e-mail: aleksejsantjew@gmail.com

Самсонов Эдуард Олегович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО,

физико-технический мегафакультет,

факультет фотоники,

аспирант, н.с. лаборатории квантовых коммуникаций,

e-mail: eosamsonov@itmo.ru

УДК 535.8

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ КВАНТОВОЙ СЕТИ
ПОЛНОСВЯЗНОЙ ТОПОЛОГИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ
КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА БОКОВЫХ
ЧАСТОТАХ МОДУЛИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

А.А. Сантьев

Научный руководитель – аспирант, н.с. Э.О. Самсонов

Аннотация

В работе рассмотрена проблематика рассылки квантовых ключей в оптических сетях различных топологий и особенности использования систем квантового распределения ключа на боковых частотах модулированного излучения в квантовых сетях различных топологий. Работа содержит результаты разработки концепции квантовой сети полносвязной топологии на основе систем квантового распределения ключа на боковых частотах модулированного излучения.

Ключевые слова

Квантовая рассылка ключей, система квантового распределения ключей на боковых частотах модулированного излучения, квантовая связь, полносвязная топология.

В настоящее время актуальность вопроса информационной безопасности общепризнана и определяется трендом развития криптографически стойких систем и сетей передачи информации. Технологии квантовой коммуникации является перспективным подходом к обеспечению безопасности передачи данных. В частности, технологию квантового распределения ключа (КРК) рассматривают как наиболее перспективную технологию защиты информации [1]. На ее основе возможно построение высокозащищенных каналов передачи данных. При этом уровень безопасности, обеспечиваемый такими каналами, многократно превосходит любой из существующих классических подходов.

На фоне активных работ по проектированию и строительству магистральных квантовых сетей, меньше внимания уделяется разработке концепций по организации многопользовательских квантовых сетей городского масштаба без использования доверенных промежуточных опорных узлов (ПОУ). Однако развитие подобных концепций является не менее актуальной научно – технической задачей,

способствующей масштабированию технологии КРК, поскольку зачастую возникает необходимость создания защищенного обмена данными между географически удаленными объектами, находящимися на территории одного города. К таким задачам можно отнести организацию защищенного обмена данными между географически распределенными центрами обработки данных, филиалами офисов крупных компаний и зданиями государственных структур. Кроме того, дополнительно повышает актуальность данных работ растущий с каждым годом интерес к технологиям распределенного реестра, благодаря которому повышается число распределенных информационно – коммуникационных систем.

В настоящей работе предлагается использовать высокую спектральную эффективность систем квантовой рассылки ключей на боковых частотах модулированного излучения (КРКБЧ) [2], а именно возможность передавать несколько квантовых каналов в рамках одного DWDM канала. В силу того, что в рамках одного канала можно передавать несколько квантовых каналов, которые могут быть предназначены различным абонентам, предлагается организовать сеть доступа таким образом, чтобы в рамках одной сети доступа модули получателя КРК получали квантовые каналы в рамках одного DWDM окна, а модули отправителя КРК также имели в своем составе перестраиваемые лазеры и могли формировать квантовые состояния на различных длинах волн.

Для организации разделения квантовых каналов между находящимися в одной сети доступа модулями Получателя системы КРКБЧ предлагается использовать представленную на рис. 1 схему.

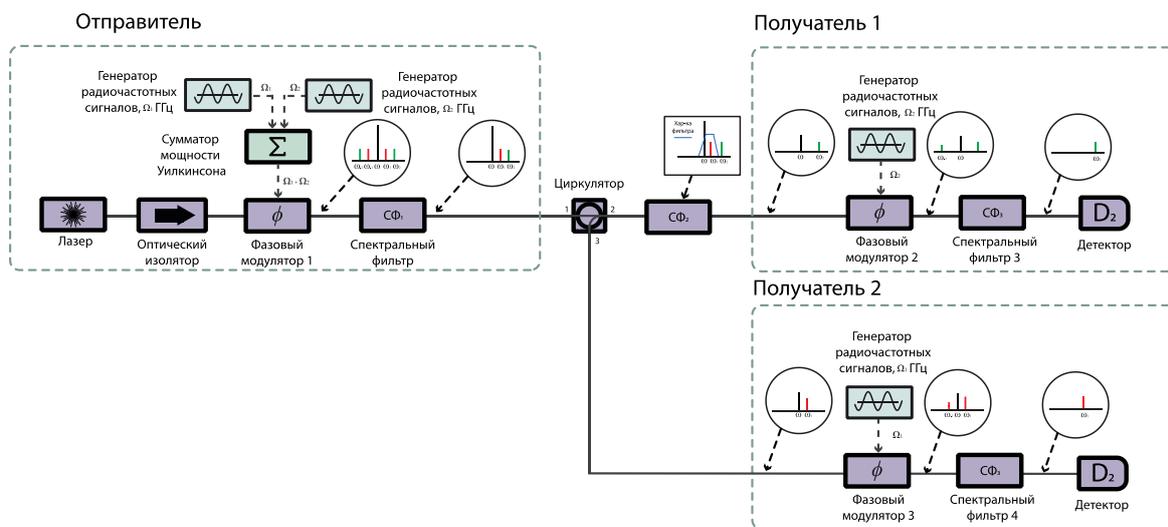


Рис. 1. Схема организации разделения квантовых каналов между находящимися в одной сети доступа модулями Получателя системы КРКБЧ

Рассмотрим данную схему подробнее. Как и в обычной системе КРКБЧ, исходное излучение формируется на лазере, и затем попадает на фазовый модулятор. Для получения двух независимых квантовых каналов на различных парах боковых частот предлагается подавать два радиочастотных сигнала на фазовый модулятор. Для этого предлагается использовать сумматор мощности Уилкинсона. Дополнительно предлагается отрезать «левые» боковые частоты для компенсации негативного влияния хроматической дисперсии, как это предлагается в работе [3].

Впоследствии предлагается использование узкополосного отражающего спектрального фильтра для разделения двух боковых частот и несущей частоты между различными абонентами. Предполагается, что спектральная характеристика фильтра,

работающего на отражение, будет подобрана таким образом, что в узкую полосу отражения фильтра будет полностью попадать оптический сигнал, расположенная на одной из боковых частот, а именно на боковой частоте ω_1 . Кроме того, предполагается, что находящийся на несущей частоте оптический сигнал будет попадать в область, где будет происходить лишь частичное отражение сигнала. Таким образом, мощность оптического сигнала на несущей частоте разделится между двумя модулями Получателя, и впоследствии каждый из них осуществит повторную фазовую модуляцию полученных сигналов с одним радиочастотным модулирующим сигналом с частотой Ω_1 или Ω_2 в зависимости от поступившей на вход модуля КРКБЧ боковой частоты (ω_1 и ω_2 соответственно).

Основным элементом данной схемы можно назвать спектральный фильтр, использующийся для разделения сигналов между двумя модулями Получателя. Основная проблема заключается в том, чтобы идеально подбирать спектральную характеристику под длину волны конкретного DWDM канала, предназначенного для расположенных в конкретной сети доступа модулей Получателя систем КРКБЧ. Кроме того, крайне сложно согласовать между собой спектральные характеристики двух спектральных фильтров СФ₁ и СФ₂, расположение которых в схеме показано на рис. 2. Сложность согласования заключается в близости полос пропускания двух различных узкополосных спектральных фильтров.

Важно отметить, что наблюдаемая на практике температурная нестабильность волоконных фильтров на основе Брэгговских решеток крайне критична для данной схемы, поскольку даже незначительное изменение полосы частот отражения может привести к невыполнению предлагаемой концепции. На практике для температурной стабилизации волоконных спектральных фильтров применяются элементы Пельтье, выполняющих функции термоэлектрического преобразователя. Однако элемент Пельтье также может быть использован и для того, чтобы подстроить спектральную характеристику фильтра под необходимую полосу пропускания. При этом также на практике можно будет использовать элемент Пельтье и для термостабилизации.

Для демонстрации возможности подстройки спектральной характеристики волоконного спектрального фильтра на основе Брэгговской решетки с помощью элемента Пельтье под фазомодулированный сигнал, спектр которого состоит из одной несущей частоты и двух боковых частот, был собран экспериментальный стенд, представленный на рис. 2.

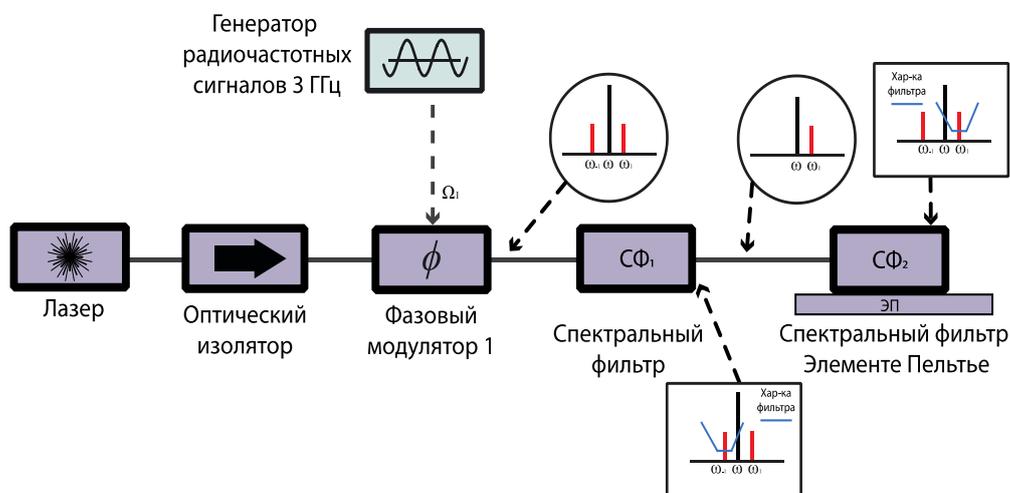


Рис. 2. Схема экспериментального стенда для подтверждения возможности реализации предлагаемой концепции организации сети доступа в многопользовательской квантовой сети городского масштаба

С учетом предлагаемая схемы организации сетей доступа в многопользовательской квантовой сети городского масштаба, представленная в работе [4] концепция квантовой сети городского масштаба может быть доработана. Схема предлагаемой концепции многопользовательской квантовой сети городского масштаба представлена на рис. 3. Следует отметить, что в данной сети сохранилась схема организации опорной части сети, в частности узла опорной части сети, также называемого мультиплексором/демультиплексором опорной части сети. На рис. 3 цветными точками и соответствующими данным точкам стрелками показывается направление распространения набора оптических сигналов от расположенных в разных сетях доступа модулей Отправителей к различным модулям Получателей.

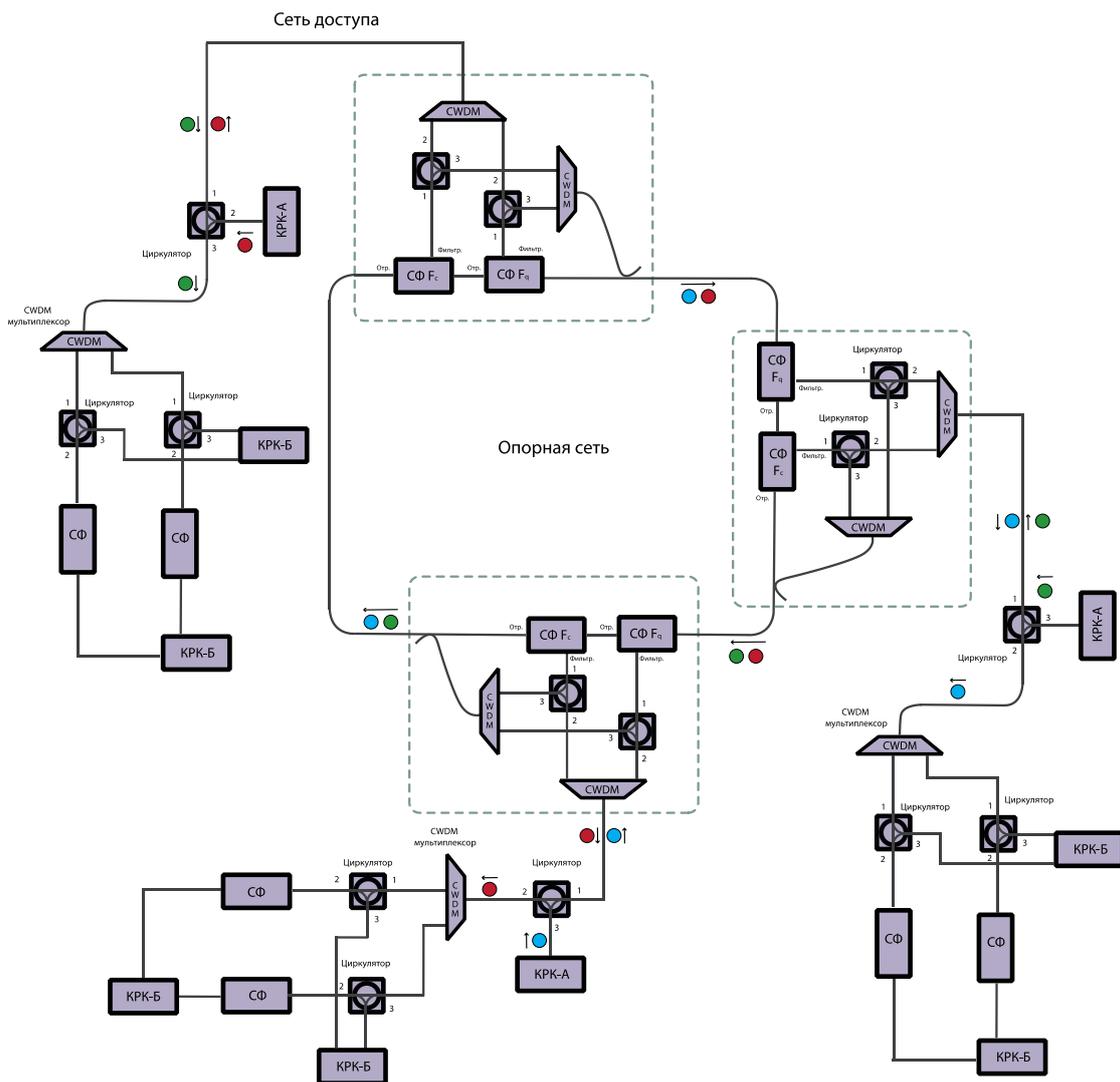


Рис. 3. Схема квантовой сети городского масштаба на основе систем КРКБЧ с учетом предлагаемой схемы организации сетей доступа в многопользовательской квантовой сети городского масштаба

Необходимо отметить, что рассматриваемая схема позволяет обеспечить связь между всеми модулями Отправителей и всеми модулями Получателей, расположенными в различных сетях доступа. Кроме того, данная оптическая схема может обеспечить связь между расположенными в одной пассивной оптической сети модулем Отправителя и модулями Получателей системы КРКБЧ. В таком случае, сформированные модуле Отправителя системы КРКБЧ сигналы сперва попадут на узел

опорной части сети из сети доступа, а впоследствии попадут в опорную часть сети. Благодаря тому, что опорная часть сети имеет кольцевую топологию, сформированные модулем Отправителя сигналы могут вновь дойти до узла опорной сети, однако уже прийти в этот узел именно из опорной сети, после чего при прохождении расположенных в узле опорной сети спектральных фильтров оптические сигналы смогут попасть в сеть доступа, в которой расположен сформировавший данные оптические сигналы модуль Отправителя. Однако благодаря наличию оптического циркулятора в сети доступа, данные сигналы поступят на вход оптической схемы, распределяющей их между модулями Получателей системы КРКБЧ, а не обратно к сформировавшему их модулю Отправителя системы КРКБЧ.

В настоящей работе была предложена концепция полносвязной квантовой сети на основе систем квантового распределения ключей на боковых частотах модулированного излучения. Было показано, что разработка такой концепции необходима для улучшения методов по организации многопользовательских квантовых сетей городского масштаба. Кроме того, в рамках настоящей работы была проделана экспериментальная работа, направленная на демонстрацию возможности реализации ключевых решений предлагаемой концепции. В частности, было показано, что нет принципиальных ограничений по реализации предложенного метода разделения квантовых каналов квантовых каналов между находящимися в одной сети доступа модулями Получателя системы квантового распределения ключей на боковых частотах модулированного излучения.

В будущем предполагается развивать предложенную концепцию полносвязной квантовой сети городского масштаба на основе систем квантового распределения ключей на боковых частотах модулированного излучения. Развитие концепции будет осуществляться в двух направлениях. В рамках первого направления предполагается разработка более продвинутого макета, реализующего предложенную концепцию. В рамках второго макета предполагается проведение работ, направленных на поиск методов улучшения и масштабирования предложенной концепции благодаря внедрению дополнительных научно – технологических решений.

Литература

1. Sasaki M. Quantum Key Distribution and Its Applications // IEEE Secur. Priv. IEEE, 2018. Vol. 16. P. 42–48.
2. Gleim A. V et al. Secure polarization-independent subcarrier quantum key distribution in optical fiber channel using BB84 protocol with a strong reference // Opt. Express. Optical Society of America, 2016. Vol. 24, № 3. P. 2619–2633.
3. Kiselev F. et al. Analysis of the chromatic dispersion effect on the subcarrier wave QKD system // Opt. Express. OSA, 2020. Vol. 28, № 19. P. 28696–28712.
4. Ciurana A. et al. Quantum metropolitan optical network based on wavelength division multiplexing // Opt. Express. OSA, 2014. Vol. 22, № 2. P. 1576–1593.

Севастеева Евгения Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3441,

направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах,

e-mail: esevasteeva@outlook.com

Плотников Сергей Александрович

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: plotnikov@itmo.ru

УДК 57.087.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БЫСТРЫХ РИТМОВ ГОЛОВНОГО
МОЗГА НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОНОВ**

Е.С. Севастеева

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент С.А. Плотников

Аннотация

В данной работе проведена разработка универсального инструментария обработки сигналов электрокортикограмм (ЭКoГ) мозга, а именно: фильтрации без внесения нелинейных сдвигов и построения огибающих. Подтверждена гипотеза об амплитужно-фазовом возбуждении быстрых мозговых гамма-ритмов медленными дельта-ритмами. Вычислен временной сдвиг между исследуемыми сигналами. Проведено моделирование на основе моделей биологических нейронов ФитцХью-Нагумо и Хиндмарша-Роуза, подтверждающее эксперимент.

Ключевые слова

Гамма-ритм, фильтр нулевого сдвига, огибающая, модель ФитцХью-Нагумо, модель Хиндмарша-Роуза.

На сегодняшний день, несмотря на стремительное развитие технологий, принципы устройства мозга – нашего главного контролирующего органа – изучены далеко не полностью. Можно выделить два направления интерпретации его работы: биологические экспериментальные исследования, которые довольно часто не имеют моделей интерпретации, и потому могут быть сложно повторяемы; и построение нейросетей, которые в качестве прикладного аппарата сегодня используются повсеместно, однако базируются на самых примитивных математических моделях и не приближают нас к пониманию устройства мозга. Поэтому целью данной работы было организовать некоторый симбиоз двух этих областей и провести следующий пласт работ: разработать инструмент для обработки экспериментально снятых сигналов, провести анализ и подтвердить или опровергнуть поставленную гипотезу о возбуждении быстрых ритмов медленными, а далее подтвердить результаты эксперимента на основе биологических моделей нейронов ФитцХью-Нагумо (ФХН) и Хиндмарша-Роуза (ХР).

Обработка сигнала включает в себя выбор алгоритма фильтрации для выделения быстрой и медленной компонент из исходных сигналов, построение огибающей быстрого ритма, характеризующей периоды всплесков и затуханий последних и расчет

корреляции как индикатора наличия или отсутствия линейной амплитудно-фазовой взаимосвязи между исследуемыми сигналами. Экспериментальные данные представляют собой 32-канальную ЭКоГ (28 каналов, регистрирующих высокочастотные диапазоны и 4 канала – низкочастотные). Частота дискретизации сигнала 2 кГц, время записи 128 секунд. Визуализация представлена на рис. 1.

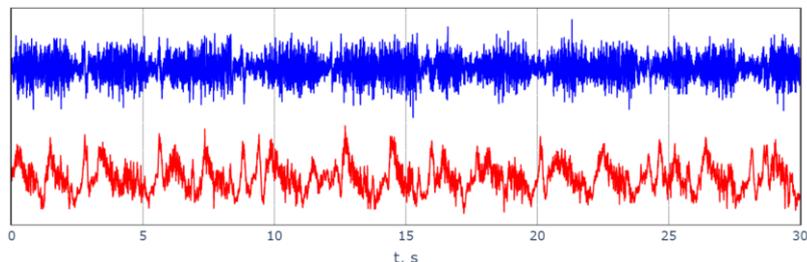


Рис. 1. Нефильтрованные сигналы высокочастотного (синий) и низкочастотного (красный) диапазонов

Постоянная активность коры головного мозга в значительной степени поддерживается разнообразием нейронных колебаний, генерируемых этим органом (альфа-, бета-, гамма- (быстрые) и тета-, дельта-диапазоны (медленные)) [1] и представлена на рис. 2.

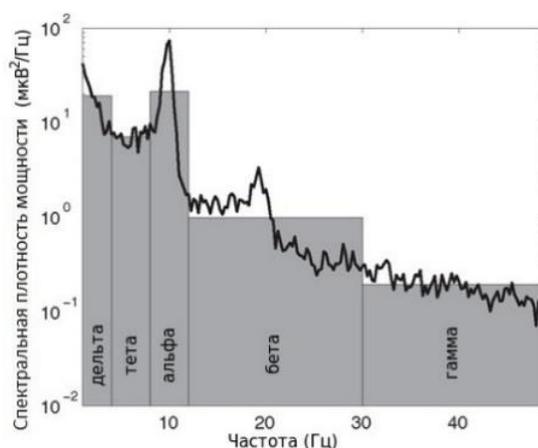


Рис. 2. Распределение логарифмической спектральной мощности в разных диапазонах частот нейронных колебаний.

В данной работе была поставлена задача проверить гипотезу о том, что поведение быстрых гамма-ритмов модулируется фазой медленных ритмов (частоту последних определяли при анализе экспериментальных данных). Важность понимания механизма взаимосвязи данных диапазонов объясняется тем, что у людей, страдающих такими расстройствами как шизофрения или болезнь Паркинсона (нейродегенеративное заболевание - на сегодняшний день крайне актуальное и пока трудно поддающееся даже замедлению его развития) наблюдаются отклонения именно в данных частотных спектрах [2, 3]. Приблизившись к пониманию взаимовлияния гамма- и медленных ритмов, мы сможем попытаться использовать это для ранней диагностики данных отклонений и более эффективно замедлять или даже предотвращать их.

Первым этапом обработки сигналов является фильтрация и рассмотрены были варианты фильтров в бесконечной импульсной характеристикой, так как они обеспечивают заданные характеристики, имея при этом небольшой порядок в сравнении

с аналогами конечной импульсной характеристики. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) рассмотренных фильтров 4-го порядка представлены на рис. 3. Выбран был фильтр Баттерворта, как обладающий наиболее гладкой амплитудной характеристикой в полосе пропускания. Последняя выбрана согласно диапазону гамма-ритмов, т.е. 30-85 Гц.

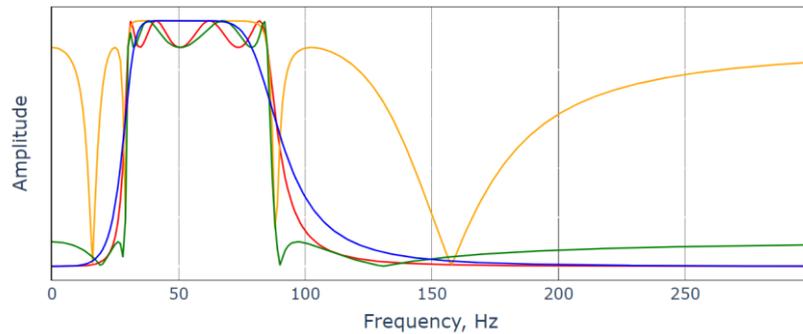


Рис. 3. АЧХ исследуемых фильтров: Баттерворта (синий), Чебышева первого рода (красный), Чебышева второго рода (оранжевый) и эллиптический (зеленый)

Из рис. 2 также можно заметить, что выбранный фильтр обладает самой пологой АЧХ на границах полосы пропускания. Ещё одной неприятной особенностью его является внесение нелинейных фазовых сдвигов в фильтруемый сигнал, что в контексте поставленной задачи может быть критично. Избавиться от второй особенности и подкорректировать первую позволяет фильтр нулевого сдвига: фильтр, пропущенный через сигнал в прямом и обратном направлениях. Амплитудно-фазовые частотные характеристики фильтра нулевого сдвига и исходного представлены на рис. 4, из которого видно, что АЧХ стала более крутой, а нелинейные фазовые сдвиги взаимокompенсировались.

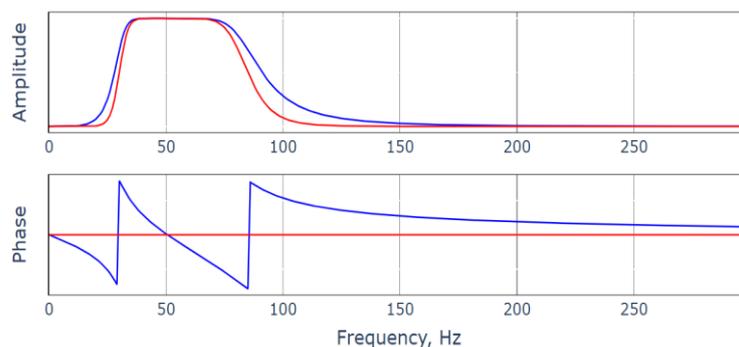


Рис. 4. АФЧХ обычного фильтра Баттерворта (синий) и фильтра нулевого сдвига (красный).

Следующим этапом был выбор способа построения огибающей. Рассматривались следующие методы: по пикам с последующей интерполяцией, метод эмпирических мод (Empirical mode decomposition (EMD) [4]) и преобразование Гильберта.

Первый способ является наиболее наивным и заключается во взятии пиков сигнала с заданной периодичностью. После по полученному множеству точек строится интерполяционная кривая, называемая в нашем случае огибающей. Однако, несмотря на привлекательную простоту данного метода, от его использования пришлось отказаться в силу высокой частоты сигнала и, следовательно, значительной зависимости результата от выбора начальной точки. Иллюстрация данного явления

представлена на рис. 5, где видно насколько сильно отличаются две огибающие имеющие одинаковую периодичность взятия пиков, но разные начальные точки.

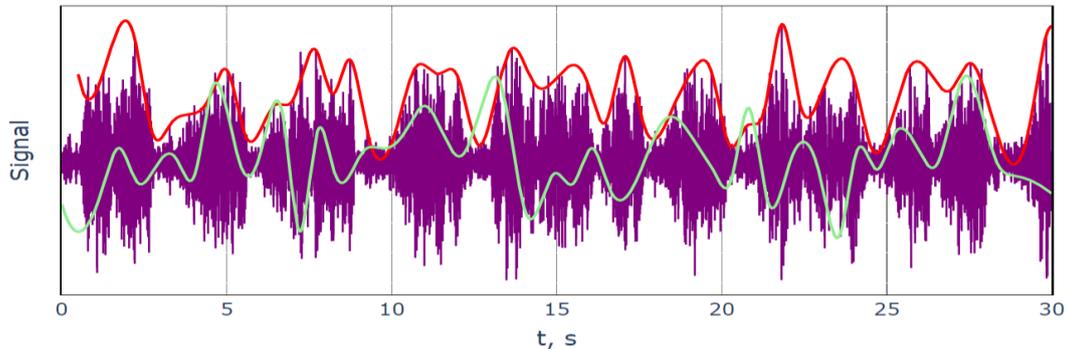


Рис. 5. Огибающие по пикам исходного сигнала (фиолетовый), построенные с периодичностью 1000 с начальной точкой t_0 (зелёный) и $t_0 + 0.5$ с (красный)

Вторым методом рассмотрения был метод эмпирических мод, заключающийся в том, что любой сложносоставной периодический сигнал может быть разложен на конечное число этих самых эмпирических мод (intrinsic mode functions or *imf*-компоненты). О частоте применительно к ним говорить не совсем корректно, однако можно пытаться назвать характер полученных мод периодическим. В качестве огибающей можно выбрать одну из компонент или их комбинацию. И от данного метода также отказались по причинам, проиллюстрированным на рис. 6: при разложении сигнала на включающих один другой временных промежутках одна и та же компонента может выглядеть по-разному, а значит, для каждого случая необходимо выбирать компоненты огибающей вручную, что не является универсальным способом.

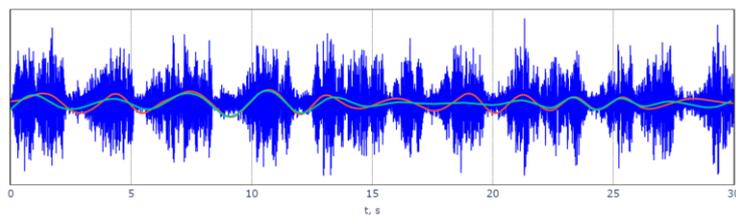


Рис. 6. Две огибающие, полученные методом эмпирических мод из одной и той же по номеру компоненты, построенные на более широком (зеленый) и приведенном (красный) промежутках

Третьим и победившим в этой борьбе методом стало преобразование Гильберта. Оно является аналитическим методом и потому на пересекающихся промежутках дает одинаковые результаты. Однако, огибающая, полученная с помощью такого способа является «слишком детальной», поэтому к ней было решено применить фильтр нижних частот нулевого сдвига. Демонстрацию вышесказанного можно видеть на рис. 7.

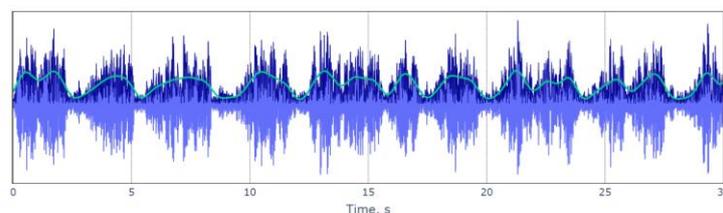


Рис. 7. Исходный сигнал (светло-синий), его огибающая, полученная с помощью преобразования Гильберта (темно-синий) и фильтрованная огибающая (зеленый)

Из построенной огибающей можно оценить, что период всплесков и затуханий амплитуды быстрого ритма равен примерно 2 секундам. Таким образом мы будем искать возбуждающий медленный ритм в диапазоне менее 1 Гц и тем самым идентифицировали его, как дельта-ритм. Фильтрованные быстрый и медленный сигнал, а также полученная огибающая показаны на рис. 8.

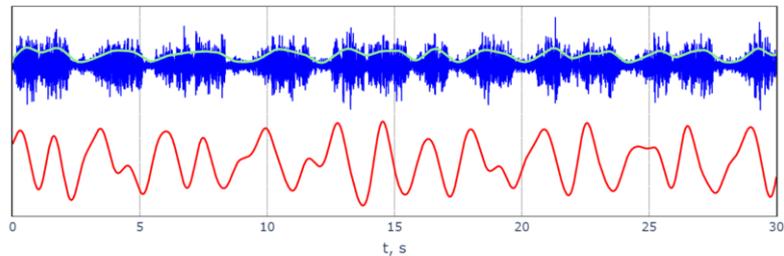


Рис. 8. Фильтрованные быстрый (синий) и медленный (красный) сигналы, а также огибающая быстрой компоненты (зеленый)

Теперь, чтобы определить наличие и характер взаимосвязи двух исследуемых ритмов, мы вычислим корреляцию Пирсона между медленным сигналом $s(t + \tau)$ и огибающей быстрого $e(t)$ по формуле 1, где τ – временной сдвиг лежащий в диапазоне $[-2; 2]$ секунды согласно оцененному периоду огибающей. Данная зависимость изображена на рис. 9.

$$\rho(\tau) = \frac{\sum s(t + \tau) \cdot e(t)}{\sqrt{\sum s(t + \tau)^2 \sum e(t)^2}} \quad (1)$$

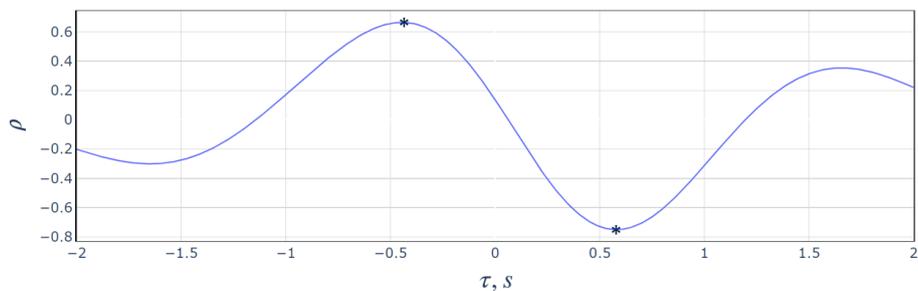


Рис. 9. Зависимость значений корреляции $\rho(\tau)$ от длительности сдвига τ

Здесь явно просматриваются два пика, отмеченные звёздочками. Первый явный максимум на сдвиге $\tau \approx -0.45$ с равный $\rho \approx 0.66$ как раз подтверждает нашу гипотезу и говорит о том, что медленные ритмы задают поведение быстрым так, что при значениях больше нуля гамма-ритм активизируется, а при меньших – гамма-ритм затухает. Второй же пик, расположенный примерно через 1 с, говорит о том, что примерно через полпериода наши сигналы вступают в противофазу и их корреляция становится отрицательной. И это ещё одно подтверждение нашей гипотезы.

Для выбора сигнала для дальнейшего сравнения с моделированием была проведена следующая манипуляция: для каждого канала были вычислены два пика и соответствующие им сдвиги. Результат отображен на рис. 10. Видно, что разброс по временам сдвига значительно больше, чем по корреляции, поэтому для дальнейшего анализа выберем канал с самым близким к среднему времени сдвига. Стоит отметить, что для

всех каналов положительная корреляция превысила значение 0.62, что опять же подтвердило нашу гипотезу.

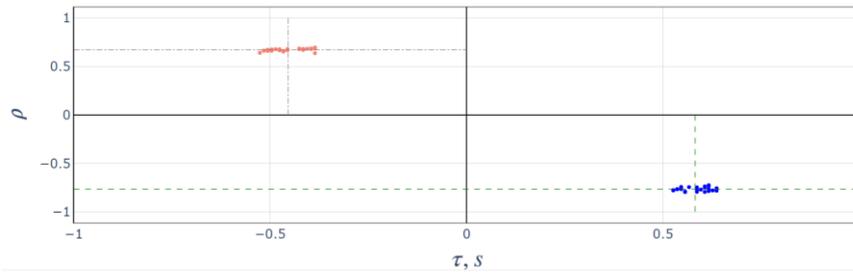


Рис. 10. Графическое изображение пиков для всех каналов. Горизонтальные пунктирные линии – это средние значения корреляций по всем каналам, а вертикальные – средние значения сдвигов. Среднее значение положительного сдвига $\bar{\tau} = -0.448$, а корреляции – $\bar{\rho} = 0.66$

Выбранный канал был поделен на промежутки длиной 20 с (с шагом 5 с) для нахождения промежутка с лучшими показателями корреляции для дальнейшего моделирования (промежутки большей длительности моделировать слишком ресурсозатратно). Таким образом для промежутка 35-55 с получили $\tau = -0.466$, $\rho = 0.74$.

Модели биологических нейронов представлены формулами 2 (модель ФХН) и 3 (модель ХР).

$$\begin{cases} \varepsilon \dot{u}(t) = u(t) - \frac{u^3(t)}{3} - v(t) + I_{ext} \\ \dot{v}(t) = u(t) - b \cdot v(t) + a \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \dot{u}(t) = v(t) - au^3(t) + bu^2(t) - w(t) + I_{ext} \\ \dot{v}(t) = c - du^2(t) - v(t) \\ \dot{w}(t) = \varepsilon[s(u(t) - r) - w(t)] \end{cases} \quad (3)$$

где u, v, w – переменные состояния, $a, b, c, d, \varepsilon, s, r$ – параметры системы. I_{ext} – внешний стимул.

Обе системы в отсутствие внешнего стимула имеют два режима работы (в зависимости от значений параметров): с устойчивым положением равновесия и с устойчивым предельным циклом. Нас интересует первый вариант, так как возбуждать систему мы хотим с помощью введения медленного сигнала. Система модели ФХН с возбуждением в виде медленного сигнала $s(t + \tau)$ и введенным белым шумом $\xi(t)$, который обеспечивает схожесть с реальной системой, записана в формуле 4. Параметр δ введен для того, чтобы система генерировала сигналы частоты гамма-диапазона. Для системы ХР введение трех данных величин произведено абсолютно аналогичным образом, поэтому в качестве отдельной формулы приведено не будет.

$$\begin{cases} \dot{u}(t) = \frac{\delta}{\varepsilon} \left(u(t) - \frac{u^3(t)}{3} - v(t) + s(t + \tau) + \xi(t) \right) \\ \dot{v}(t) = \delta(u(t) - b \cdot v(t) + a) \end{cases} \quad (4)$$

Подбор параметров был произведен при помощи эволюционных алгоритмов. Критерием оптимальности являлась максимизация коэффициента корреляции между экспериментальной и моделируемой огибающими. Результаты моделирования

представлены на рис. 11 для модели ФХН со значением корреляции равным 0.78 и на рис. 12 для модели ХР со значением корреляции 0.81.

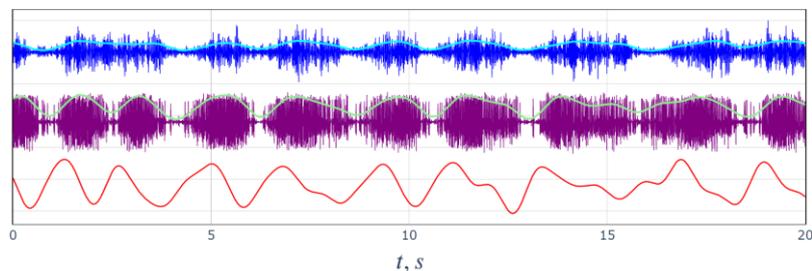


Рис. 11. График исходного быстрого сигнала (синий) и его огибающей (голубой), смоделированного сигнала модели ФХН (фиолетовый) и его огибающей (зелёный), а также фильтрованного медленного сигнала $s(t + \tau)$, подающегося в систему (красный)

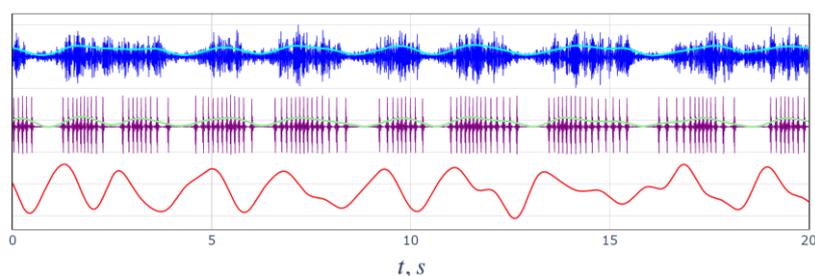


Рис. 12. График исходного быстрого сигнала (синий) и его огибающей (голубой), смоделированного сигнала модели ФХН (фиолетовый) и его огибающей (зелёный), а также фильтрованного медленного сигнала $s(t + \tau)$, подающегося в систему (красный)

Таким образом в ходе данной работы была разработана система обработки экспериментальных сигналов, подтверждена гипотеза об амплитудно-фазовом возбуждении быстрых гамма-ритмов медленными дельта-сигналами: максимальная корреляция между огибающей быстрого и медленным сигналами оказалась равной 0.74, в то время как среднее значение этой величины равнялось 0.66, что явно можно считать успешным подтверждением гипотезы. Результаты эксперимента были подкреплены при помощи моделирования на основе биологических моделей нейронов ФитцХью-Нагумо и Хиндмарша-Роуза с полученными соответственно значениями корреляций огибающих 0.78 и 0.81

В дальнейшей работе планируется усовершенствование моделей, рассмотрение биологической нейронной сети и развитие исследования в контексте улучшения методов ранней диагностики рассмотренных в работе заболеваний.

Литература

1. van Albada S.J., Robinson P.A. Relationships between Electroencephalographic Spectral Peaks Across Frequency Bands // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013. Vol. 7.
2. Moran L.V., Hong L.E. High vs low frequency neural oscillations in schizophrenia // *Schizophrenia Bulletin*. 2011. Vol. 37, № 4. P. 659–663.
3. Muthuraman M. et al. Cross-frequency coupling between gamma oscillations and deep brain stimulation frequency in Parkinson's disease. // *Brain: a journal of neurology*. 2020. Vol. 143, № 11. P. 3393–3407.
4. Zeiler A. et al. Empirical Mode Decomposition – an introduction // *The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. IEEE, 2010. P. 1–8.

Сметанина Дарья Дмитриевна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО,

факультет информационных систем и программирования,

студент группы №М3400,

направление подготовки: 09.03.03 – Корпоративные информационные системы,

e-mail: smetaninadaria2000@gmail.com

Тесля Николай Николаевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО,

факультет информационных систем и программирования

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

e-mail: nnteslya@itmo.ru

УДК 004.514.6

**РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА
ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦИФРОВКИ И РЕДАКТИРОВАНИЯ
ОТСКАНИРОВАННЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ**

Д.Д. Сметанина

**Научный руководитель – к.т.н., доцент (квалификационная категория
"доцент практики") Н.Н. Тесля**

Аннотация

В работе описан процесс разработки пользовательского интерфейса приложения для оцифровки и редактирования отсканированных чертежей. Основная идея всего проекта – разработка системы, которая будет при помощи машинного обучения исправлять артефакты отсканированного изображения, а также размечать обработанный чертеж, определяя текстовую информацию и границы областей чертежа.

Ключевые слова

Пользовательский интерфейс, автоматизация, чертеж, HTML, Java Script.

Согласно ГОСТ 2.102-68, чертеж – это документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей, поясняющий принцип работы изделия и содержащий другие данные, необходимые для изготовления и контроля изделия [1]. До появления электронных чертежей, в основном использовались расчерчиваемые от руки бумажные чертежи, хранение которых было сопряжено с определенными трудностями. Количество бумажных чертежей уменьшилось после того, как стали широко использоваться программы для создания электронных чертежей (AutoCAD, SOLIDWORKS и подобные). Однако появилась необходимость оцифровки существующих бумажных чертежей.

Для решения данной проблемы и разрабатывается данный проект. Прикладной процесс описан ниже.

Скан чертежа загружается при помощи клиентской части приложения на серверную часть, где производится дальнейшая обработка. В процессе обработки при помощи методов машинного обучения удаляются артефакты изображения, исправляются искажения, снижается шумность изображения, распознается текст в блоке основных надписей чертежа для его автоматической классификации. Кроме того, определяются рамки чертежа: основная рамка, таблица ревизий, основная надпись. Изображенные на чертеже детали не распознаются. Обработанное изображение сохраняется в базе данных и отображается на клиентской части пользователю.

Предоставляется возможность проверки качества распознавания границ и содержания текста, а также возможность вручную добавить или исправить некорректно распознанный текст и рамки.

В рамках данной работы рассматривается разработка пользовательского интерфейса. На основе анализа прикладного процесса к нему были выдвинуты следующие функциональные требования:

- Интерфейс должен, на основе получаемой с серверной части информации отображать результат распознавания чертежа: сам чертеж, рамки, выделяющие необходимые области, текст из основной надписи чертежа.
- У пользователя должна быть возможность изменения разметки чертежа при помощи добавления и удаления рамок, а также путем перемещения, изменения размера, изменения их цвета.
- Внесенные пользователем изменения должны передаваться на серверную часть при сохранении их пользователем.
- Пользователь должен иметь возможность загрузить в систему новый чертеж для последующей обработки.
- Интерфейс должен предоставлять возможность переключения между чертежами, информация о которых получена с серверной части.

Что касается нефункциональных требований, из них было выделено только требование интуитивной понятности интерфейса.

Для определения инструментов был рассмотрен ряд работ, в которых описана разработка интерфейсов различных систем. Некоторые из них приведены ниже.

В работе [1] «рассмотрена задача разработки прототипа веб-приложения для аннотирования изображений, формирующих наборы данных для обучения моделей компьютерного зрения». Серверная часть приложения реализована на языке Python (вместе с фреймворком Flask). Это связано с тем, что на данном языке реализована большая часть решений для компьютерного зрения, а также присутствуют готовые инструменты для веб-разработки. Клиентская часть была реализована с использованием JavaScript и фреймворка Vue.js, HTML и CSS.

В работе [2] описывается совместное редактирование графических изображений при помощи технологии WebSocket. Кроме нее, так же используются HTML5 (в частности Canvas), jQuery и рассматриваются JavaScript фреймворк Node.js.

Работа [3] посвящена разработке приложения для редактирования фотографий с простым, интуитивно понятным интерфейсом. Приложение написано на языке Java, для разработки интерфейса использовался Java Swing.

На основе сформулированных требований и изученных работы, были определены технологии, использование которых позволит удовлетворить все требования к разработке приложения. Для разработки веб-интерфейса существует ряд базовых инструментов, которые нет возможности заменить чем-то иным:

- HTML (HyperText Markup Language) – стандартизированный язык разметки документа (веб-страницы). Использовалась пятая версия, поскольку она является последней, а также, по сравнению с более ранними версиями, в ней были добавлены элементы для более удобной работы с векторной графикой, такие как Canvas.
- CSS (Cascading Style Sheets) – формальный язык описания внешнего вида веб-страницы, написанного с использованием HTML или другого языка разметки.
- JS (JavaScript) – язык программирования, использовался в качестве языка сценариев на веб-странице.

Основываясь на рассмотренных выше работах, были дополнительно изучены преимущества и недостатки различных инструментов.

Ключевой задачей серверной части приложения является аннотирование изображений с использованием средств машинного обучения. В качестве возможных

языков программирования для реализации рассматривались Python и Java. Оба языка в достаточной мере удовлетворяют выдвинутым к ним требованиям, однако для разработки приложения был выбран язык Python. Это обусловлено тем, что на нем реализовано подавляющее большинство библиотек для машинного обучения, позволяющих значительно ускорить и облегчить разработку серверной части, связанной с автоматическим аннотированием изображений с помощью обученных моделей распознавания графических объектов [4].

Для работы с базой данных была выбрана библиотека SQLAlchemy, являющаяся одной из самых распространенных инструментов ORM среди разработчиков на Python. В отличие от Django ORM, SQLAlchemy позволяет использовать более сложные SQL запросы [5].

Связь клиентской и серверной частей приложения возможна средствами исключительно Python, однако фреймворки значительно увеличивают удобство и скорость разработки. Рассматривались микро-фреймворк Flask и фреймворк Django. Оба фреймворка предоставляют необходимый функционал для обмена информацией между клиентом и сервером. В Django включено значительно больше шаблонов, в том числе для работы с базой данных, однако, из-за этого Django не совместим с SQLAlchemy. Django является монолитным фреймворком [4], из-за чего очень сложно заменить встроенный модуль, например, Django ORM на SQLAlchemy. Поскольку от серверной части требуется минимальный размер при достаточной гибкости, был выбран фреймворк Flask.

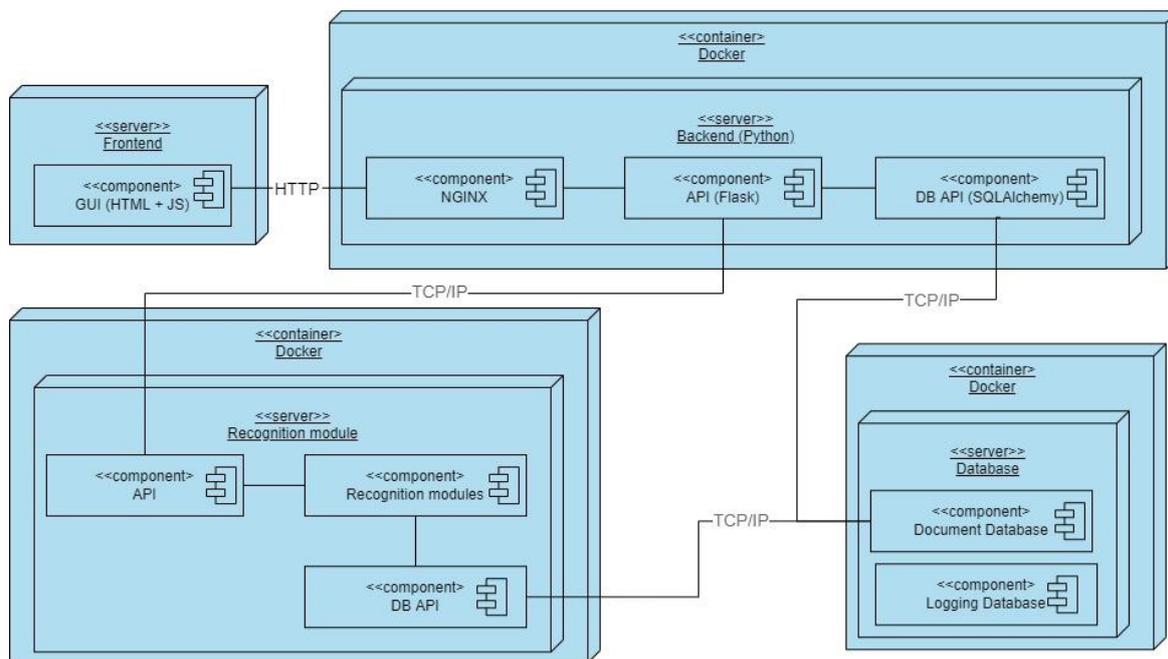


Рис. 1. Диаграмма развертывания

При организации взаимодействия между серверной и вычислительной частью необходимо обеспечить асинхронный канал связи для обмена данными в реальном времени. Для решения этой задачи был выбран протокол связи, работающий поверх TCP-соединения – WebSocket. Необходимость постоянно поддерживать канал связи от сервера к клиенту обусловлена длительностью процесса обработки, не укладывающейся в стандартное окно ожидания HTTP-запроса, что делает невозможным синхронную работу клиента. Поэтому для асинхронного оповещения о

прогнесе и результатах обработки файлов технология WebSocket подходит лучше, чем AJAX [5].

На рис. 1 приведена диаграмма развертывания, на которой также указаны выбранные инструменты.

Основным элементом интерфейса является область рисования. Она представляет из себя блок, на котором отображается чертеж, а также распознанные рамки. Если рамки были распознаны некорректно, пользователь имеет возможность их изменить (положение, размер, цвет), удалить или добавить новую рамку. Различные цвета рамок необходимы для отображения различных типов рамок. На рис. 2 приведен итоговый вид разработанного интерфейса.

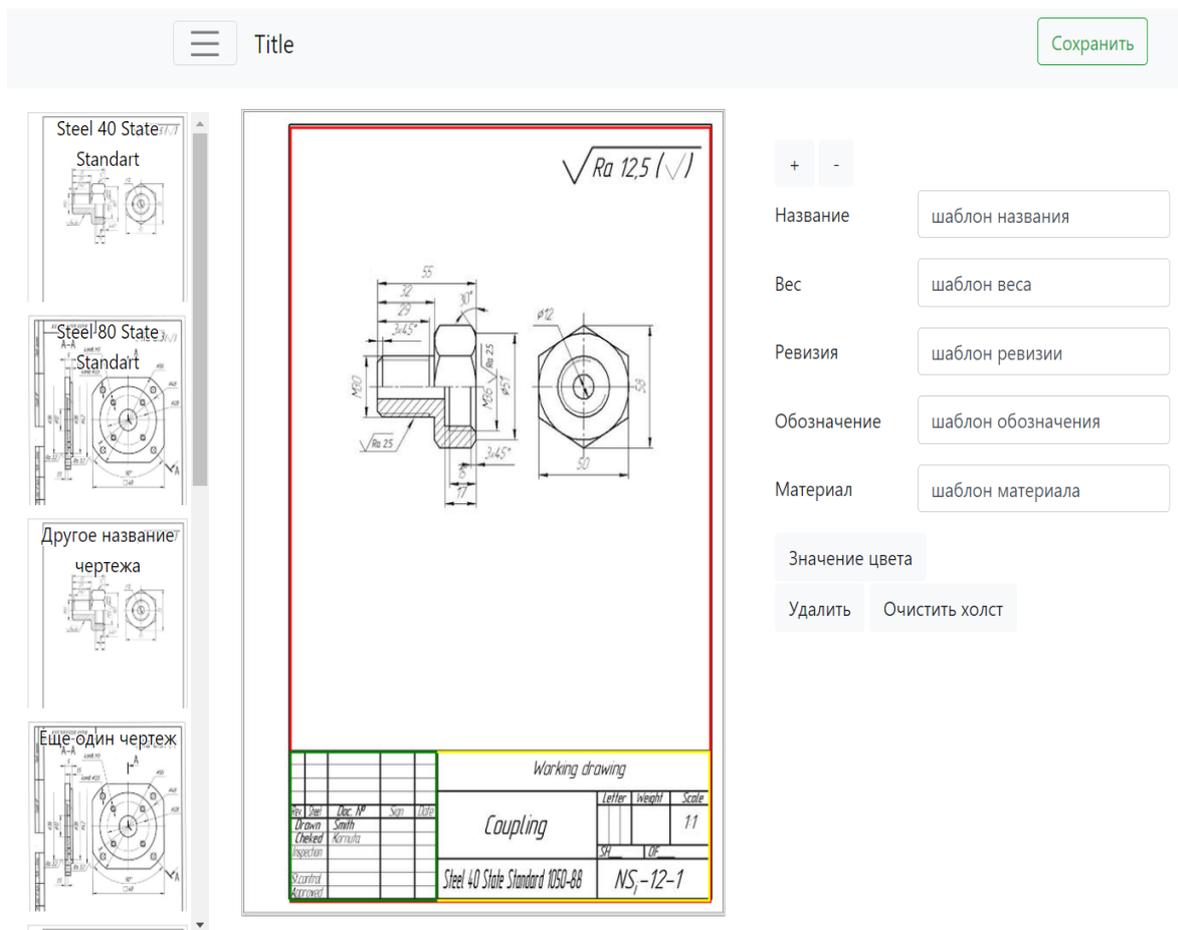


Рис. 2. Разработанный интерфейс

В ходе выполнения данной работы была проанализирована предметная область и прикладной процесс для автоматизации оцифровки и редактирования отсканированных чертежей. На основе анализа были сформулированы требования для разрабатываемого интерфейса. С учетом всех выдвинутых требований был определен стек технологий, спроектирован и разработан интерфейс приложения. Поставленная цель разработать пользовательский интерфейс была достигнута.

В дальнейшем планируется усовершенствовать механизм изменения рамок, сделать его более удобным для пользователей. Кроме того, необходимо разработать возможность поиска загруженного чертежа по названию. По мере добавления нового функционала на серверной части приложения планируется и дальнейшее развитие разрабатываемого интерфейса.

Литература

1. Шляпников В.М. Разработка прототипа системы аннотирования изображений для моделей компьютерного зрения. Научные междисциплинарные исследования. 2020. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-prototipa-sistemy-annotirovaniya-izobrazheniy-dlya-modeley-kompyuternogo-zreniya> (дата обращения: 20.04.2021).
2. Wu C., Li L., Peng C. et al. Design and analysis of an effective graphics collaborative editing system – J Image Video Proc. 2019. [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.1186/s13640-019-0427-6> (дата обращения: 22.04.2021).
3. Hrvoje Ditrih; Sonja Grgić PhotoGrade – Fast and Effective Application for Digital Photo Editing – 2020 International Symposium ELMAR. 2020. [Электронный ресурс] <https://ieeexplore.ieee.org/document/9219012> (дата обращения: 22.04.2021).
4. Алферьев Д.А. Программные средства моделирования и разработки систем искусственного интеллекта. Крымский научный вестник. 2020. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/programmnye-sredstva-modelirovaniya-i-razrabotki-sistem-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 27.04.2021).
5. Васильев П.А. Web-программирование на языке python. Фреймворки django, Flask - Наука, техника и образование. 2016. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/web-programmirovanie-na-yazyke-python-freymvorki-django-flask> (дата обращения: 28.04.2021).

Соколова Анастасия Всеволодовна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

студент группы №V3436,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: physasv@yandex.ru

Черевков Сергей Александрович

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет фотоники,

к.ф.-м.н., с.н.с.,

e-mail: s.cherevkov@gmail.com

УДК 535.37+535.34+546.05

МОДИФИКАЦИЯ НАНОПЛАСТИН ХАЛЬКОГЕНИДОВ РТУТИ И СВИНЦА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМИ ОТКЛИКАМИ

А.В. Соколова

Научный руководитель – к.ф.-м.н., с.н.с. С.А. Черевков

Работа выполнена в рамках темы НИР №390336 «Источники излучения ближнего ИК диапазона на основе полупроводниковых квантовых нанопластин».

Аннотация

Главной задачей современной физики наноструктур является разработка новых наноматериалов для настройки и оптимизации их оптических свойств. Одним из перспективных наноструктурированных материалов являются тройные нанопластины (НП) с управляемыми оптическими свойствами в ближней инфракрасной (ИК) области. Для их исследования в ходе выпускной квалификационной работы были разработаны два метода модификации нанопластин на основе халькогенидов кадмия, ртути и свинца. Установление физических свойств и тенденций изменения оптических параметров в зависимости от структуры нанобъекта приведет к улучшению понимания механизмов излучательной рекомбинации в нанопластинах ИК диапазона и большему их внедрению в различные устройства.

Ключевые слова

Нанофотоника, полупроводниковые нанопластины, ИК диапазон, наноматериалы, халькогениды ртути, халькогениды свинца.

Коллоидные двумерные нанокристаллы (нанопластины) видимого диапазона отличаются от других наноструктур своими оптоэлектронными свойствами, такими как малый стоков сдвиг, «гигантская сила осциллятора» [1] и низкими значениями полуширины спектральных линий. Другой активно развивающейся областью являются двумерные нанокристаллы ИК области, которые востребованы для применения в светоизлучающих, фотоприемных и фотовольтаических устройствах. Таким образом, нанопластины (НП) ближнего ИК диапазона могут стать основой для создания наносистем нового поколения.

Двумерные нанокристаллы ближней ИК области, полученные прямым высокотемпературным синтезом, обладают низкой коллоидной стабильностью, что не позволяет реализовывать настройку оптических откликов. Поэтому было выбрано

другое направление исследования: катионный обмен в НП с фотолюминесценцией (ФЛ) в видимой области, которые имеют высокую степень воспроизводимости синтеза и кристалличность структуры.

В ходе выпускной квалификационной работы были разработаны два метода модификации нанопластин. Первым является допирование НП теллурида ртути, люминесцирующих на границе видимого и ИК диапазона, ионами свинца, что приводит к сдвигу максимума ФЛ в более длинноволновую часть спектра. Различие кристаллических решеток допанта и матрицы ограничивает содержание свинца в структуре (5%).

Вторым является создание гетероструктур на основе нанопластин, которые могут быть получены за счет наращивания отличного от исходного п/п либо в латеральном направлении (нанопластины ядро/крылья), либо увеличением толщины (нанопластины ядро/оболочка). Гетероструктуры данных типов различно влияют на электронную структуру получаемых наноматериалов. В наноструктурах типа ядро/крылья (рис. 1(б)) положение основных электронных переходов не изменяется, а сама гетероструктура играет роль экситонной воронки. Увеличение толщины нанопластины (рис. 1(а)) приводит к сильному сдвигу максимумов поглощения и ФЛ в красную область, объясняющееся делокализацией электрона по всему объему структуры, например, когда узкая зона ядра немного выходит за пределы запрещенной зоны оболочки из широкозонного п/п.



Рис. 1. Виды гетероструктур, полученных с помощью комбинации различных методов модификации исходных НП CdSe: ядро/оболочка (а) и ядро/крылья (б)

Установление зависимостей положения максимума ФЛ от типа гетероструктуры в нанопластинах химического состава PbSe/PbS было одной из задач ВКР. Данные структуры были получены катионным обменом в гетероструктурах CdSe/CdSe двух типов (ядро/крылья и ядро/оболочка). Другой задачей являлось установление зависимости положения максимума ФЛ от содержания свинца в нанопластинах HgPbTe.

Материалы и методы

Исходные нанопластины халькогенидов кадмия, а также гетероструктуры на их основе были получены с помощью высокотемпературного синтеза методом горячего впрыска. Для проведения последующего катионного обмена в ходе работы были модифицированы методики Галле [2] и Искьердо [3]. В данных подходах используется синтез при невысокой температуре, в котором химическое замещение активируется благодаря эффективному взаимодействию между исходными НП и прекурсором замещающего металла по принципу жестких и мягких кислот и оснований Пирсона. На этом же принципе основываются разработанные методы получения тройных нанопластин халькогенидов ртути и свинца. В обоих случаях основную трудность представляет подбор параметров синтеза (растворителя, солубилизатора, солей, температуры и времени реакции). Варьирование данных параметров влияет на сохранение кристаллической структуры и геометрических параметров в процессе

катионного обмена и допирования. В первой части работы описывается метод получения тройных нанопластин HgPbTe с различным содержанием свинца, где происходит обмен кадмия на ртуть в НП CdTe с последующей реализацией реакции направленного частичного замещения ртути на свинец. Во второй части работы производится катионный обмен кадмия на свинец для получения нанопластин PbSe и гетероструктур химического состава PbSe/PbS двух различных типов: ядро/оболочка и ядро/крылья. Стоит отметить, что сочетание солей было подобрано таким образом, чтобы скорость реакции замещения была одинаковой как для нанопластин так и гетероструктур на их основе. Полученные двумерные нанокристаллы PbSe/PbS сохраняли свои размеры и кристаллическую структуру, не деградируя в процессе замещения.

Основные результаты ВКР

Спектры оптического поглощения и ФЛ (б) и электронномикроскопические изображения (а) исходных нанопластин теллурида кадмия и (в) теллурида ртути представлены на рис. 2.

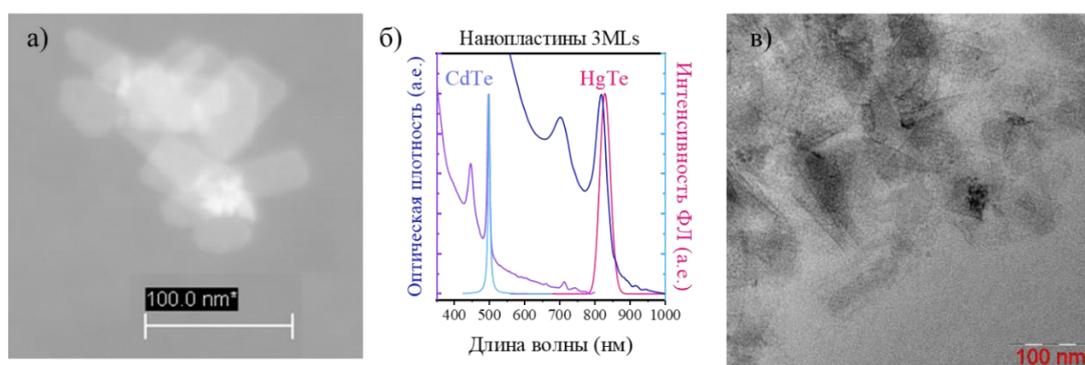


Рис. 2. Оптические характеристики и изображения с электронного микроскопа исходных НП CdTe (б, а) и полученных НП HgTe (б, в)

На изображениях с электронного микроскопа нанопластин CdTe видно, что пластины имеют форму многоугольников с ровной краевой линией и закругленными углами. Аналогичная структура и геометрические параметры сохраняются в процессе катионного обмена и различимы у НП HgTe (рис. 2 (в)). Вид полос поглощения и ФЛ, а также форма полученных катионным обменом НП теллурида ртути (HgTe) напоминают оптические и геометрические характеристики исходных НП теллурида кадмия (CdTe). Например, два острых максимума на спектрах поглощения НП HgTe (рис. 2 (б)) соответствуют двум экситонным состояниям: тяжелая дырка – электрон (820 нм) и легкая дырка – электрон (700 нм). Положение пика ФЛ составляет 830 нм, стоксов сдвиг равен 10 нм, ширина на полувысоте 35 нм. Наследование всех перечисленных оптических свойств говорит об эффективном катионном обмене и отсутствии большого количества дефектов.

Дальнейший сдвиг максимума полосы ФЛ в длинноволновую область спектра был осуществлен с помощью допирования нанопластин HgTe ионами свинца. На рис. 3 представлены изображения с просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) полученных НП HgPbTe с разной степенью допирования, подтверждающие сохранение структуры при внедрении ионов свинца в исходные НП теллурида ртути. Для полученных двумерных нанокристаллов не наблюдается внутренних разрывов и образования побочных структур.

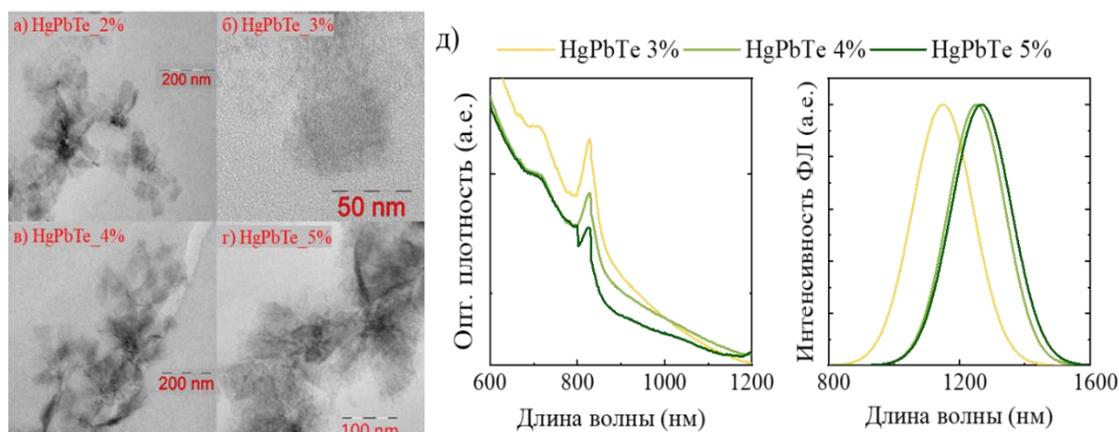


Рис. 3. ПЭМ изображения допированных нанопластин HgPbTe с различным количеством внедренных ионов свинца (а-г) и их оптические характеристики (д)

Оптические характеристики полученных двумерных нанокристаллов HgPbTe с разной степенью допирования представлены на рис. 3(д). Анализ спектров поглощения показал, что при допировании НП HgTe катионами свинца положение экситонных максимумов остается неизменным. Увеличение содержания свинца с 1-2% до 3-5% приводит к уменьшению интенсивности полосы ФЛ, соответствующей исходным НП HgTe, появлению дополнительной полосы ФЛ с центром на длине волны ~1000 нм и дальнейшему сдвигу полосы ФЛ в ИК область спектра до 1280 нм для 5%. При дальнейшем увеличении доли допанта у образцов отсутствуют экситонные полосы поглощения и сигнал ФЛ. Наблюдаемый эффект связан с разрушением структуры.

Исследование температурной зависимости кинетики ФЛ показало сокращение времен жизни ФЛ со снижением температуры, что является следствием эффекта «гигантской силы осциллятора» и, следовательно, подтверждает двумерность получаемых нанокристаллов [4]. Спектры представлены в полном тексте работы.

В следующей части работы были установлены оптические свойства НП PbSe и гетероструктур PbSe/PbS. На рис. 4 представлены СЭМ изображения и оптические характеристики исходных нанопластин CdSe, а также полученных из них методом катионного обмена НП PbSe.

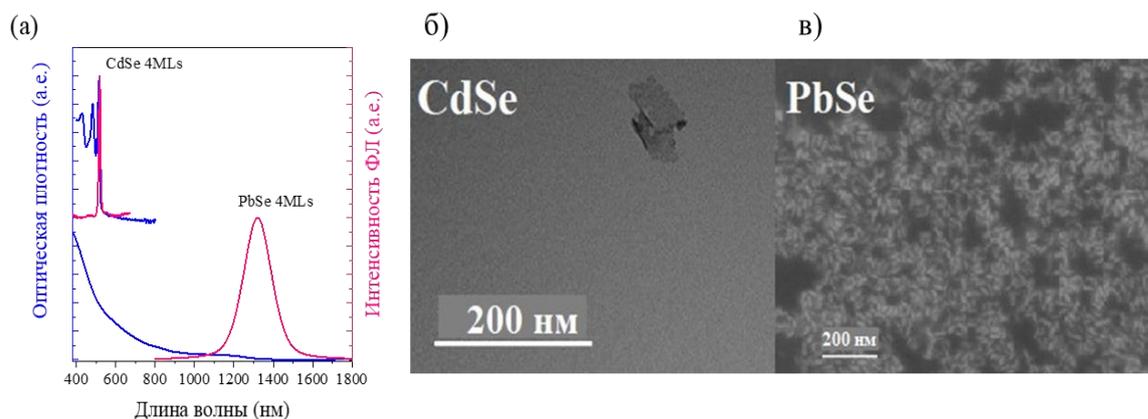


Рис. 4. Оптические характеристики (а) и СЭМ изображения (б, в) НП CdSe и PbSe

Исходные нанопластины CdSe проявляют характерные для данного типа структур оптические свойства. Катионный обмен с получением нанопластин PbSe привел к изменению положения максимума ФЛ, которое составило 1300 нм (рис. 4). В отличие от нанопластин теллурида ртути, НП PbSe не сохраняют экситонную структуру, что

объясняется изменением типа кристаллической решетки в процессе катионного обмена. Несмотря на то, что СЭМ изображения показывают сохранение структуры и геометрических размеров образца (70 на 30 нм), параметры ФЛ и ее асимметрия говорят о наличии поверхностных ловушечных состояний, что подтверждается изменением квантового выхода ФЛ при разных условиях пост-синтетической обработки (~0.4 % в комнатных условиях и ~1.15 % в инертной атмосфере). Большое влияние условий среды объясняется максимальным отношением площади к объему (латеральных размеров к толщине) в ряду п/п нанокристаллов разных размерностей.

АСМ изображения показывают, что полученные нанопластины обладают высокой степенью однородности по толщине. Среднее значение составило 4.1 нм и было вычислено на основе 121 объекта (см. основной текст ВКР).

Далее производилось исследование свойств гетероструктур PbSe/PbS. На рис. 5 представлены спектры поглощения и ФЛ исходных и замещенных гетероструктур в конфигурации ядро/крылья и ядро/оболочка. Гетероструктуры на основе кадмия обладают экситонной структурой аналогичной НП CdSe, при этом тип структуры влияет на квантовый конфайнмент, что сказывается на положении экситонных полос и максимума ФЛ. После проведения катионного обмена гетероструктуры, также как и НП PbSe, не наследуют экситонную структуру исходных НП, вследствие перестройки кристаллической решетки (рис. 5 (б)).

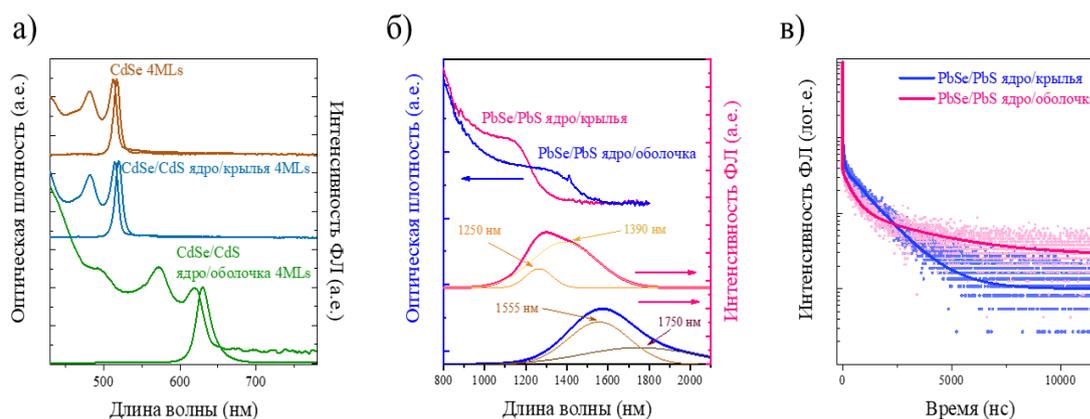


Рис. 5. Оптические характеристики НП CdSe/CdS типа ядро/крылья и ядро/оболочка

Для гетероструктур PbSe/PbS наблюдаются зависимости положения максимума ФЛ от типа структуры, аналогичные кадмиевым нанопластинам. Например, положение максимума ФЛ для замещенных гетероструктур PbSe/PbS типа ядро/крылья совпадает с положением максимума ФЛ для НП PbSe (1300 и 1305 нм, соответственно), в то время как для образца PbSe/PbS ядро/оболочка положение пика ФЛ находится в более длинноволновой области (1600 нм). Асимметричность полос и низкий квантовый выход ФЛ (0,008 для ядро/оболочка и 0,009 для ядро/крылья) гетероструктур PbSe/PbS схожи с параметрами люминесценции НП PbSe, что позволяет сделать вывод о единой природе наблюдаемых явлений. Также для обеих гетероструктур наблюдается типичное увеличение времен жизни относительно НП PbSe, а именно 1180 ± 10 нс и 2450 ± 60 нс для гетероструктур ядро/крылья и ядро/оболочка, соответственно.

Для определения геометрических параметров гетероструктур PbSe/PbS были получены изображения на сканирующем электронном микроскопе, представленные на рис. 6.

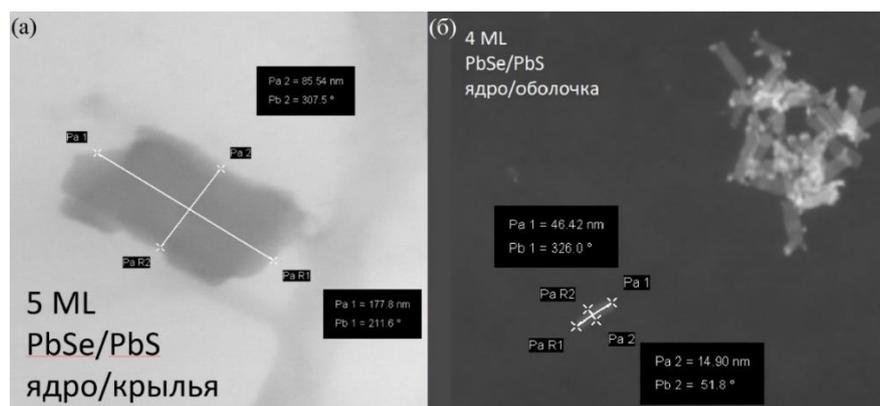


Рис. 6. СЭМ изображения гетероструктур PbSe/PbS ядро/крылья и ядро/оболочка

Нанопластины типа ядро/оболочка имеют геометрию аналогичную НП PbSe, но при этом больший контраст и более ровные края, что говорит об эффективном сохранении формы после катионного обмена. НП PbSe/PbS ядро/крылья имеют большие латеральные размеры по сравнению с НП PbSe и гетероструктурой PbSe/PbS ядро/оболочка (180 на 90 нм против 20 на 50 нм). Это позволяет сделать вывод о том, что замещение хоть и вызвало частичное разрушение на краях, но не привело к полной деградации как ядра НП, так и большей площади «крыльев», сохранив исходную форму.

Таким образом, в ходе выполнения выпускной квалификационной работы были разработаны методики синтеза двумерных НК тройного состава ИК диапазона; продемонстрировано сохранение геометрических параметров нанопластин в процессе проведения катионного обмена и допирования; установлена зависимость положения пика ФЛ от процентного содержания свинца в структуре HgPbTe при сохранении экситонной структуры нанопластин; показаны зависимости оптических свойств от типа гетероструктуры для нанопластин PbSe/PbS, совпадающие с аналогичными корреляциями для халькогенидов кадмия. Полученные результаты открывают возможности для повышения эффективности устройств фотовольтаики, детекторов и солнечных батарей, а также ставят новые цели по более детальному изучению фундаментальных физических механизмов, наблюдаемых в полученных наноразмерных объектах.

Литература

1. Ithurria S. et al. Colloidal nanoplatelets with two-dimensional electronic structure // *Nat. Mater.* Nature Publishing Group, 2011. Vol. 10, № 12. P. 936–941.
2. Galle T. et al. Colloidal PbSe Nanoplatelets of Varied Thickness with Tunable Optical Properties // *Chem. Mater.* American Chemical Society, 2019. Vol. 31, № 10. P. 3803–3811.
3. Izquierdo E. et al. Strongly Confined HgTe 2D Nanoplatelets as Narrow Near-Infrared Emitters // *J. Am. Chem. Soc.* American Chemical Society. 2016. Vol. 138, № 33. P. 10496–10501.
4. Feldmann J. et al. Linewidth dependence of radiative exciton lifetimes in quantum wells // *Phys. Rev. Lett.* American Physical Society, 1987. Vol. 59, № 20. P. 2337–2340.

Соловьева Дарья Николаевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В3464,

направление подготовки: 18.03.02 – Зеленые технологии и ресурсоэффективность,

e-mail: daryasolo1999@mail.ru

Успенская Майя Валерьевна

Белухичев Евгений Валентинович

Год рождения: 1970

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

д.т.н., профессор,

e-mail: mv_uspenskaya@itmo.ru

УДК 691.175.2

**ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА
И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА С ДРЕВЕСНЫМ ЛУБОМ**

Д.Н. Соловьева

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

Аннотация

В ходе работы были получены и проанализированы образцы плёнок, состоящие из поливинилхлорида, полигидроксibuтирата и древесного луба в разных соотношениях компонентов. В результате термомеханического анализа, ИК-спектроскопии и прочности на разрыв образцы показали, что композит можно использовать в промышленных целях и имеет место для дальнейшего исследования.

Ключевые слова

Древесно-полимерный композит, поливинилхлорид, полигидроксibuтират, древесный луб, биodeградация, термомеханический анализ, ИК-спектроскопия.

Изделия из поливинилхлорида (ПВХ) широко распространены во многих сферах деятельности таких как строительство, машиностроение, сельское хозяйство, упаковочная продукция и т.д. [1]. Это связано с тем, что продукция из этого полимера легка в производстве, она получается со сравнительной низкой стоимостью и при этом имеет достаточную прочность, устойчивость к воздействию температур и химических сред. Но после использования бóльшая часть изделий попадают на полигон или выбрасывается. В свою очередь это приводит к загрязнению окружающей.

Один из способов уменьшения вреда является уменьшение доли чистого ПВХ в изделии. Этого можно добиться созданием композитов, которые получают путём смешивания крупнотоннажных полимеров с другими полимерами, древесными наполнителями или наполнителями минеральной природы. Такие композиты должны снизить экологическую нагрузку. Но также они должны соответствовать характеристикам для использования в качестве изделий широкого потребления. Кроме того, каждый наполнитель может по-своему влиять на полимерную матрицу и на свойства композита в зависимости от его природы и от его доли от общей массы. Следовательно, необходимо изучить данный вопрос.

Основными составляющими полученных плёнок является ПВХ. В качестве добавочного полимера использовали сополимер 3-гидроксипропионата (ЗГБ) с 3-гидроксигексаноатом (ЗГГ) и соотношением ЗГБ/ЗГГ = 89/11 (далее ПГБ). Полигидроксипропионат является биоразлагаемым полимером, который получают путём жизнедеятельности микроорганизмов [2]. Но по свойствам он является хрупким, а также не термостабильным в температурах, которые близки к температурам переработке, поэтому он не используется в чистом виде, а добавляют к другим полимерам [3]. Кроме того, в композит был добавлен древесный наполнитель – березовый луб, который является внутренней частью коры деревьев и отходом от деревообрабатывающих предприятий.

Как упоминалось ранее, различные соотношения добавок в композите могут по-разному влиять на его свойства. В результате мы получили девять разных рецептов композитов, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Рецептуры плёнок

Название рецептуры	ПВХ, % масс	ПГБ, % масс	Древесный луб, % масс
Form 1	54	36	10
Form 2	48	32	20
Form 3	42	28	30
Form 4	45	45	10
Form 5	40	40	20
Form 6	35	35	30
Form 7	36	54	10
Form 8	32	48	20
Form 9	28	42	30

Компоненты смешивали с добавлением термостабилизатора (октиллова меркапид), внешней смазки (окисленный полиэтиленовый воск) и внутренней смазки (эфир глицерина). Древесный наполнитель был высушен до влажности 3%, измельчен и просеян. Для наполнения полимерной композиции была отобрана фракция волокна от 0,2 до 200 мкм, так как наиболее мелкие частицы способны более равномерно распределиться в смеси при её вальцевании. Из различных рецептов смесей вальцевым методом были изготовлены пленки при температуре $170 \div 180$ °С с зазором между вальцами около 750 мкм. Для изготовления пленок использовали вальцы производства Schwabenthan Maschinenfabrik Berlin (Германия) типа Polymix 150 U.

ПГБ и древесный луб может деградировать под воздействием микроорганизмов, что может уменьшить загрязнение окружающей среды. Исследование биодegradации полимерных композитных пленок проводилось методом компостирования, описанным в ГОСТ 9.060 – Ткани. Метод лабораторных испытаний на устойчивость к микробиологическому разрушению. Модельный компост для проведения эксперимента состоял из смеси земли и песка в соотношении 1:1, в компост также была добавлена суспензия природных почвенных организмов. Образцы пленок размером 100x70 мм погружались в компост и выдерживались в данной среде при температуре 26 ± 2 °С и относительной влажности $60 \pm 5\%$ в течении 150 дней.

По истечению требуемого времени, пленки отмывались от компоста дистиллированной водой и высушивались при температуре 70°С в течении 18 часов в сушильном шкафу до постоянной массы. После этого все образцы были взвешены на аналитических весах для определения потери массы.

Чтобы рассчитать эффективность биодegradации древесно-полимерных плёнок на основе ПВХ, ПГБ и берёзового луба, было выбрано процентное соотношение потери массы после биодegradации по отношению к общей массе образца до биодegradации.

По внешним характеристикам видно, что биодegradация пошла со стороны разреза, то есть с ребра во внутрь вдоль направления вальцевания. В табл. 2 приведены результаты потери массы.

Таблица 2

Потеря массы после биодegradации

Рецептура плёнки	% потери массы
Form 1	0,9208
Form 2	0,7955
Form 3	2,3526
Form 4	0,3056
Form 5	0,8134
Form 6	1,37
Form 7	0,3497
Form 8	0,6483
Form 9	1,1387

По данным табл. видно, что с увеличением доли древесного луба в композите растёт его биодegradация со временем. При этом видна общая тенденция снижения потери массы с уменьшения доли ПВХ в полимере и с увеличением доли ПГБ.

Прочность – один из важных характеристик полимера и конечного продукта на его основе. Так на универсальной испытательной машине изучили прочностные свойства плёнок до и после биодegradации, а в табл. 3 приведены результаты.

Таблица 3

Прочность при растяжении

Рецептура пленок	Прочность при растяжении, МПа	
	До биодegradации	После биодegradации
Form 1	19,076	37,273
Form 2	13,207	31,382
Form 3	14,164	27,001
Form 4	24,573	40,839
Form 5	20,673	29,205
Form 6	20,589	28,432
Form 7	24,492	33,337
Form 8	20,417	28,316
Form 9	19,964	26,302

С увеличением доли луба в образцах, прочность при растяжении уменьшается. Скорее всего это связано с тем, что берёзовый луб является дисперсным наполнителем с анизотропией размера частиц, которая чаще всего приводит к образованию концентраторов напряжения на границе раздела «наполнитель-полимер».

После биодegradации видно, что прочность увеличилось. Такой скачок может быть вызван уменьшением доли луба в структуре плёнки, которые негативно сказывались на прочностные характеристики.

Кроме того, были проведены термомеханический анализ образцов композитов. Это необходимо для определения температур размягчения и текучести и для подбора температур для термоформирования конечного продукта. Температура текучести представлены в табл. 4.

Таблица 4

Температура текучести

Рецептура плёнки	Температура текучести, °С	
	До биодegradации	После биодegradации
Form 1	94,2	112,2
Form 2	96,7	115,6
Form 3	98,9	117,4
Form 4	101,7	116,9
Form 5	105	119,6
Form 6	112,7	117,6
Form 7	103,4	114,9
Form 8	102,5	119,5
Form 9	106,7	119,8

С увеличением доли ПГБ в композите, температура текучести растёт, но с большим увеличением рост заметно уменьшается. В большинстве случаев с ростом доли луба в полимерной смеси температура размягчения также увеличивается.

Вероятно, лигнин в большом количестве содержащийся в лубе снижает совместимость ПВХ с ПГБ, за счет чего температура текучести растет вместе с ростом содержания ПГБ. Данный факт может негативно сказываться на переработке данных композитов, так как увеличение температуры текучести приводит к увеличению энергозатрат на нагрев узлов оборудования для переработки, и требует больше внешних смазок для получения стабильного потока расплава.

Можно заметить, что температура текучести плёнок после биодegradации во всех случаях увеличивается. Это может быть связано с тем, что ПГБ в результате биодegradации деструктурировал и по большей части текучесть происходит у ПВХ, у которых температура плавления начинается от 150 °С.

На рисунке представлены результаты ИК-спектроскопии образцов рецептуры Form 1 в разные периоды биодegradации.

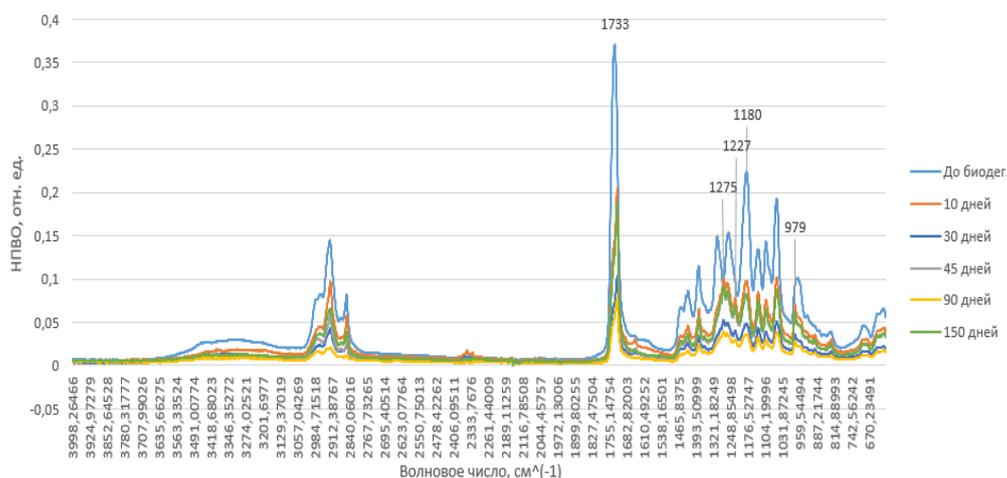


Рисунок. ИК-спектры образцов плёнки Form 1

После биодegradации можно наблюдать, что на ИК-спектрах появляются пики в районах 1275 и 1227, которые наряду с пиком 979 характерны для кристаллической фазы ПГБ. Эти два пика не наблюдаются у образца до биодegradации. Для аморфной фазы ПГБ характерный пик 1180 [4].

В результате работы выяснилось, что разные рецептуры имеют различные характеристики, которые следует учитывать при производстве изделия. Добавление луба в композит может защитить его от внешнего воздействия микроорганизмов на первом этапе дegradации из-за бетулина, который содержится в коре берёзы. Эту особенность стоит учитывать при изготовлении изделий, эксплуатирующихся в экстремальных условиях.

В заключении хочется отметить, что исследование дальнейших этапов дegradации полученных материалов в естественных условиях крайне актуально.

Литература

1. Plastics-the Facts 2019 an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data [Электронный ресурс]; Wemmel-Belgium: Brussels, Belgium. 2019. URL: <https://www.plasticseurope.org/en>. (дата обращения: 24.06.2021).
2. Lee S.Y., «Bacterial polyhydroxyalkanoates. Biotechnol» // Bioeng. 1996. P. 1–14.
3. Lin K-W, Lan C-H, Sun Y-M, «Poly[(R)3-hydroxybutyrate] (PHB)/poly(L-lactic acid) (PLLA) blends with poly(PHB/PLLA urethane) as a compatibilizer» // Polymer Degradation and Stability. 2016.
4. Самуйлова Е.О. Разработка пленочных композиционных материалов на основе поливинилхлорида и полигидроксипропионата: дисс... канд. тех. Наук: 05.17.06: защищена 26.11.2020 [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург. 2020. 290 с. (дата обращения: 24.06.2021).

Сытник Александр Сергеевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3447,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: as.sytnik@mail.ru

Гирик Алексей Валерьевич

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет безопасности технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: avg@itmo.ru

УДК 004.056

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ
СРЕДСТВ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА
ИСПОЛНЯЕМЫХ ФАЙЛОВ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА
НА ПРЕДМЕТ НЕДЕКЛАРИРОВАННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ**

А.С. Сытник

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

Аннотация

В работе предложена архитектура комплекса инструментов, позволяющим производить групповой анализ защищенности больших исполняемых файлов посредством обратной разработки за счет синхронизации действий отдельных исследователей. Был реализован программный прототип и проведено его сравнение с существующими аналогами.

Ключевые слова

Контроль на предмет недеklarированных возможностей, бинарные файлы, информационная безопасность, обратная разработка, групповая работа.

Компьютер – одно из важнейших достижений человека, без него современный мир немислим. Цифровизация общества достигла невероятных масштабов, поэтому преступления в компьютерной сфере обретают широкое распространение. И если атаки с использованием социальной инженерии нацелены на людей, то подавляющее количество остальных типов воздействия относится к компьютерам, в частности к исполняемым на них программам. В 2020 году недостатки и найденные уязвимости, характерные для исполняемых файлов, заняли лидирующие позиции в рейтинге самых распространенных и опасных по версии статистической оценки Mitre CWE [1]. В случае если у исследователя защищенности программного продукта нет исходных текстов, поставленная перед ним задача становится нетривиальной, поиск недеklarированных возможностей (далее – НДВ) занимает много времени, усилий и не всегда позволяет выявить интересующий функционал. При современном уровне компьютеризации исполняемые файлы, поставляемые в виде прошивок, пакетов обновлений, могут иметь колоссальные размеры, что не позволяет провести анализ одному человеку или небольшой группе [3, 4]. В данной работе представлена концепция комплекса инструментальных средств, позволяющих повысить

эффективность и скорость исследования больших исполняемых файлов на предмет НДВ посредством обратной разработки.

Способ и инструмент анализа на предмет НДВ

Одним из способов защиты информации, изначально подразумевающий контроль за наличием НДВ – сертификация ПО, в рамках которой проводятся сертификационные испытания, однако для их проведения необходимы исходные тексты программ. В ситуациях, когда используется проприетарное ПО или сторонний коммерческий продукт, для проведения анализа защищенности нет возможности получить исходные тексты, а в случаях с большими программами нельзя также эффективно использовать фаззинг. Поэтому анализ на предмет НДВ в больших файлах проводится методом обратной разработки.

Базовой составляющей комплекса является базовый инструмент, позволяющий наиболее удобно производить анализ файлов методом обратной разработки, который предоставляет возможность расширения функционала и при этом способен эффективно загружать и работать с большими файлами. В качестве него была выбрана программа IDA Pro, которая единственная из рассматриваемых аналогов способна загружать и анализировать огромные файлы, а также предоставляет удобный интерфейс для расширения функционала на языках C и Python (рис. 1). Также были рассмотрены существующие расширения IDA Pro для организации совместной разработки. Каждый из них обладал недостатками, которые усложняли работу или снижали ее эффективность при работе с большими файлами.



Рис. 1. Преимущества и недостатки аналогов

Архитектура программного комплекса

В процессе разработки были рассмотрены и выбраны следующие необходимые элементы концепции взаимодействия расширения-клиента с базовым инструментом [2]:

1. Способ интеграции с базовым инструментом. Выбрана интеграция посредством плагина, поскольку этот вариант наиболее удобен пользователю: единократное размещение плагина в необходимом месте и автоматическая загрузка.

2. Получение событий. Используется концепция хуков – зарегистрированных функций – обработчиков, вызываемых API. Положительной чертой такого подхода

является возможность подписки плагином на получение определенных событий базового инструмента.

3. Воспроизведение событий заключается в программной генерации изменений и активацией конкретного функционала. Данная процедура состоит в вызове функций API. Но поскольку это может быть сделано чаще всего только из главного потока, то применяется подход подключения к главному потоку и передача ему аргументов через очередь.

Поскольку разрабатываемый комплекс должен работать с большими файлами, то, чтобы снизить нагрузку на синхронизирующий алгоритм и на сеть, все события были разделены на уровни синхронизации, которые пользователь может выбрать. Предоставляемые и поддерживаемые события и их уровни представлены в таблице [4].

Таблица

Функции обработки событий, доступные в IDA Pro

Кол-во	Маска функций	Назначение	Уровень
Класс <code>ida_idp.IDB_Hooks</code> – базовые обработчики			
2	<code>make_code, mak_data</code>	Реализация ручного анализа	Сигнатуры
4	<code>*cmt*</code>	Работа с комментариями	Сигнатуры
10	<code>*func*</code>	Работа с функциями	Сигнатуры
1	<code>renamed</code>	Переименование элементов	Сигнатуры
2	<code>ti_changed, op_type_changed</code>	Изменение локальных типов и операндов ассемблерных команд	Типы
12	<code>*enum*</code>	Изменение структуры и типов перечислений	Типы
18	<code>*struc*</code>	Изменение структур	Типы
13	<code>*segm*</code>	Работа с сегментами	Типы
1	<code>sgr_changed</code>	Изменение регистра сегмента	Типы
Класс <code>ida_idp.IDP_Hooks</code> – программные обработчики			
1	<code>ev_undefine</code>	Удаление информации об объекте	Сигнатуры
<code>ida_hexrays.Hexrays_Hooks</code> – обработчики декомпилятора Hex-Rays			
1	<code>lvar_name_changed</code>	Переименование переменных	Декомпилятор
1	<code>lvar_type_changed</code>	Изменение типов данных	Декомпилятор
1	<code>lvar_mapping_changed</code>	Изменение привязки переменных	Декомпилятор
1	<code>cmt_changed</code>	Работа с комментариями	Декомпилятор
Класс <code>ida_ui.UI_Hooks</code> – обработчики изменения графического расположения			
1	<code>database_inited</code>	Загружен рабочий файл	-

Концепция синхронизирующего алгоритма разделена на клиентскую часть, внедренную в плагин базового инструмента, и серверную (рис. 2). В качестве протокола передачи данных выступает протокол WebSocket, который может быть проксирован веб-серверами и является наиболее удобным для поддержки и проведения дополнительных функций, в частности аутентификации в инициализирующем запросе и шифрования с помощью протоколов SSL/TLS [5]. Данный протокол является более эффективным, чем низкоуровневый транспортный протокол TCP.

На стороне клиента работают 3 типа потоков:

- главный поток, от имени которого воспроизводятся события;
- реализующий асинхронные функции сетевой поток получения и отправки сообщений;

– поток обработки пакетов, который может напрямую обрабатывать события или подключаться к главному потоку.

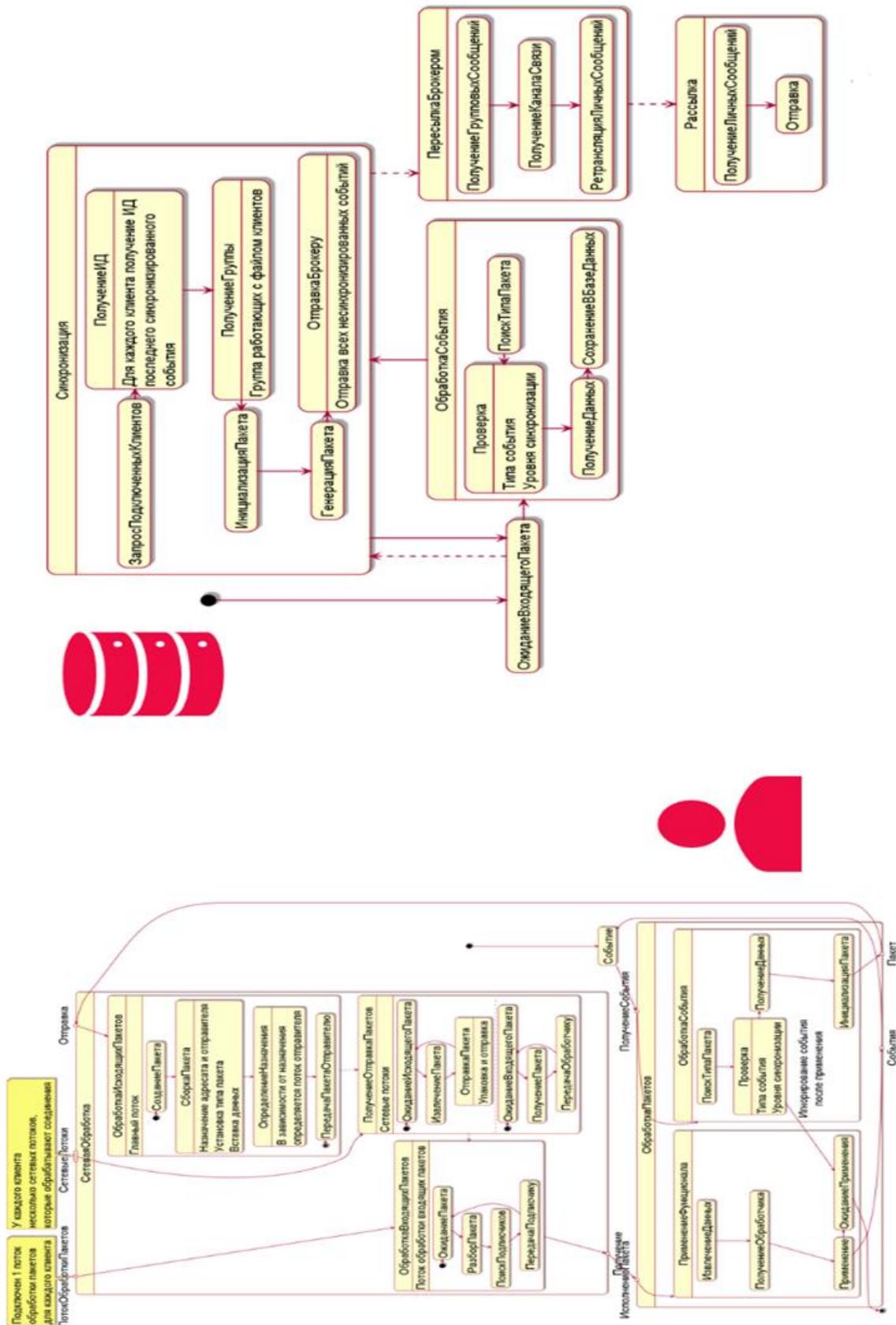


Рис. 2. Диаграмма состояний клиентской и серверной частей алгоритма синхронизации

Со стороны сервера происходит обработка всех подключений сетевых потоков от каждого клиента. Также на серверной стороне обеспечивается работа с проектами и файлами клиентов, аутентификация и разграничение доступа пользователей, возможность резервного копирования и восстановления.

Итоговая архитектура состоит из 4 элементов: клиент в составе базового инструмента, распределительный центр, сервер, база данных (рис. 3). Благодаря подобной архитектуре достигается стабильность, модульность, безопасность и простота администрирования и поддержки. Администрирование сервера осуществляется средствами панели Администратора, однако в силу модульности решения, все составные элементы (веб-сервер, брокер сообщений, база данных) могут администрироваться отдельно в зависимости от реализации и способа организации серверной части.

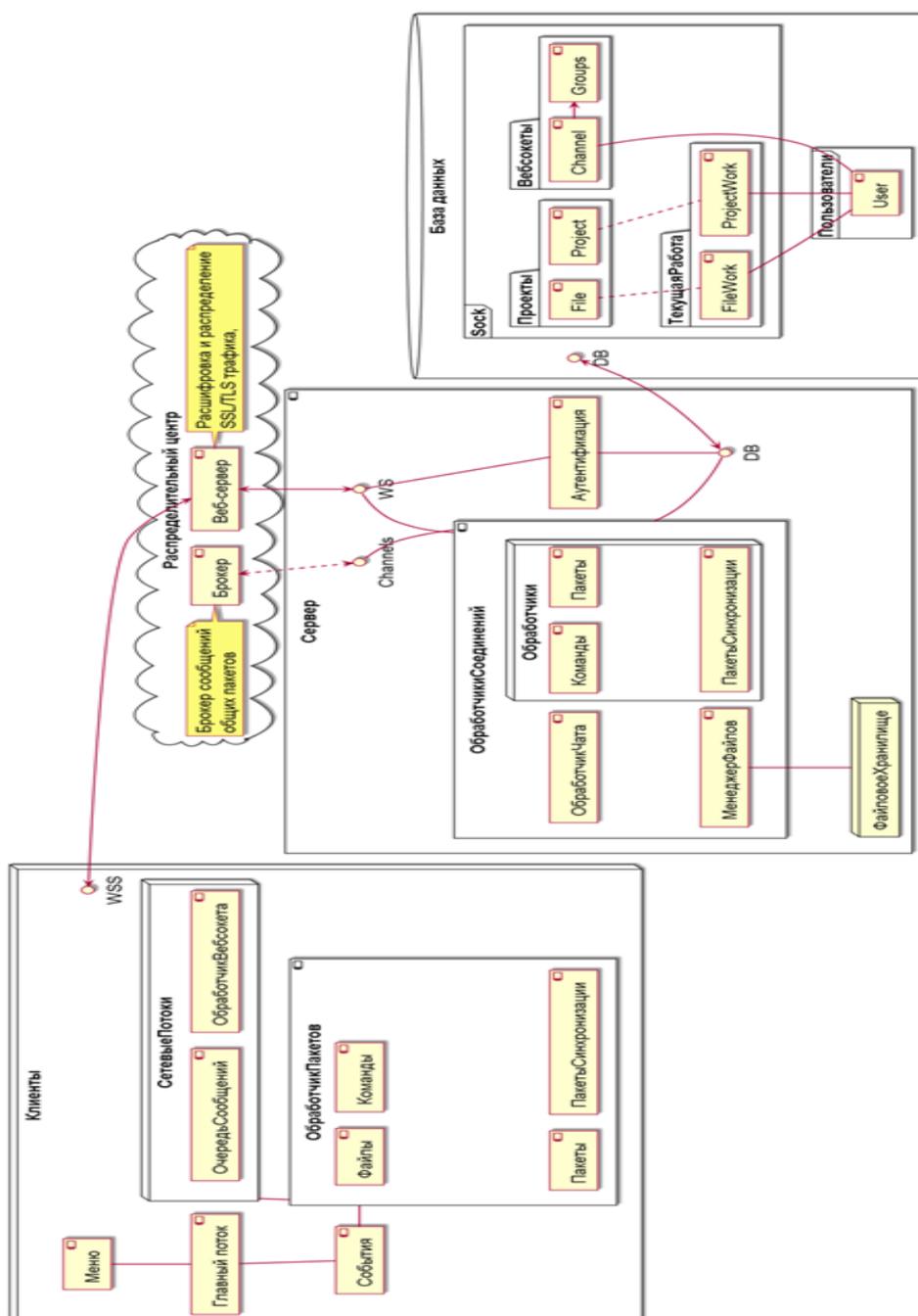


Рис. 3. Диаграмма компонентов разработанного комплекса

Тестирование

Для получения оценки среднего времени синхронизации в условиях тестового стенда было проведено 130 тестов (рис. 4). Зависимость не является линейной, поскольку отправка данных через вебсокет является асинхронной функцией ввода-вывода, а распределением групповых сообщений занимается брокер. Время отправки файла распределено линейно, поскольку отправка блочная и последовательная.

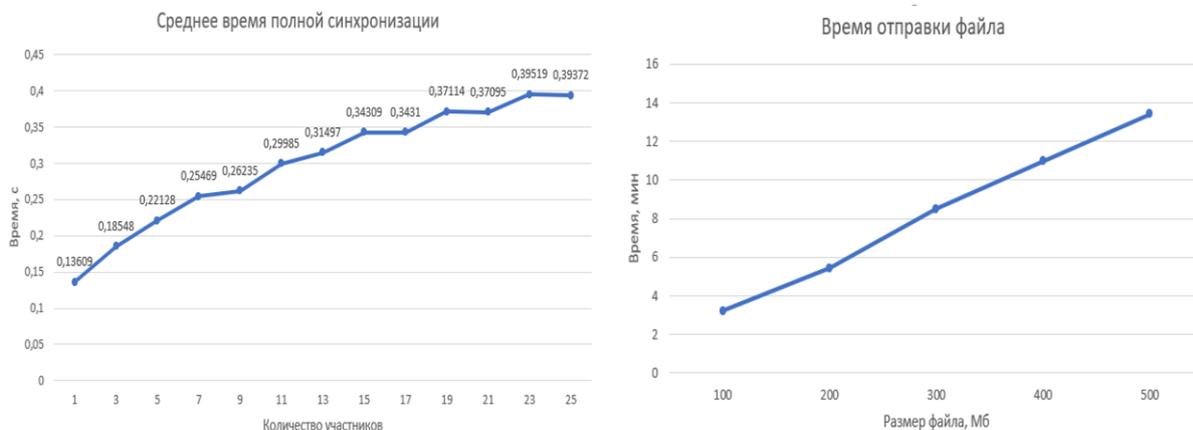


Рис. 4. Результаты моделирования стандартной работы исследователей

По результатам тестирования и повторного анализа аналогов с помощью группового метода экспертной оценки была составлена сравнительная таблица разработанного программного комплекса и наиболее конкурентноспособных решений по 24 параметрам, разбитым на 5 групп (рис. 5).

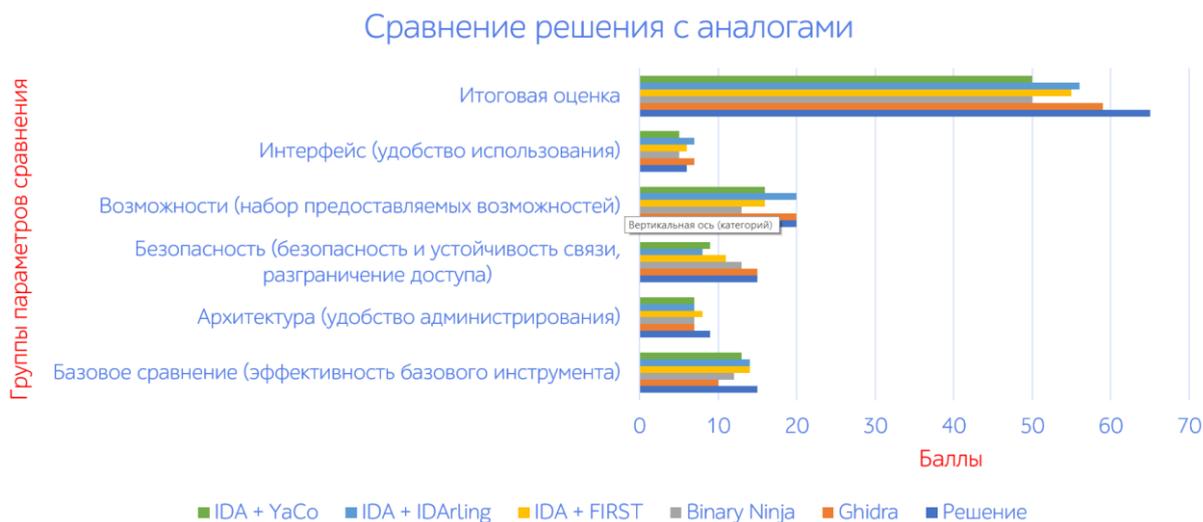


Рис. 5. Результаты сравнения программного прототипа с аналогами

Таким образом, представленное в данной работе решение способно повысить эффективность и скорость анализа защищенности больших программных продуктов за счет предоставления возможности выполнять обратную разработку в команде и безопасно и надежно синхронизировать действия отдельных исследователей. Также оно позволяет производить полноценное администрирование всех его компонентов. Для использования в рамках коммерческого исследования обеспечена дополнительная безопасность в виде шифрования по заранее выданному сертификату, аутентификации, разграничению доступа (назначении исполнителей, владельцев проекта) и выполнения

резервного копирования промежуточных результатов. Изложенные в данной работе концепции и архитектура может быть применена для внедрения функционала совместной работы и в другие решения, не связанные с темой работы.

Литература

1. 2020 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses [Online] // Common Weakness Enumeration (CWE). 2020. 04 15, 2021. https://cwe.mitre.org/top25/archive/2020/2020_cwe_top25.html. (дата обращения: 24.06.2021).
2. Eagle Chris The Ida pro Book, 2nd Edition: The Unofficial Guide to the World's Most Popular Disassembler [Book]. - San Francisco: No Starch Press, 2011. 2nd: p. 672. ISBN 978-1-59-327289-0.
3. IDA Support, Documentation and Tutorials [Online] // Hex-Rays. 02 01, 2021. <https://www.hex-rays.com/products/ida/support/>. (дата обращения: 24.06.2021).
4. Regalado Daniel [et al.] Gray Hat Hacking The Ethical Hacker's Handbook [Book]. - New York: McGraw-Hill Education Group. 2015. 4th: p. 656. ISBN 978-0-07-183238-0.
5. RFC 6455. The WebSocket Protocol [Online]. 02 02, 2021. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc6455>. (дата обращения: 24.06.2021).

Труфанова Анна Александровна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3436,

направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: a_trufanova@itmo.ru

Ведяков Алексей Алексеевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

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

e-mail: vedyakov@itmo.ru

УДК 681.5.017

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ
ТРАЕКТОРИИ ЧЕРЕЗ СИНГУЛЯРНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ
АРТИКУЛИРОВАННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

А.А. Труфанова

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

Аннотация

В работе представлен автореферат дипломной работы, где содержится обзор алгоритмов планирования траекторий, решения ОЗК для артикулированных манипуляторов, а также способы выявления сингулярных конфигураций, описаны их виды. Для определения ориентации рассматривались углы Эйлера и пространство кватернионов, после чего описаны алгоритмы интерполяции: линейной и сферической. После исследования проведено моделирование в среде Matlab некоторых из обозреваемых алгоритмов, определены их особенности и возможные прикладные задачи для использования.

Ключевые слова

Робот-манипулятор, манипуляционный робот, планирование траекторий, операционное пространство, сингулярные конфигурации, кватернионы.

Введение

Роботы манипуляторы или манипуляционные роботы применяются в настоящее время в достаточно широком спектре задач [1], связанном с промышленным производством, медициной, операторской работой, социальным взаимодействием и помощью, космическими исследованиями, также имеется тенденция к развитию в сфере услуг [3].

Отдельно стоит рассмотреть и непосредственно задачу манипулирование объектом, и для большего спектра отдельных подзадач наиболее оптимальным устройством всё ещё остаётся «человеческая рука». Отчасти за счет этого факта артикулированные манипуляторы, условно разделяемые на три составные части своей кинематической цепи: плечо, локоть и кисть, содержащие вращательные звенья последовательной кинематики, – занимают значительную часть ниши как промышленной, так и медицинской робототехники [4, 5].

Переходя от механики устройства, в данном случае робота-манипулятора, непосредственно к его управлению, можно выделить подзадачу планирования пути, возникающую на различных этапах управления. Решением такой подзадачи является оптимальный по заданным критериям путь из начальной конфигурации манипулятора в заданную конечную конфигурацию, находясь при этом в некотором заданном рабочем пространстве. Если при этом путь является параметризованной функцией времени, то также решается задача планирования траектории движения.

Между тем, при решении задач планирования и управления в некоторый момент возникает проблема неоднозначности перехода из операционного пространства в конфигурационное. Эта проблема также известна как возникновение сингулярных положений – конфигураций, в которых матрица преобразований пространств Якоби имеет неполный ранг

$$\text{rank}[J(q^*)] < \min(6, n), \rightarrow \det[J(q^*)] = 0, \quad (1)$$

где J – матрица Якоби в сингулярной конфигурации q^* .

При бесконечном множестве решений нельзя однозначно определить скорости и силы, что говорит о нерешенности как обратной задачи кинематики, так и дифференциальной обратной задачи, а следовательно является проблемой в задачах как силомоментного, так и позиционного управления.

Обычно проблема решается избеганием подобных конфигураций, что достигается как заранее спланированными траекториями, не содержащими сингулярных положений, так и законами управления, предотвращающими попадание робота в них. Однако, в задачах, где требуется непрерывная плавная работа в максимально возможной рабочей зоне: покраска, сварка, киноиндустрия, – подобные ограничения считаются нежелательными.

Также стоит отметить, что общего аналитического решения поставленной проблемы на данный момент не существует. Однако разработано достаточно большое количество способов разрешения частных ситуаций, чаще всего численными методами.

Описание методов

Одним из таких способов является описание операционного пространства манипулятора с помощью математического аппарата кватернионов [2].

Поворот задается кватернионом

$$q = \left[\cos\left(\frac{\theta}{2}\right), \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right], \quad (2)$$

где q – кватернион поворота вокруг вектора \vec{d} на угол θ .

Линейное перемещение задается пространственным вектором и вычисляется следующим образом

$$t = \tilde{q} + p - q \otimes p \otimes q^*, \quad (3)$$

где t – вектор линейных перемещений, p – положение до преобразований, \tilde{q} – заданное смещение.

По аналогии с последовательными преобразованиями в матричном представлении, можно записать последовательные операции в кватернионном представлении

$$q_{1n} = q_1 \otimes q_2 \otimes \dots \otimes q_n,$$

$$q_{1n}^0 = q_{1n-1} \otimes p_n \otimes q_{1n-1}^* - q_{1n} \otimes p_n \otimes q_{1n}^* + q_{1n-1}^0. \quad (4)$$

Тогда ориентация задается

$$l_{o+1} = q_{qn} \otimes l_0 \otimes q_{1n}^*, \quad (5)$$

а положение

$$p_{ep+1} = q_{qn} \otimes p_{ep} \otimes q_{1n}^* + q_{1n}^0. \quad (6)$$

Использование аппарата кватернионов позволяет избегать такую проблему как “складывание рамок” (Gimbal lock), когда при представлении ориентации конечного инструмента с помощью углов Эйлера, оси вращения приходят в одну плоскость, буквально “склеиваются”, после чего невозможно определить, какое из отклонений по ним заносится в ориентацию.

Также стоит отметить и метод регуляризации матрицы Якоби [3], он является уже численным способом. Здесь взамен матрицы Якоби для преобразования скоростей используется матрица E, составленная посредством введенного генератора

$$\xi = \begin{bmatrix} \hat{\omega} & v \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где $\hat{\omega}$ – кососимметрическая матрица угловых скоростей вокруг осей x, y, z , определяемая соотношением

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \rightarrow \hat{\omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Тогда дифференциальная прямая задача записывается следующим образом

$$\begin{bmatrix} v_e \\ \omega_e \end{bmatrix} = [\xi_1 \quad \xi_2 \quad \dots \quad \xi_n] \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \vdots \\ \dot{\theta}_n \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где v_e – линейная скорость конечного инструмента, ω_e – угловая скорость конечного инструмента, θ_i – скорость соответствующего i -го звена манипулятора. И соответственно обратная дифференциальная задача выражается в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{\theta}_n \end{bmatrix} = [\xi_1 \quad \xi_2 \quad \dots \quad \xi_n]^+ \cdot \begin{bmatrix} v_e \\ \omega_e \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где $+$ – оператор псевдообращения.

Моделирование

Средой для выполнения моделирования была выбрана среда Matlab за счет возможности библиотеки RoboticsToolbox и большого количества удобных численных вычислений. Для апробации алгоритмов использована модель артикулированного шестизвенного манипулятора UR5e, параметры которого в соглашении Денавита-Хартенберга [1] указаны в таблице ниже.

Таблица

ДН-параметры манипулятора UR5e

Звено i	θ_i , рад	a_i , м	d_i , м	α_i , рад
1	π	0	0.1625	$\pi / 2$
2	0	-0.4251	0	0
3	0	-0.3922	0	0
4	0	0	0.1333	$\pi / 2$
5	0	0	0.0997	$-\pi / 2$
6	0	0	0.0996	0

Сперва выполнялось планирование по двум опорным точками, после чего проводилась проверка работы алгоритма планирования и соответствия численной модели. Далее задавалось 4 опорных точки (всего получается 5 точек траектории, поскольку точка начала и конца совпадают), их положение и ориентация

$$P_{way} = [P_{way0} \quad P_{way1} \quad \dots \quad P_{way5}] = \begin{bmatrix} 0.8173 & 0.7173 & 0.6173 & 0.7173 & 0.8173 \\ 0.1915 & 0.3915 & 0.1915 & -0.0086 & 0.1915 \\ 0.1945 & 0.3945 & 0.0945 & 0.3945 & 0.1945 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$O_{way} = [O_{way0} \quad O_{way1} \quad \dots \quad O_{way5}] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\pi}{8} & 0 & -\frac{\pi}{8} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Визуализацию заданных точек в рабочем пространстве манипулятора UR5e в среде моделирования Matlab можно увидеть на рис. 1.

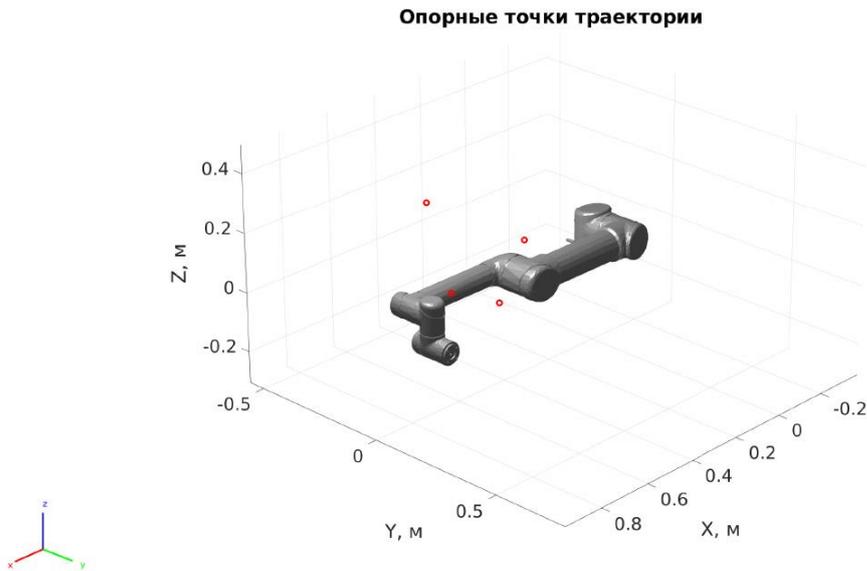


Рис. 1. Промежуточные точки пути манипулятора

Выполняется планирование траекторий между ними с использованием как линейной интерполяции, так и сферической с использованием кватернионов. Одной из задач планирования является нахождение положений звеньев манипулятора в определенные моменты времени, для траекторий они выглядят следующим образом (рис. 2, 3).

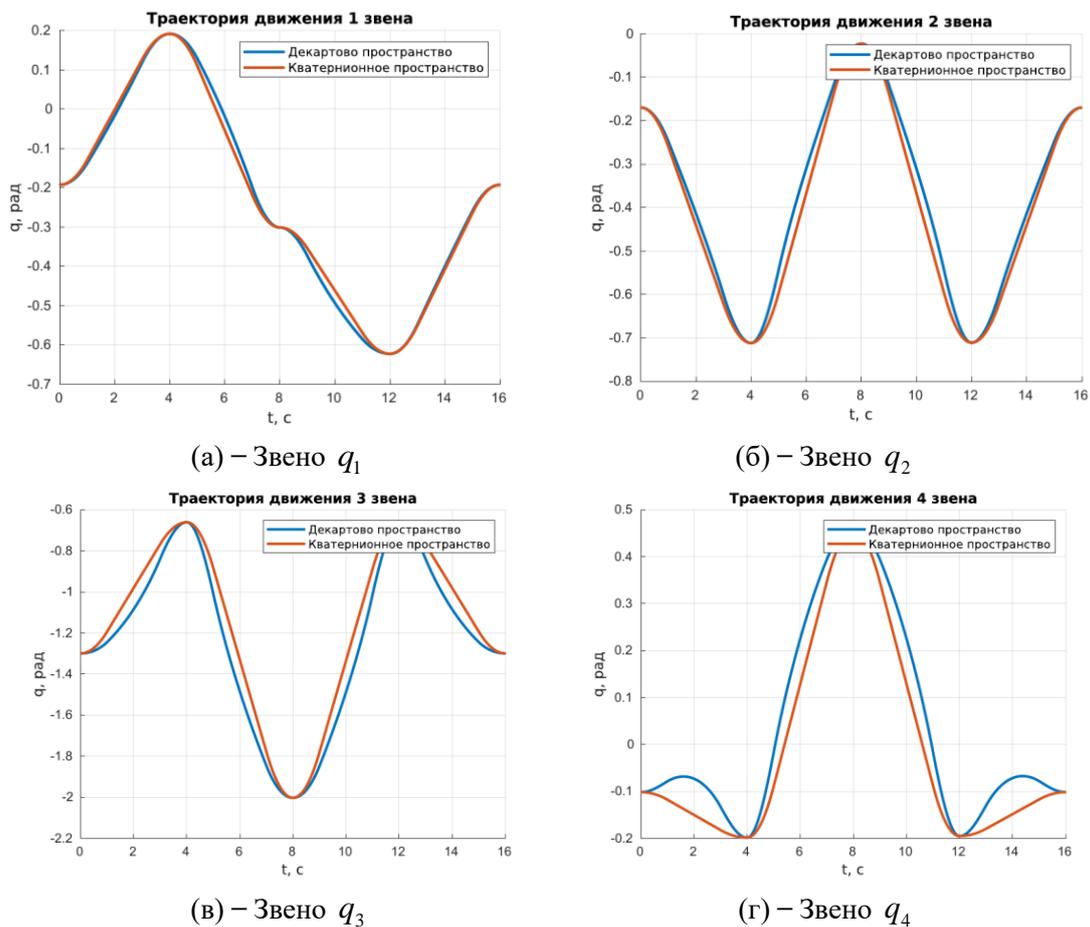


Рис. 2. Линейная, сферическая интерполяции, с использованием кватернионов

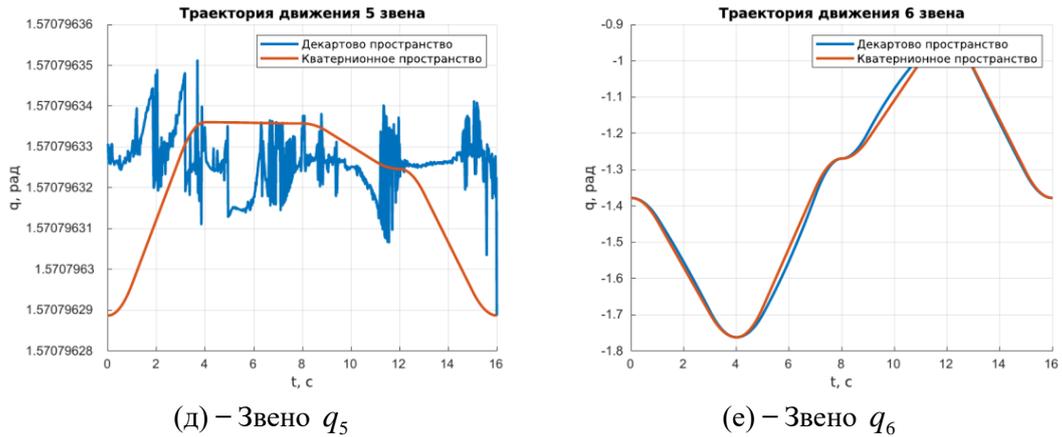


Рис. 3. Положение звеньев манипулятора

Можно заметить, что в целом траектории движения отличаются незначительно, однако для большинства звеньев траектории, составленные при использовании аппарата кватернионов имеют меньше точек перегиба, что говорит о большей предсказуемости поведения системы. Для 5-го звена также заметно меньшее колебание при малых изменениях угла поворота (рис. 4).

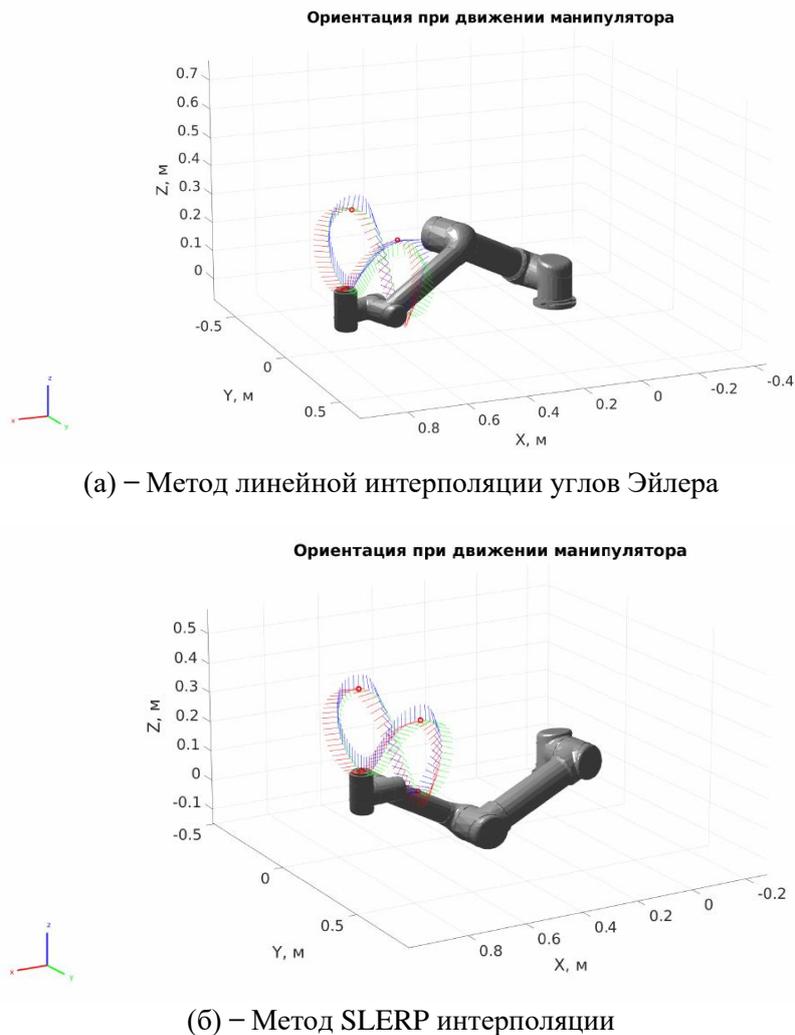


Рис. 4. Ориентация конечного инструмента на заданной траектории

При переходе от второй точки к третьей на рис. 2 становится заметно, что при интерполяции углов Эйлера из-за их строгой последовательности поворотов конечный инструмент делает почти полный оборот вместо поворота в другую сторону, как в случае с интерполяцией кватерниона.

Заключение

В ходе выполнения работы был проведен анализ существующих решений задачи планирования траекторий для роботов-манипуляторов, а также алгоритмов решения прямой и обратной задач кинематики в сингулярных конфигурациях. В обзоре разобран алгоритм регуляризации матрицы Якоби, позволяющий с помощью введения генераторов перестроить матрицу Якоби и получать значения скоростей вблизи сингулярных конфигураций. Также рассмотрены представления кинематики артикулированного манипулятора в пространстве единичного и двойного кватернионов, что позволяет снизить количество возникающих сингулярных конфигураций. В дополнение произведен краткий обзор алгоритмов, позволяющих избегать неопределенности кинематики.

На основании различий и особенностей были отобраны три алгоритма и проведено их численное моделирование в среде Matlab, для чего была описана кинематическая модель артикулированного шестизвенного манипулятора UR5e в терминах ДН - параметров, положений и скоростей робота.

После выявлены достоинства и недостатки рассматриваемых алгоритмов и рассмотрена целесообразность использования данных алгоритмов в различных задачах.

Литература

1. Denavit J., Hartenberg R., A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices, *Trans ASME J. Appl. Mech.* 23: pp. 215–221. 1955.
2. Aspragathos N.A. and Dimitros J.K. A comparative study of three methods for robot kinematics, *IEEE*, pp. 135-145. 1998.
3. Drexler D., Harmati I., Regularized Jacobian for the differential inverse positioning problem of serial revolute joint manipulators, *IEEE*, pp. 289-294, 2013.
4. Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M., *Robot modeling and control*. Wiley New York, 2006.
5. Yang Liu, Zongwu Xie, Yikun Gu, Chunguang Fan, Xiaoyu Zhao and Hong Liu, Trajectory planning of robot manipulators based on unit quaternion, *IEEE AIM*, pp. 1249-1254. 2017.

Царев Иван Павлович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3449,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: ivantsaryok@yandex.ru

Гирик Алексей Валерьевич

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н, доцент,

e-mail: avg@itmo.ru

УДК 004.056

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ОТПЕЧАТКОВ БРАУЗЕРОВ**

И.П. Царев

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

Аннотация

Разработано средство идентификации пользователей веб-приложений на основе отслеживания цифровых отпечатков браузеров, точность и скорость которого выше, чем аналогичных средств. Также в разработанном средстве реализован кроссбраузерный механизм отслеживания, который позволяет расширить возможности использования уникального идентификатора на основе цифровых отпечатков и идентифицировать пользователей веб-ресурса даже при использовании разных браузеров.

Ключевые слова

Идентификация, цифровые отпечатки браузеров, веб-приложения, кроссбраузерность, уникальный идентификатор.

Количество пользователей сети Интернет растет с каждым годом и в январе 2021 года составило 4,66 млрд человек, что составляет 59,5% населения планеты [1]. Соответственно, технологии для удобства пользования веб-приложениями развиваются с удивительной скоростью. А чтобы предоставлять быстрые, качественные и удобные услуги, веб-сайты требуют знаний о среде и окружении посетителя. С помощью различных API и технологий, которые были созданы, современные браузеры свободно предоставляют подробную информацию о конфигурации аппаратного и программного обеспечения, позволяя веб-сайтам лучше использовать ресурсы пользователя. Однако этот процесс может выявить внушительное количество информации о программной и аппаратной среде и, в конечном счете, может быть использован для создания уникального идентификатора.

Владельцы веб-приложений стремятся собрать как можно больше данных о пользователях и сформировать их уникальный профиль для:

- предотвращения несанкционированного доступа;
- внутренней аналитики и улучшения своего сервиса;
- создания и демонстрации персонализированной рекламы;

– продажи данных другим заинтересованным сторонам.

Более 90% сайтов Alexa Top 500 и 10,18% сайтов Alexa Top 100K на законных основаниях отслеживают действия пользователей с применением сбора цифровых отпечатков браузера [2, 3]

Пользователь, стремящийся избежать слежки при посещении веб-приложений, должен пройти три этапа. Для начала придется найти соответствующие настройки, которые позволяют сайтам использовать файлы cookie для необходимых функций пользовательского интерфейса, но предотвращают другие виды отслеживания. Второй этап сложнее: узнать обо всех видах supercookie, возможно, включая некоторые довольно малоизвестные типы и найти способы их отключения. Найдется достаточное количество людей, которое успешно справится с этими двумя этапами, дальше придется столкнуться с третьей проблемой - цифровые отпечатки браузера.

Цифровой отпечаток браузера – идентификатор, созданный с помощью объединения системных свойств [4]. Эти свойства могут быть получены пассивно из клиентских HTTP-заголовков (например, строки или языка пользовательского агента) и активно использовать клиентский скрипт для сбора информации, такой как разрешение экрана или плагина. В отличие от файлов cookie, которые представляют собой идентификаторы с отслеживанием состояния, хранящиеся на стороне клиента, снятие отпечатков пальцев считается методом без отслеживания состояния [5, 6]. Процесс снятия цифровых отпечатков невидим для пользователей, и поэтому они не знают о запросах трекеров и лежащей в их основе логике. Кроме того, в отличие от идентификаторов на стороне клиента (например, cookie) такой сбор данных не оставляет никаких следов в браузере. Эти особенности делают цифровые отпечатки браузеров надежным источником идентификации пользователя.

Схематичное описание процесса сбора цифровых отпечатков браузера представлено на рисунке. Когда пользователь посещает веб-ресурс, он отправляет GET запрос на сервер для получения требуемой страницы. Получив этот запрос, сервер отправляет ответ, содержащий содержимое запрашиваемой страницы. Дополнительный скрипт для снятия отпечатков пальцев включается в возвращаемый HTML-код в виде файла JavaScript. После того, как страница была загружена, скрипт для снятия отпечатков пальцев могут выполняться для сбора различных свойств браузера пользователя. После выполнения скрипта необходимо передать собранные данные на сервер. Некоторые из скриптов для сбора цифровых отпечатков передают веб-серверу весь список свойств, в то время как другие просто вычисляют хэш, который затем и передается. После получения цифрового отпечатка сервер также может собирать HTTP-заголовки, связанные с GET или POST запросами, используемыми для отправки, добавлять эти свойства к уже имеющимся и затем хранить отпечаток в базе данных (рисунок).

Стоит отметить, что все варианты сбора цифровых отпечатков браузеров основаны на том, что некоторые методы реализуются по-разному в разных системах, а некоторые могут не реализовываться вообще. Когда функция недоступна, значение остается неопределенным или нулевым. Исходя из предположения, что при одинаковых условиях разные браузеры будут реагировать по-разному, следует всегда хранить сообщение об ошибке, генерируемое браузером, и включать его в состав цифрового отпечатка.

В ходе исследования были выделены атрибуты браузера, которые собираются или могут быть собраны в настоящее время.

1. Свойства экрана. Эта категория свойств предоставляет информацию, которая может быть надежно использована в качестве функций для сбора цифровых отпечатков браузеров, поскольку они редко меняются при регулярном использовании веб-браузера. Значение этих функций может быть изменено только путем изменения дисплея или

изменения низкоуровневых настроек дисплея, что делается довольно редко.

2. Особенности браузера. Это те функции, которые отражают возможности, настройки, плагины, доступные API хранения данных и другие подобного рода свойства браузера.

3. Системные свойства. Эти атрибуты тесно связаны с операционной системой и аппаратными свойствами и включают в себя различную аппаратную информацию и низкоуровневые системные настройки.

4. Аппаратные свойства. Большая часть информации об оборудовании, используемом для запуска браузера, может быть доступна через JavaScript, и эти значения часто трудно изменить. Например, пользователи не могут вручную заменить процессор внутри своего ноутбука.

5. Заголовки HTTP. Эти заголовки представляют собой дополнительную информацию, передаваемую с каждым HTTP-запросом между сервером и клиентом (где в данной ситуации клиент является браузером), используемые для передачи рабочих параметров по протоколу HTTP. Это единственная категория свойств, используемая для формирования цифровых отпечатков браузеров, сбор которых происходит на стороне сервера. Необходимо использовать HTTP-запрос, отправленный со стороны клиента, для передачи всех данных для формирования цифрового отпечатка. Далее нужно прочитать заголовки этого HTTP-запроса и объединить их с остальными свойствами, собранными на стороне клиента (рисунок).

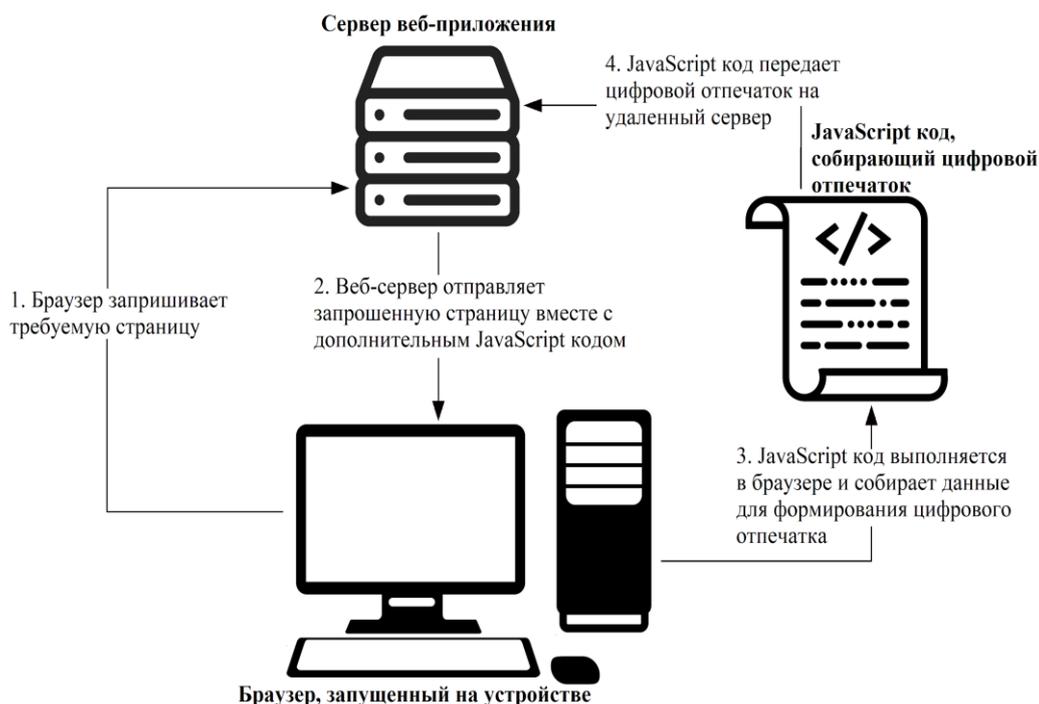


Рисунок. Схематичное изображение процесса сбора цифровых отпечатков

Разрабатываемое в данной работе средство идентификации пользователей предназначено для внедрения в разрабатываемое или уже разработанное веб-приложение. Для демонстрации функционирования разработанного средства было создано веб-приложение, состоящее из списка атрибутов браузеров, доступных для сбора и конкретные значения этих атрибутов для устройства, с помощью которого был выполнен запрос.

Одним из важных нюансов заключается в том, что совершенно не обязательно отправлять на сервер и хранить все свойства и значения, полученные от пользователя в

результате идентификации. Наиболее распространенным и эффективным способом экономии ресурсов при передаче и хранении является использование хеш-функций. В данном случае к хеш-функции выдвигаются два главных требования: скорость и качество хеша. Под качеством хеша здесь понимается то, что выходные значения имеют равномерное распределение, чтобы обеспечить минимальную вероятность коллизий. Поскольку свойства браузеров не обладают никакой конфиденциальной составляющей, особых требований по безопасности к хеш-функции в данном случае не предъявляется. В случае необходимости безопасного хранения полученных цифровых отпечатков уже на сервере полученные идентификаторы могут быть повторно подвержены хешированию, но уже с помощью криптографической хеш-функции, обеспечивающей безопасность данных и невозможность получения исходных данных пользователей при наличии самих идентифицирующих строк.

Технологии, позволяющие удобно и качественно получать услуги в сети Интернет, постоянно развиваются, поэтому поддерживаемые и развивающиеся средства идентификации зачастую используют идентичные методы для сбора одних и тех же свойств, поэтому и точность идентификации конкретного свойства у них должна совпадать. Но при использовании дополнительных методов, например, при применении кроссбраузерного подхода, что и было реализовано в разработанном средстве, появляется возможность повысить точность идентификации. Для количественной оценки точности средств идентификации зачастую используют энтропию для каждого собранного свойства, рассчитанную после сбора обширного количества отпечатков. Такой подход позволяет оценить точность конкретного свойства условиях, максимально приближенных к реальным, когда количество цифровых отпечатков превышает сотни тысяч, а порой и миллионы штук. При таких масштабах свойства, полученные в процессе идентификации у разных пользователей несомненно начнут совпадать, но с разной долей вероятности в зависимости от конкретного свойства. Для таких случаев как раз и нужна энтропия, позволяющая понять, насколько информативным является то или иное свойство. Чем она выше, тем более уникальным и идентифицируемым будет цифровой отпечаток.

Энтропия рассчитывается по формуле:

$$H(X) = - \sum_i P(x_i) \log_b P(x_i), \quad (1)$$

где H – энтропия, X – дискретная случайная величина с возможными значениями $\{x_1, \dots, x_n\}$ и $P(X)$ – функция вероятности.

Все изученные исследовательские работы основываются на энтропии Шеннона, где $b = 2$ и результат посчитан в битах.

Для сравнения полученных данных с данными, собранными другими исследователями используют нормализованную версию энтропии Шеннона:

$$H_{\text{норм}} = \frac{H(X)}{H_M} = \frac{- \sum_i P(x_i) \log_2 P(x_i)}{\log_2 N}, \quad (2)$$

где H_M представляет сценарий, когда энтропия максимальна и все значения атрибута уникальны, а N – количество собранных цифровых отпечатков.

Также точность идентификации пользователей может быть посчитана как отношение уникальных цифровых отпечатков к общему числу собранных.

Оценка точности разрабатываемого средства опирается на исследование, касающееся оценки точности идентификации при кроссбраузерном подходе и без него [6]. После сбора необходимых данных и их анализа по формуле (1) была посчитана энтропия каждого собранного свойства. При нормализации полученных значений

энтропии по формуле (2) точность идентификации разработанного средства превышает точность аналогов, протестированных таким же образом.

Однако такие проекты были созданы в научных целях некоторое время назад и на данный момент не поддерживаются или не имеют свежих данных о результатах работы. Поэтому также было произведено сравнение с поддерживаемыми средствами, использующимися веб-приложениями для идентификации пользователей не только в научных целях. Такими средствами являются FingerprintJS2 и ClientJS.

Создатель FingerprintJS2 заявил, что точность идентификации его средства составляет 94-95%. По ClientJS информации о точности найти не удалось. Но, судя по имеющейся документации, можно наблюдать, что атрибуты браузеров, включенные в состав цифрового отпечатка, совпадают с атрибутами, представленными в проекте “AmIUnique”, где точность составляла 90%.

Если под уникальностью понимать процент уникальных цифровых отпечатков от общего числа, то разработанное в ходе данной работы средство может однозначно идентифицировать 99,24% пользователей для одного браузера и 83,24% для различных браузеров. Для сравнения точности при использовании кроссбраузерного подхода на момент написания этой работы рабочих аналогов не нашлось, а найденные ранее данным функционалом не обладают.

В табл. 1 представлены результаты сравнения точности средств идентификации.

Таблица 1

Сравнение точности разработанного средства с аналогами

Средство идентификации	FingerprintJS2	ClientJS	Разработанное средство	Результат
Точность идентификации (один браузер)	94-95%	Не указано (≈90%)	99,24%	Повышение точности на 5-9%
Точность идентификации (различные браузеры)	0%	0%	83,84%	Расширение возможностей идентификации

Как уже было отмечено, происходит постоянное развитие технологий пользования сетью Интернет, поэтому атрибуты и методы, используемые для идентификации пользователей веб-приложений, постоянно меняются. Неизменным остается лишь использование хеширования для получения короткого идентификатора, не требующего обширных затрат на передачу и/или хранение. Также методы сбора определенных свойств на одном и том же этапе развития технологий часто совпадают. Поэтому для оценки скорости наиболее объективным представляется сравнение используемых хеш-функций.

Для сравнения скорости были найдены реализации хеш-функций, доступные для использования в браузере, и создана веб-страница, имитирующая реальный веб-ресурс. Суть теста заключалась в хешировании цифрового отпечатка 10000 раз. Хеширование реального цифрового отпечатка позволяет оценить скорость хеш-функций на определенной, необходимой в работе средства длине входной строки. Время засекалось с помощью метода Date.now(), возвращающего количество миллисекунд, прошедших с 1 января 1970 года 00:00:00 по UTC. Время выполнения вычислялось путем разности между концом и началом выполнения теста.

В качестве хеш-функций использовались как известные, нацеленные на безопасность криптографические хеш-функции, так и нацеленные на скорость некриптографические хеш-функции и циклические избыточные коды. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение скорости различных хеш-функций

Название хеш-функции	Разрядность	Время выполнения (мс)	Скорость (хешей/мс)
MurmurHash (32)	32	109	92
MurmurHash (128)	128	1518	7
XXHash32	32	220,9	45
XXHash64	64	231,1	43
SipHash	64	629,9	16
SipHashDouble	128	845,3	12
FNVhash	32	178,7	56
CRC32	32	95,9	104
BLAKE2s	256	312,9	32
MD4	128	235	43
MD5	128	2663,9	4
SHA1	160	692,5	14
SHA256	256	223,9	45

FingerprintJS2 с недавнего времени в качестве хеш-функции использует 128-разрядный, а ClientJS – 32-разрядный MurmurHash. Разработанное средство имеет возможность использования двух хеш-функций: CRC32 и SHA256. В таком случае наиболее справедливым будет сравнение «коротких» хеш-функций одинаковой разрядности: 32-разрядного MurmurHash и CRC32. Тогда разработанное средство оказывается быстрее на 13%. «Длинный» 128-разрядный MurmurHash лучше сравнить с SHA256. При таком сравнении разработанное средство быстрее почти в 6,5 раз. Результаты сравнения скоростей представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение скорости разработанного средства с аналогами

Название средства	«Длинный» хеш		«Короткий» хеш	
	FingerprintJS2	Разработанное средство	ClientJS	Разработанное средство
Название хеш-функции	MurmurHash (128)	SHA256	MurmurHash(32)	CRC32
Скорость (хешей/мс)	7	45	92	104
Результат	Увеличение скорости в 6,43 раз		Увеличение скорости на 13%	

В ходе выполнения работы было сделано следующее:

- проведен анализ существующих средств идентификации;

- выбраны атрибуты и методы для формирования цифрового отпечатка;
- разработано средство идентификации пользователей веб-приложений;
- проведена оценка эффективности созданного средства.

Цель работы – повышение точности и скорости идентификации пользователей веб-приложений на основе отслеживания цифровых отпечатков браузеров была достигнута.

Литература

1. Hootsuite and We Are Social. 2021. Digital 2021: Global overview report.
2. Roesner F., Kohno T., and Wetherall D. Detecting and defending against third-party tracking on the web // Proceedings of the 9th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation, NSDI'12. 2012. P.12–12.
3. Iqbal U., Englehardt S., Shafiq Z. Fingerprinting the Fingerprinters: Learning to Detect Browser Fingerprinting Behaviors // arXiv preprint arXiv:2008.04480. 2020.
4. FaizKhademi A., Zulkernine M., Weldemariam K. FPGuard: Detection and Prevention of Browser Fingerprinting // Data and Applications Security and Privacy XXIX. DBSec 2015. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. Vol 9149.
5. Mayer J. R., Mitchell J. C. Third-Party Web Tracking: Policy and Technology // IEEE Symposium on Security and Privacy. San Francisco, California, USA. 2012. P.413–427.
6. Cao Y., Li S., and Wijmans E., (Cross-)Browser Finger-printing via OS and Hardware Level Features // Annual Network and Distributed System Security Symposium, NDSS 2017. San Diego, California, USA. 2017.

Чинарев Михаил Михайлович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М3408,

направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: mihaelchinarev@gmail.com

Приискалов Роман Андреевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

магистр, преподаватель (квалификационная категория "преподаватель практики"),

e-mail: iroman.pri@gmail.com

УДК 004.5

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕНСОРА MOVESENSE SENSOR
ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В МОБИЛЬНОМ
ПРИЛОЖЕНИИ НА ОСНОВЕ ДВИЖЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ
М.М. Чинарев**

Научный руководитель – магистр, преподаватель Р.А. Приискалов

Аннотация

В работе рассмотрено применение многофункционального сенсора Movesense Sensor, позволяющего встраивать в мобильные приложения поддержку управления на основе данных с его внутренних датчиков, с целью предоставить людям, имеющим физиологические особенности и ограничения по мелкой моторике, недоступный ранее функционал.

Ключевые слова

Сенсоры, мобильные приложения, Movesense Sensor, обработка данных, виды управления.

Для взаимодействия с современными смартфонами используются виртуальные элементы управления, чаще всего кнопки и ярлыки, отображаемые на экране. Выбор нужного элемента происходит через одиночные или множественные касания, распознать которые позволяет MultiTouch-технология. Однако, данный способ управления не всегда возможен. Люди, имеющие физиологические особенности, ограничения по мелкой моторике или проходящие реабилитацию, теряют возможность использовать приложения, предусматривающие взаимодействие только путем прикосновений к экрану. Выходом для таких людей выступают альтернативные варианты управления, один из которых – сенсоры, позволяющие расширить возможности приложений.

Movesense Sensor разработан компанией Suunto и предназначен для измерения различных движений пользователя, которые можно зафиксировать по данным встроенных в него акселерометра, гироскопа и магнитометра. На рис. 1 представлена фотография сенсора, взятая с официального сайта его разработчиков.

Благодаря своим небольшим размерам, сенсор может быть внедрен в одежду пользователя, однако компания Аркадия, принимающая участие в разработке мобильных приложений и сотрудничающая с Suunto, рекомендует закреплять его на груди с помощью специального пояса. Соединение мобильного телефона с сенсором

осуществляется по протоколу Bluetooth Low Energy (BLE), что позволяет снизить затраты на электропитание и обеспечить долговую работу сенсора. Подключение сенсора происходит через библиотеку MovesenseGameLib, которая выступает в качестве оболочки для низкоуровневого соединения.



Рис. 1. Movesense Sensor [1]

Возможности использования сенсора было решено продемонстрировать на примере несложной игры, управление в которой можно осуществлять на основании движений пользователя в 4 возможных направлениях (вперед, назад, вправо и влево). Всемирно известная игра «Тетрис» подходила под данные условия, так как управление в ней состоит из четырех основных действий, каждое из которых можно сопоставить с направлением движений пользователя. Таким образом, приложение «Тетрис» было выбрано для реализации в качестве демонстрационного прототипа с возможным управлением через Movesense Sensor.

Системная архитектура разработанного приложения представлена на рис. 2.

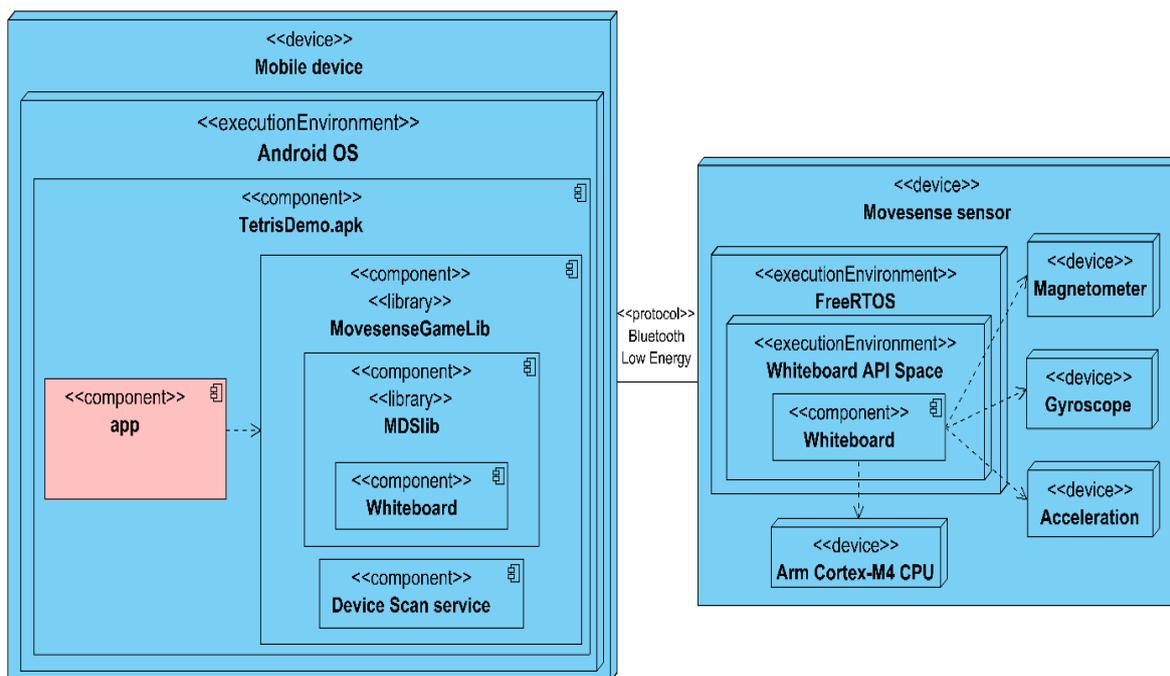


Рис. 2. Диаграмма развертывания системы

Цветом выделен разрабатываемый в рамках данной работы компонент - модуль приложения `app`, размещенный в составе архивных исполняемых файлов `TetrisDemo.apk`, на мобильном телефоне под управлением ОС Android.

Для взаимодействия с сенсором приложение использует библиотеку `MovesenseGameLib`. `MovesenseGameLib` включает в себя два основных компонента:

- библиотеку от производителя сенсора `MDSlib`;
- модуль для поиска и установки соединения с BLE устройствами.

Фреймворк `Whiteboard`, использующийся в `MDSlib`, необходим для асинхронного взаимодействия с `Movesense Sensor`. Компонент с данным фреймворком так же размещён в программе сенсора. Коммуникация между приложением и сенсором происходит по технологии `MDS REST API`, подобной классическому архитектурному стилю взаимодействия `Representational State Transfer (REST)`. `MDS REST API` позволяет взаимодействовать с сенсором используя в качестве формата данных `JSON` путем 5 видов запросов к нему - `GET`, `PUT`, `POST`, `DELETE` и `SUBSCRIB`.

Сам сенсор работает на процессоре `Arm Cortex-M4` и использует операционную систему `FreeRTOS`. `Whiteboard` предоставляет среду для использования `Application Programming Interface (API)` с программой сенсора, нужных для получения данных с внутренних датчиков, таких как акселерометр, магнитометр и гироскоп.

Управление с использованием `Movesense Sensor` было решено реализовать обработкой трех возможных действий пользователя:

- поворотов;
- наклонов;
- смещений пользователя.

Для распознавания движений использовались слушатели данных с датчиков сенсора из библиотеки `MovesenseGameLib`. Вращения тела фиксировались с помощью класса `RotateListener`, принимающего данные от датчика угловых скоростей и обрабатывающего их, выполняя переопределенные методы `onRotateRight`, `onRotateLeft`, `onRotateDown`, `onRotateUp`. Принцип работы данных методов основан на фиксировании граничных значений угловой скорости сенсора, при достижении которых вызываются соответствующие функции приложения.

Значение наклона пользователя было вычислено на основе сырых данных об ускорении сенсора, обработанных с использованием класса `RawListener`. Данный класс позволяет получать необработанные данные акселерометра и гироскопа, установленных в `Movesense Sensor`. Расчет производился по следующим формулам [2]:

$$RTD = \frac{180}{\pi} ,$$

$$FTD = \arctan\left(\frac{-z}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) * RTD ,$$

$$STD = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) * RTD ,$$

где RTD – константа, равная значению одного радиана в градусах; FTD – значение градуса наклона сенсора вперед; STD – боковые градусы наклона сенсора; z – ускорение датчика вдоль оси z акселерометра; x – ускорение датчика вдоль оси x акселерометра; y – ускорение датчика вдоль оси y акселерометра.

Также в разработанном прототипе было реализовано управление на основе смещений пользователя в пространстве. Для определения направления совершаемых движений, было предложено рассчитать смещение путем интегрирования данных о скорости сенсора вдоль каждой из координатных осей по времени:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \int_{t_1}^{t_2} v_x(t) dt ,$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 = \int_{t_1}^{t_2} v_y(t) dt ,$$

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \int_{t_1}^{t_2} v_z(t) dt ,$$

где Δx , Δy , Δz – смещение по оси x , y , z сенсора соответственно; v_x , v_y , v_z – скорость сенсора; dt – интервал между каждыми двумя сигналами с гироскопа

Данные об угловых скоростях поступают с гироскопа и имеют сильный разброс, что не позволяло работать с ними без предобработки. Для решения данной проблемы был реализован фильтр нижних частот в отдельном методе. Реализованный метод принимает массив входных сигналов и возвращает отфильтрованный набор значений:

$$output[i] = output[i] + \sigma * (input[i] - output[i]) ,$$

где $output[i]$ – значение обработанного i – го сигнала; $input[i]$ – значение входного сигнала; σ – константа для работы фильтра нижних частот, равная 0.2

При применении данного фильтра к обновляемому массиву угловых скоростей, высокочастотные сигналы сглаживаются, что способствует снижению разброса значений. Избежать проскакивающие ложные срабатывания помогло включение в расчеты факта, что при смещении своего баланса, человек часто наклоняется в сторону совершаемого движения. На основании этого при фиксации смещений была добавлена дополнительная проверка по градусу наклона сенсора. Применение такого подхода позволило повысить точность определяемых смещений.

Встраивая поддержку сенсора *Movesense Sensor* в свое приложение, разработчик сможет расширить его целевую аудиторию, а люди, имеющие физиологические ограничения, получают возможность использования недоступного ранее функционала.

В ходе работы были достигнутые следующие результаты:

1. Разработан прототип игры «Тетрис», с предусмотренным в нем управлением на основе сигналов с датчиков многофункционального сенсора *Movesense Sensor*.
2. Необходимость взаимодействия с экраном после запуска приложения сведена к минимуму.
3. Реализовано управление на основе поворотов пользователя, наклонов, а также направления смещения его тела.
4. Корректность функционирования прототипа протестирована на мобильных устройствах *Samsung A5 (Android 7.0, API level 24)* и *Samsung A3 (Android 5.0, API level 21)*.

Дальнейшее развитие приложения возможно путем расширения списка распознаваемых движений пользователя, а также составлением индивидуальных комплексов упражнений с консультантом из медицинского учреждения и учетом их в системе.

Литература

1. *MOVESENSE ACTIVE* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.movesense.com/movesense-active/> (дата обращения: 27.03.2021).
2. Определение угла наклона акселерометром [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bitaks.com/resources/inclinometer/content.html> (дата обращения: 27.04.2021).

Шавронская Дарья Олеговна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т3430,

направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,

e-mail: d.shavronskaya@yandex.ru

Забодалова Людмила Александровна

Год рождения: 1948

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

д.т.н., профессор (квалификационная категория «ординарный профессор»),

e-mail: lzabodalova@itmo.ru

УДК 663.674

**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ
СИНБИОТИЧЕСКОГО МОРОЖЕНОГО**

Д.О. Шавронская

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.А. Забодалова

Аннотация

В работе описан способ производства синбиотического мороженого с пониженными массовыми долями жира и сахара. Показана возможность использования стабилизатора «Милкстаб» ICE в технологическом процессе производства мороженого. Установлено, что использование фруктоолигосахаридов (ФОС) в качестве пребиотика оказывает положительное влияние на показатели качества смеси для мороженого и готового продукта и благоприятно сказывается на сохранении жизнеспособности клеток *Lactobacillus acidophilus* в процессах фризирования и закаливания.

Ключевые слова

Мороженое, синбиотик, фруктоолигосахариды, *Lactobacillus acidophilus*, стабилизатор «Милкстаб» ICE.

Молоко и молочные продукты остаются одной из главных основ для производства функциональных продуктов питания, содержащих пребиотики и пробиотики. Мороженое может использоваться как один из возможных способов доставки данных функциональных пищевых ингредиентов в организм человека [1]. Главным вопросом в рассматриваемой области остается обеспечение необходимой концентрации жизнеспособных клеток полезной микрофлоры на конец срока годности закаленного мороженого, которая согласно ГОСТ 32929–2014 должно составлять не менее $1 \cdot 10^6$. Существуют исследования, подтверждающие, что наличие пребиотиков в составе продукта приводит к увеличению вероятности выживаемости пробиотических микроорганизмов в процессах фризирования, закаливания и дальнейшего низкотемпературного хранения [2].

На первом этапе работы была проведена сравнительная оценка трех видов облепихового наполнителя (сублимированного порошка, замороженного пюре, сока прямого отжима). На основании органолептических, физико-химических и экономических показателей был выбран сок прямого отжима, доза внесения которого составила 3%.

Среди перспективных направлений развития рынка мороженого выделяют производство диетического мороженого с пониженным содержанием сахарозы и низкой массовой долей жира [3]. На основании данного положения было решено использовать в составе рецептуры заменитель сахара, в качестве которого был выбран натуральный сладкий спирт – эритрит (E968). Была определена его рациональная массовая доля в смеси для мороженого, которая составила 12%.

На следующем этапе была проведена сравнительная оценка нескольких типов стабилизаторов для мороженого, разработанных группой компаний «Питерпром» (г. Санкт-Петербург, Россия). В состав комплексной пищевой добавки «Миклстаб» ICE CREAM входят эмульгаторы (моно- и диглицериды жирных кислот) и загустители (камедь рожкового дерева, гуаровая камедь, каррагинан, карбоксиметилцеллюлоза). Комплексная добавка «Миклстаб» ICE не содержит гидрофильных полимеров, в ее состав входят пищевые волокна (инулин), молочный белок и декстроза.

Для проведения исследования были разработаны две рецептуры мороженого с использованием данных стабилизаторов в соответствии с требованиями ГОСТ 32929–2014 ($J_{\text{мор}} = 6,0\%$, $СВ_{\text{мор}} = 34,0\%$) и спецификациями на комплексные добавки «Милкстаб» ICE CREAM ($D_{\text{ICE CREAM}} = 0,6\%$) и ICE ($D_{\text{ICE}} = 5,0\%$). Данные рецептуры представлены в табл. 1.

Таблица 1

Рецептуры кисломолочного мороженого

Компоненты	Масса компонентов, г	
	Образец ICE CREAM	Образец ICE
	на 1000 г	на 1000 г
Молоко ($J_{\text{м}} = 2,5\%$, $СОМО_{\text{м}} = 8,5\%$)	245,28	245,02
Сливки ($J_{\text{сл}} = 20,0\%$, $СОМО_{\text{сл}} = 7,5\%$)	200,47	204,05
СОМ ($J_{\text{сом}} = 1,5\%$, $СОМО_{\text{сом}} = 93,5\%$)	98,25	50,93
Ацидофильное молоко ($J_{\text{ам}} = 4,1\%$, $СОМО_{\text{ам}} = 7,8\%$)	300,00	300,00
Эритритол ($СВ_{\text{эрит}} = 100,0\%$)	120,00	120,00
ICE CREAM ($СВ_{\text{ICE CREAM}} = 100,0\%$)	6,00	0,00
ICE ($СВ_{\text{ICE}} = 100,0\%$, $СОМО_{\text{стаб}} = 5,0\%$, $J_{\text{стаб}} = 0,5\%$)	0,00	50,00
Сок облепиховый ($СВ_{\text{обл}} = 9,5\%$)	30,00	30,00
ИТОГО	1000,0	1000,0

Технология изготовления мороженого, использованная в данной работе:

- 1) подготовка кисломолочной основы:
 - a) нагреть небольшое количество молока до температуры $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$;
 - b) внести сухую закваску в молоко и тщательно перемешать;
 - c) поставить емкость в термостат, нагретый до температуры $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$, на 2 часа;
 - d) через 2 часа нагреть остальную часть молока до температуры $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$;

- e) внести молоко в активированную смесь;
- f) поставить в термостат, нагретый до температуры $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$, на 6 часов;
- 2) подготовка молочной основы:
 - a) подогреть смесь сливок и молока на водяной бане до температуры $35\text{--}40^\circ\text{C}$;
 - a) внести сухие компоненты и тщательно перемешать;
 - b) профильтровать смесь через марлю;
 - c) нагреть смесь до температуры 65°C ;
 - d) обработать смесь на диспергаторе (T 25 digital ULTRA-TURRAX, Германия) в течение 10 мин на 5 скорости (21 500 об./мин.);
 - e) подвергнуть смесь тепловой обработке при температуре 85°C в течение 5 мин;
 - f) охладить смесь до температуры $4\text{--}6^\circ\text{C}$;
- 3) смешать основы, полученные в п. 1 и п. 2;
- 4) обработать готовую смесь на фризере (МК-25FTBPA, Китай).

Сравнительный анализ стабилизаторов был проведен на основе оценки физико-химических характеристик смеси для мороженого и готового продукта, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели смеси для мороженого и готового продукта

Показатели		Образец ICE CREAM	Образец ICE
Условная вязкость смеси, с		20	25
Взбитость мороженого, %		29	25
Сопротивление таянию, мин	мягкое мороженое	24	16
	закаленное мороженое	35	21
Размер воздушных пузырьков, мкм		59	62

На основании полученных данных был сделан вывод о том, что свойства стабилизатора «Милкстаб» ICE незначительно отличаются от свойств стабилизатора «Милкстаб» ICE CREAM.

Далее было изучено влияние компонентов смеси (сухого обезжиренного молока, эритрита, фруктоолигосахаридов, стабилизатора) на биохимическую активность ацидофильной палочки.

В ходе экспериментальной работы было решено изменить жирность готового мороженого с 6,0% на 3,0%. В качестве объектов исследования были взяты образцы: контроль (молоко коровье), молоко с добавлением 5% СОМ и молоко с добавлением 10% СОМ (рис. 1).

Из графика видно, что внесение СОМ приводит к повышению первоначальной кислотности молока и незначительно интенсифицирует процесс сквашивания.

Исходя из химической природы эритрита, был поставлен вопрос о его влиянии на биохимическую активность *L. acidophilus*. Для исследования было выбрано четыре образца: контроль (молоко коровье), молоко с добавлением эритритола в различной концентрации (6%, 12%, 18%) (рис. 2).

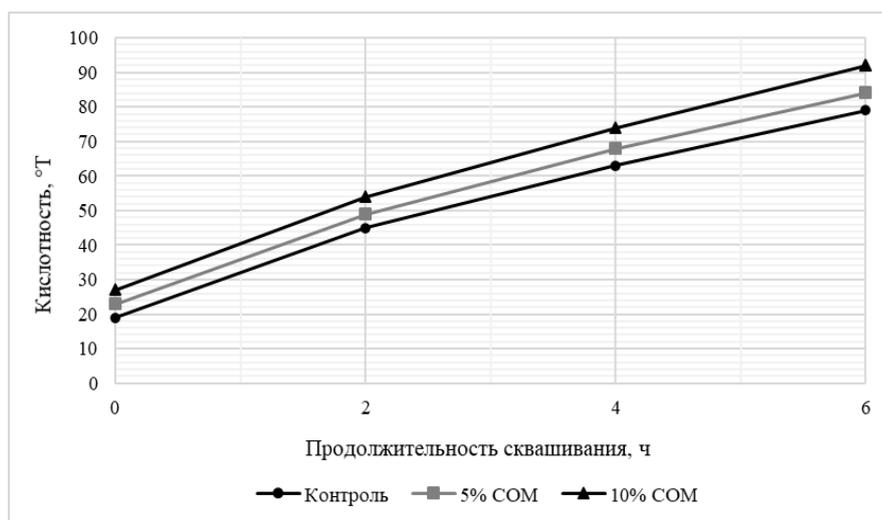


Рис. 1. Влияние концентрации сухого обезжиренного молока на интенсивность кислотонакопления

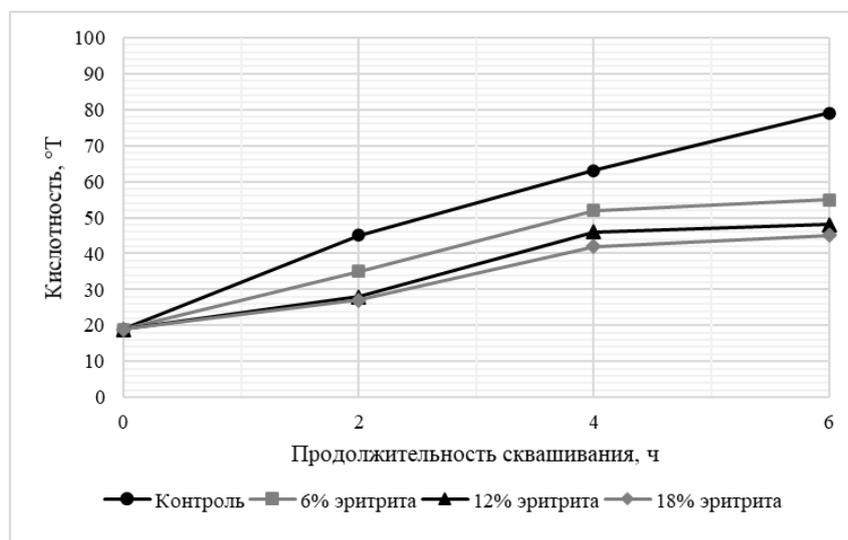


Рис. 2. Влияние концентрации эритритола на интенсивность кислотонакопления

Исходя из графика, можно сделать вывод о том, что эритритол негативно сказывается на ферментативной активности *Lactobacillus acidophilus*.

Согласно единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям, адекватное суточное потребление ФОС для взрослого человека составляет 5 г. Содержание БАД в продуктах питания должно быть не менее 15% адекватного уровня потребления и не превышать верхний допустимый уровень (для ФОС он составляет 10 г). Был произведен пересчет количества ФОС в готовом продукте на порцию мороженого 80 г. В качестве контрольных точек были выбраны молоко коровье, молоко коровье с добавлением 2% (что удовлетворяет 32% суточной потребности в ФОС), 4% (64% потребности) и 6% (96% потребности) фруктоолигосахаридов (рис. 3).

Повышение концентрации ФОС угнетало биохимическую активность ацидофильной палочки. Данный факт можно объяснить различием в активности ферментов, ответственных за гидролиз углеводов, и повышением осмотического давления в смеси.

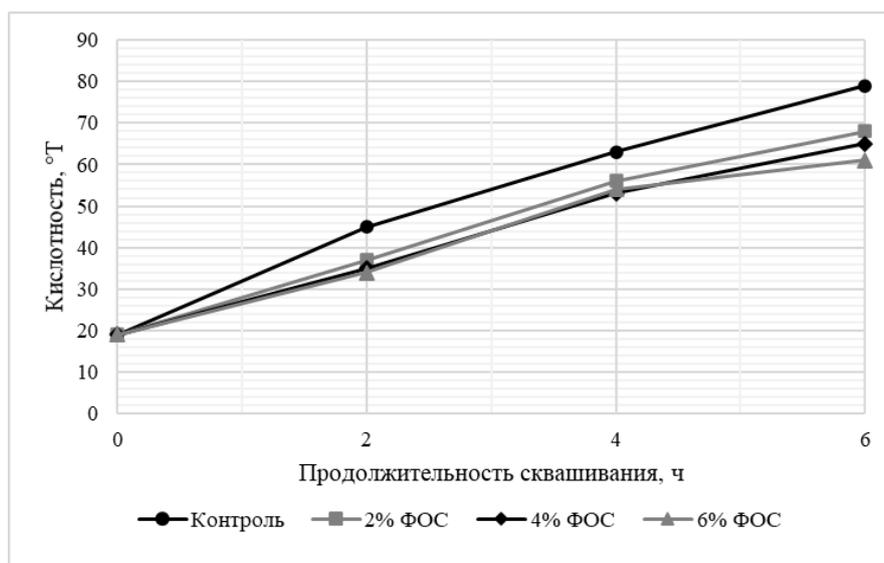


Рис. 3. Влияние концентрации ФОС на интенсивность кислотонакопления

Также было исследовано влияние стабилизатора «Милстаб» ICE на процесс сквашивания. Выявлено, что внесение стабилизатора подавляет деятельность полезной микрофлоры и отражается на консистенции сквашенной смеси: она становится неоднородной (с комочками).

По результатам исследования было решено применить способ производства кисломолочной мороженого с частичной ферментацией смеси. При этом готовилась кисломолочная смесь (ацидофильное молоко) и молочная смесь (молоко, сливки, эритрит, ФОС, стабилизатор, пюре облепихи). Молочная и кисломолочная основы смешивались в соотношении 1:1 (рис. 4).

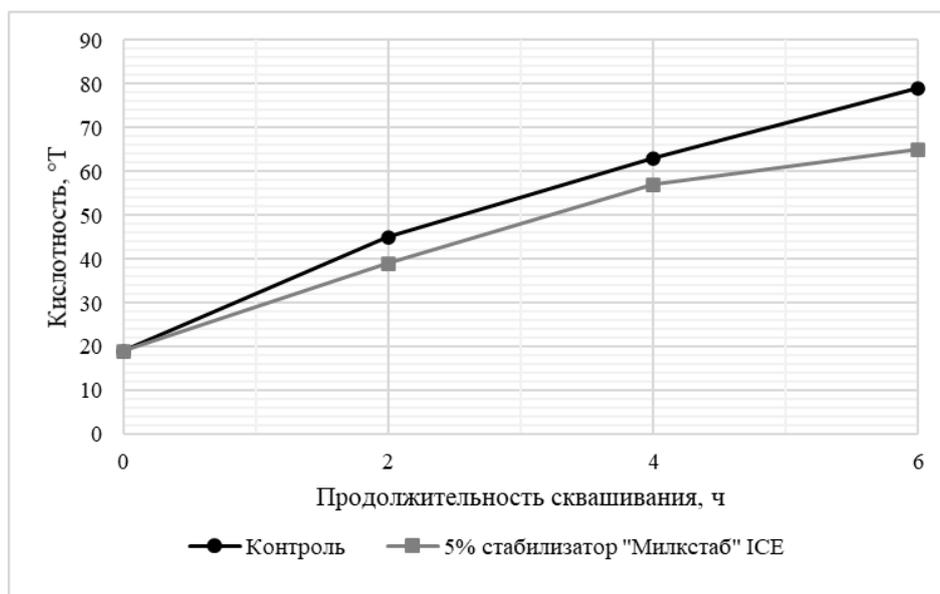


Рис. 4. Влияние стабилизатора на интенсивность кислотонакопления

На следующем этапе было изучено влияние фруктоолигосахаридов на показатели качества смеси для мороженого и готового продукта. Для этого были разработаны две рецептуры мороженого ($J_{\text{мор}} = 3,0\%$, $СВ_{\text{мор}} = 34,0\%$) с частичной ферментацией смеси, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Рецептуры синбиотического мороженого

Компоненты	Масса компонентов, г	
	Опытный образец	Контроль
	на 1000 г	на 1000 г
Молоко ($J_{\text{м}} = 2,5\%$, $\text{СОМО}_{\text{м}} = 8,5\%$)	156,91	156,09
Сливки ($J_{\text{сл}} = 20,0\%$, $\text{СОМО}_{\text{сл}} = 7,5\%$)	63,68	61,83
СОМ ($J_{\text{сом}} = 1,5\%$, $\text{СОМО}_{\text{сом}} = 93,5\%$)	39,41	82,08
Ацидофильное молоко ($J_{\text{ам}} = 2,5\%$, $\text{СОМО}_{\text{ам}} = 8,5\%$)	500,0	500,0
Эритритол ($\text{СВ}_{\text{эрит}} = 100,0\%$)	120,0	120,0
ICE ($\text{СВ}_{\text{ICE}} = 100,0\%$, $\text{СОМО}_{\text{стаб}} = 5,0\%$, $J_{\text{стаб}} = 0,5\%$)	50,0	50,0
ФОС ($\text{СВ}_{\text{фос}} = 100,0\%$)	40,0	0,0
Сок облепиховый ($\text{СВ}_{\text{обл}} = 9,5\%$)	30,0	30,0
ИТОГО	1000,0	1000,0

Для изучения влияния фруктоолигосахаридов на показатели качества был проведен ряд испытаний, который представлен в табл. 4.

Таблица 4

Физико-химические показатели смеси для мороженого и готового продукта

Показатели		Опытный образец	Контроль
Условная вязкость смеси, с		15	12
Взбитость, %		34	30
Сопротивление таянию, мин	мягкое мороженое	27	18
	закаленное мороженое	32	24
Размер воздушных пузырьков, мкм		48	58

Выявлено, что фруктоолигосахариды оказывают положительное влияние на показатели смеси мороженого и готового продукта: повышают относительную вязкость смеси и взбитость мороженого, увеличивают продолжительность сопротивления таянию и приводят к уменьшению размеров воздушных пузырьков

Для определения процента выживаемости пробиотического микроорганизма в процессе низкотемпературной обработки был произведен посев на плотную среду МРС-агар. Полученные данные представлены в табл. 5.

Определение количества микроорганизмов

Наименование образца	Смесь для мороженого	Мягкое мороженое	Закаленное мороженое
Опыт (ФОС = 4,0%)	$1,5 \cdot 10^8$ КОЕ/г	$1,2 \cdot 10^8$ КОЕ/г	$6,0 \cdot 10^7$ КОЕ/г
Контроль (ФОС = 0,0%)	$1,5 \cdot 10^8$ КОЕ/г	$1,0 \cdot 10^8$ КОЕ/г	$2,6 \cdot 10^7$ КОЕ/г

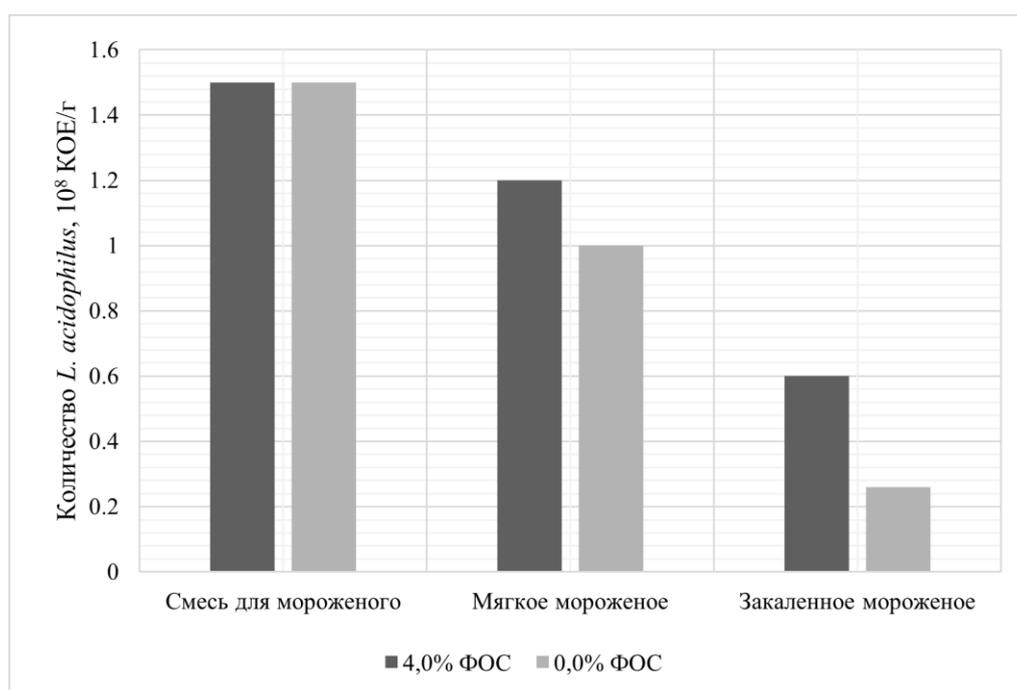


Рис. 5. Влияние процессов фризирования и закаливания на жизнеспособность *Lactobacillus acidophilus*

Из диаграммы видно, что фруктоолигосахариды оказали положительное влияние на выживаемость клеток *Lactobacillus acidophilus* в процессах фризирования и закаливания (рис. 5).

Итак, в ходе работы был разработан компонентный состав смеси, определены дозы внесения облепихового наполнителя в виде сока прямого отжима без добавленного сахара (3%) и эритрита (12%). На основании экспериментальных данных был сделан вывод о возможности использования стабилизатора «Милкстаб» ICE в технологическом процессе производства мороженого. Результатом изучения влияния компонентов смеси на ферментативную активность *Lactobacillus acidophilus* стал выбор технологии изготовления мороженого с отдельным приготовлением молочной и кисломолочной основ и их дальнейшим смешиванием. В дополнение было установлено, что наличие фруктоолигосахаридов в рецептуре благоприятно сказывается на показателях качества смеси, мягкого и закаленного мороженого, а также способствует снижению процента отмирания клеток пробиотика в процессах низкотемпературной обработки. Итогом работы стали разработанные и отработанные рецептура и технология производства синбиотического мороженого.

Литература

1. Cinquanta L. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams / Cinquanta L., Criscio T. Di, Coppola R., Frantianni A., Mignogna R., Panfili G., Sorrentino E. // *Journal of Dairy Science*. 2010. №93 (10). С. 4555–4564.
2. Анисимов Г.С. Мороженое как средство доставки *Lactobacillus acidophilus* / Анисимов Г.С., Ахмедова В.Р., Рябцева С.А. // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. №2. С. 5–27.
3. Пономарева Е.В. Рынок мороженого: чего хотят потребители / Пономарева Е.В. // *Империя холода*. 2019. №6. С. 56-59.

Шарова Екатерина Александровна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы В3464,

направление подготовки: 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,

e-mail: skaterina642@gmail.com

Успенская Майя Валерьевна

Белухичев Евгений Валентинович

Год рождения: 1970

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

д.т.н., профессор,

e-mail: mv_uspenskaya@mail.ru

УДК 691.175.743

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕВЕСНОПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА
И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА С БЕРЕЗОВОЙ МУКОЙ
Е.А. ШАРОВА**

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

Аннотация

В работе рассмотрен способ решения проблемы утилизации упаковочной продукции из поливинилхлорида путем внедрения природного полимера полигидроксibuтирата и отходов древесного производства в матрицу полимера. Проведена оценка механических и термических характеристик композитов, изучена их способность к биодegradации. По результатам работы выдвинуто предположение о переходе полигидроксibuтирата из аморфной в кристаллическую фазу в процессе биодegradации образцов.

Ключевые слова

ПВХ, ПГБ, березовая мука, компостирование, биодegradация, упаковочная промышленность, древесно-полимерный композит.

Универсальность пластмасс сделала такие материалы незаменимыми для человека. Важную роль пластиковая продукция играет в упаковочной промышленности. И одним из самых востребованных материалов в данной сфере является поливинилхлорид (ПВХ) [1]. Он обладает отличными прочностными и термическими характеристиками, но как к плюсам, так и к минусам его использования относится «долгий срок жизни». ПВХ не разлагается, что приводит к большим скоплениям его отходов на свалках [2]. Одним из способов борьбы с множественными загрязнениями является сокращение доли ПВХ в упаковочной продукции. Достичь этого можно путем внедрения природного полимера полигидроксibuтирата (ПГБ), а также добавлением отходов древесного производства в качестве наполнения. Но важно учитывать, что изменение состава влечет за собой изменения свойств получаемой продукции [3], поэтому целью данной работы стало исследование производственно важных характеристик композитов на основе ПВХ и ПГБ с березовой мукой (БМ).

Мы изготовили пленки 9 составов с разным соотношением полимеров и процентным содержанием наполнителя. Изготавливались пленки на лабораторных вальцах производства Германии типа Polymix 150 U при $170\div 180$ °С с зазором между вальцами около 750 мкм. Рецептуры смесей, а также внешний вид полученных композитов представлены в таблице.

Таблица

Рецептуры исследуемых древесно-наполненных пленок

Название образцов	ПВХ, % масс	ПГБ, % масс	БМ, % масс
Form 1	54	36	10
Form 2	48	32	20
Form 3	42	28	30
Form 4	45	45	10
Form 5	40	40	20
Form 6	35	35	30
Form 7	36	54	10
Form 8	32	48	20
Form 9	28	42	30

Как было сказано ранее, наполнителем выступала березовая мука – это размолотые, в нашем случае, до фракции менее 200мкм опилки/щепа с деревообрабатывающего производства. Важным визуально наблюдаемым параметром древесно-наполненных пленок является равномерное распределение частиц древесины в объеме полимерной матрицы. Незначительные скопления волокна могут привести к ощутимому снижению износостойкости и пластичности получаемого материала. По микрофотографиям, рис. 1, видно, что весь наполнитель равномерно распределился по направлению вальцевания.

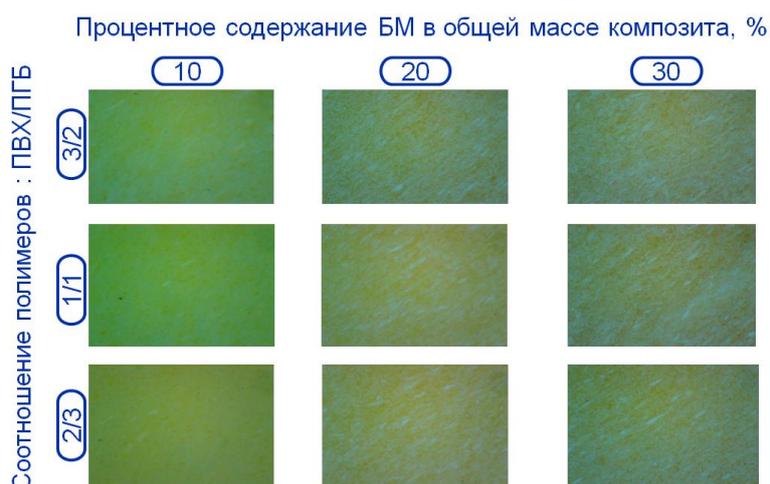


Рис. 1. Микрофотографии полученных древесно-полимерных композитов

Термомеханический анализ полученных композитов позволяет определить оптимальные условия термоформования упаковочных изделий. График на рис. 2 показывает, что повышение содержания древесного наполнителя с 10% до 30% приводит к росту температуры текучести полимерного композита примерно на 7 °С, что

в свою очередь приносит дополнительные производственные затраты электроэнергии. Но стоит также отметить, что увеличение доли биополимера препятствует дальнейшему возрастанию температуры текучести, сохраняя ее на ранее установленном уровне.

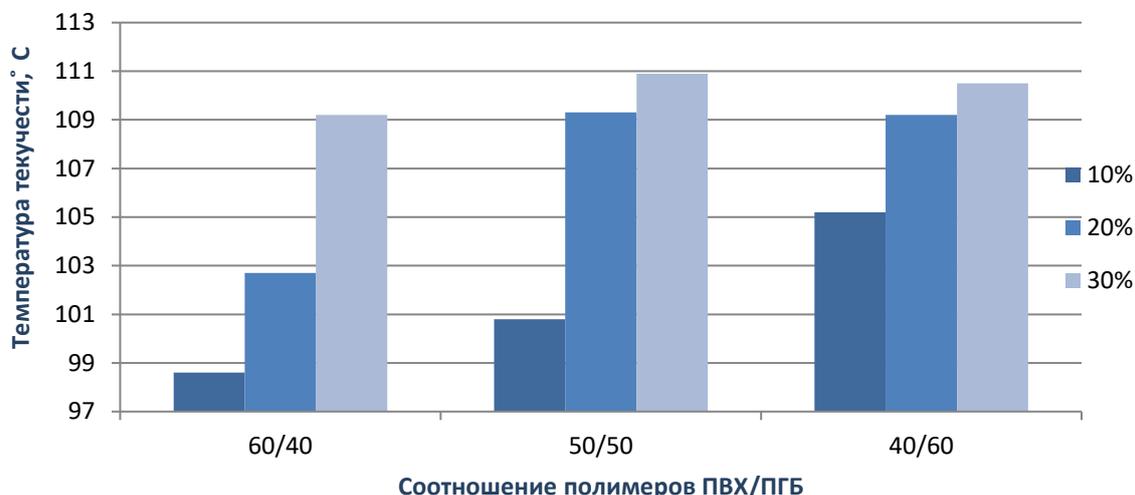


Рис. 2. График зависимости температуры текучести от соотношения полимеров в образце

Одной из самых важных характеристик упаковочных пленок является прочность. Как видно из диаграммы на рис. 3, с увеличением содержания ПГБ в образце его прочностные характеристики улучшаются, вероятно, за счет взаимной совместимости ПГБ с целлюлозой и с ПВХ. Стоит отметить, что наибольшую прочность демонстрирует образец с отношением ПВХ к ПГБ 1:1 и 20% наполнителя БМ.

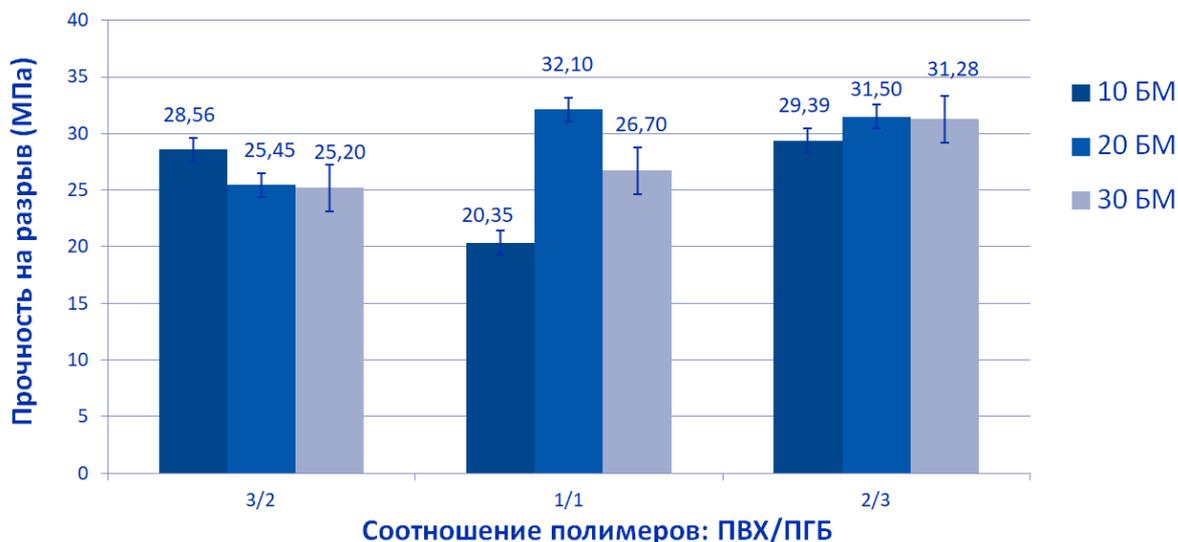


Рис. 3. Диаграмма предела прочности исследуемых пленок в зависимости от состава

Пленки были разработаны с целью снижения экологического следа, поэтому важно было исследовать их способность к биodeградации. На рис. 4 явно видно, что с увеличением содержания натуральных компонентов степень биodeградации значительно возрастает.

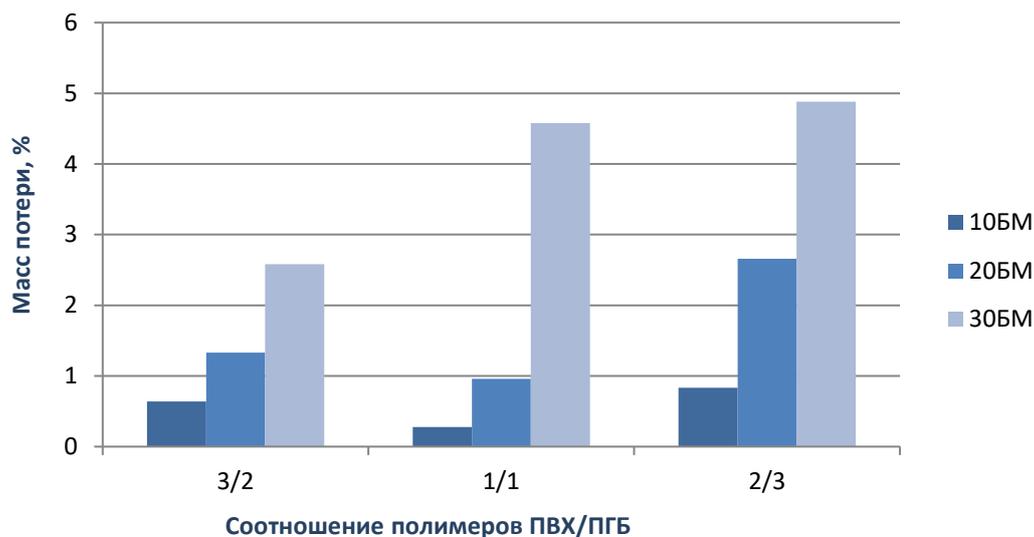


Рис. 4. График зависимости потери массы от состава образца

По изменению прочности во времени можно оценить степень биodeградации исследуемых образцов. По диаграмме на рис. 5 можно предположить, что в процессе биodeградации из композита в землю уходит древесный наполнитель, что приводит к возрастанию прочности, повышая долю пластичного полимера в смеси. Но также образцы с большим содержанием ПГБ после биоразложения имеют наименьший предел прочности, что может быть связано с переходом ПГБ в более хрупкую кристаллическую фазу.

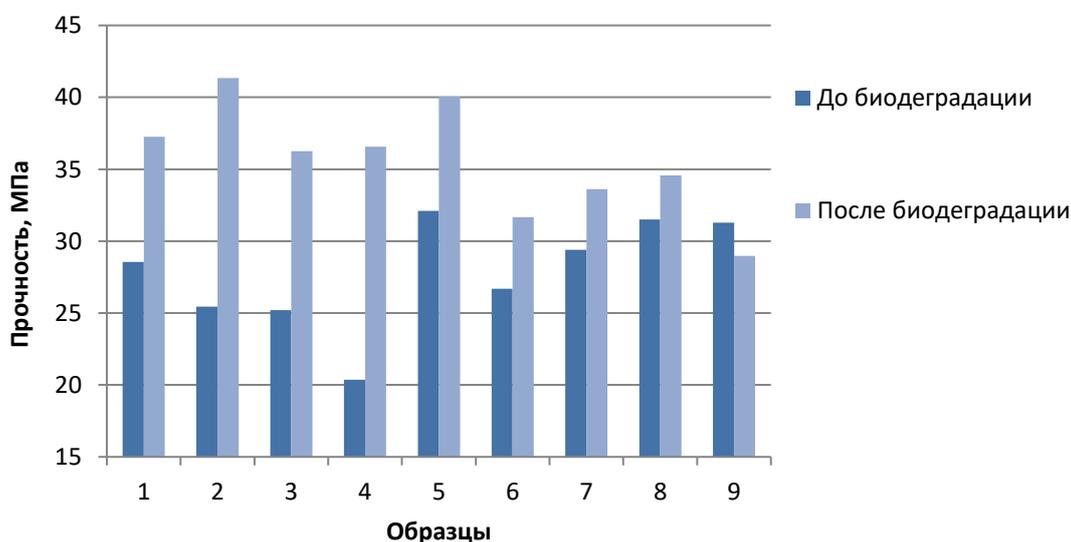


Рис. 5. Диаграмма прочности образцов до и после биodeградации

Рост температуры текучести образцов после компостирования (рис. 6) тоже свидетельствует о переходе ПГБ в кристаллическую фазу. Также в результате биodeградации на ИК-спектре (рис. 7) возникли пики, характерные для кристаллического ПГБ (1275, 1227 и 979 cm^{-1}). Они не наблюдались для начального образца. При этом видно сильное снижение пика, характерного для аморфной фазы ПГБ (1180 cm^{-1}).

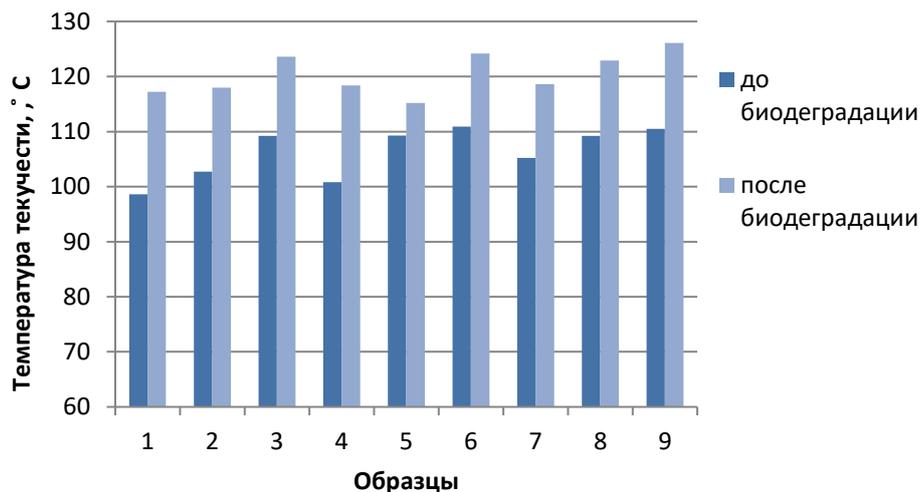


Рис. 6. Диаграмма температуры текучести образцов до и после биодegradации

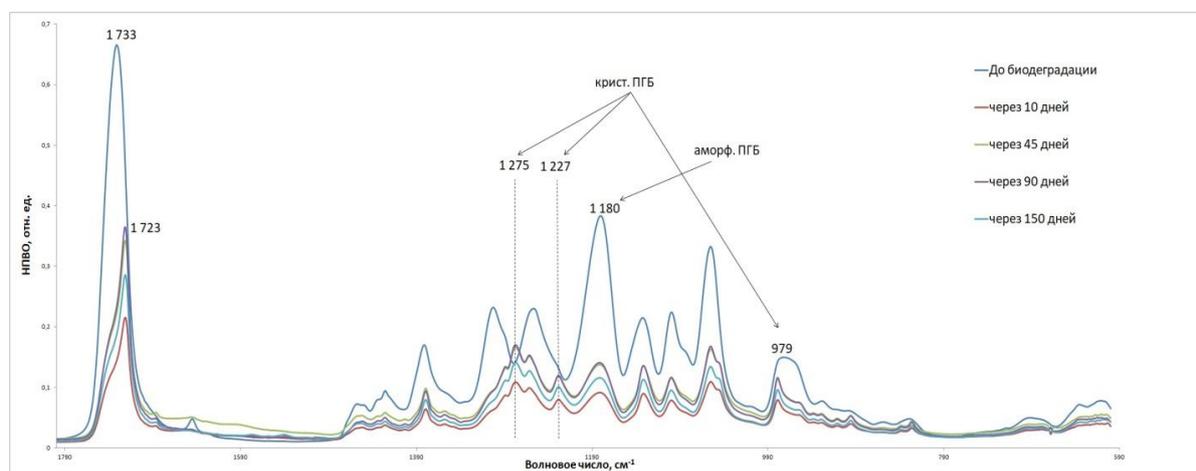


Рис. 7. ИК-спектр образца Form 6 в разные сроки компостирования

Все вышеуказанные результаты свидетельствуют о высокой совместимости ПВХ, ПГБ и березовой муки. И можно говорить о больших перспективах в упаковочной отрасли для рецептур, в которых содержание ПГБ выше 50%. Но для оценки экологической эффективности следует продолжить исследование данных рецептур. Рекомендуется детально изучить состав образцов после биодegradации, провести анализ полученного компоста, а также стоит измельчать компостируемые образцы для увеличения степени биодegradации.

Литература

1. Ахмадеева О.А., Проблемы обращения полимерных отходов в Российской Федерации / Ахмадеева О.А., Урусова А.С. // Молодой ученый. 2016. №8. С. 486-488.
2. Handbook of Plastics, Elastomers and Composites by Charles Harper- Forth Editon. 2004 p.63-69.
3. Kim J.K. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites / Kim J.K., Pal K. Springer New York Heidelberg Dordrecht London. 2010. 176p.

Шевчик Софья Владимировна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

студент группы №М3403,

направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: msumsk2015@gmail.com

Кашевник Алексей Михайлович

Год рождения: 1982

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий и программирования,

к.т.н., с.н.с., доцент,

e-mail: kashevnik@itmo.ru

УДК 004.9

**РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОГО СЕРВЕРА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА MQTT**

С.В. Шевчик

Научный руководитель – к.т.н., с.н.с., доцент А.М. Кашевник

Работа выполнена в рамках разработки открытого сервиса мониторинга водителя транспортного средства “Drive Safely”.

Аннотация

В работе рассмотрен протокол MQTT, предназначенный для обмена информацией в условиях низкой пропускной способности сети и ограниченных ресурсов памяти устройства, проведен сравнительный анализ протоколов REST/HTTP и MQTT, показывающий достоинства и целесообразность использования протокола MQTT. Выполнена разработка облачного сервера, базирующегося на протоколе MQTT.

Ключевые слова

MQTT, HTTP, брокер сообщений, RabbitMQ, уровни качества обслуживания.

Международная лаборатория «Интеллектуальные технологии для социоконвергентных систем» занимается разработкой облачного решения для организации и управления автомобильными парками по всему миру. Лаборатория представила сервис “Drive Safely”, позволяющий в реальном времени анализировать состояние водителя на предмет опасных состояний, таких как: сонливость, отвлечение внимания от дороги, не пристегнутый ремень и другие. “Drive Safely” базируется на взаимодействии мобильных устройств водителей с удаленным сервером по протоколу HTTP. Большая частота снятия показаний с устройств, в том числе видеофиксация водителя, а также показания сенсоров телефона привела к тому, что дальнейшая поддержка выбранного протокола становится дорогостоящей в связи с низкой пропускной способностью сети на дорогах, а также с особенностями работы протокола HTTP. Таким образом была поставлена задача изучения возможности и целесообразности изменения протокола на более подходящий.

Для решения поставленной проблемы был выбран протокол MQTT, как замена текущему решению. Работа MQTT протокола основывается на обмене сообщениями между тремя компонентами: издателем, брокере и подписчике.

Данная технология предназначена для работы в условиях низкой пропускной способности сети или ограниченных ресурсов памяти устройства.

Протокол поддерживает 3 уровня качества обслуживания. Уровень качества обслуживания (Quality of Service) – технология указания приоритетов обслуживания разным типам трафика. То есть QoS – технология, которая может гарантировать пропуск в полном объеме определенному виду трафика в заданных технологических рамках [1].

Уровни QoS поддерживаемые протоколом MQTT:

– QoS 0: Негарантированная доставка пакетов – сообщение отправляется единожды и не ждет подтверждения от брокера;

– QoS 1: Отправка хотя бы один раз – сообщение гарантированно будет доставлено брокеру. Однако может возникнуть ситуация, когда издатель не получит подтверждения от брокера и сообщение будет выслано повторно;

– QoS 2: Отправка ровно один раз – после отправки сообщения издатель хранит его с пометкой “не подтверждено” до тех пор, пока не получит подтверждение о получении от брокера. Брокер в свою очередь хранит копию сообщения, пока не получит информацию о получении подтверждения у издателя. После чего брокер удаляет копию сообщения, и транзакция считается завершенной.

Такая система гарантирует надежность доставки сообщений. REST/HTTP основан на технологиях REST и HTTP. REST это архитектурный стиль, взаимодействие компонентов в котором происходит распределенно. REST/HTTP не поддерживает технологию QoS, обмен сообщениями происходит по принципу “запрос-ответ”.

Оба протокола передают информацию с помощью TLS/SSL, которые обеспечивают безопасность данных по средствам аутентификации и шифрования.

В таблице приведено сравнение протоколов MQTT и REST/HTTP по следующим параметрам: принцип работы – по какому принципу происходит обмен сообщениями ; средство передачи – протокол, по которому осуществляется передача информации; поддерживаемые уровни качества обслуживания; шифрование информации – какие криптографические протоколы используются для защиты данных.

Таблица

Сравнение протоколов MQTT и REST/HTTP

	MQTT	REST/HTTP
Принцип работы	Издатель - подписчик	Запрос - ответ
Средство передачи	TCP	TCP
Уровни качества обслуживания	3	-
Шифрование информации	TLS/SSL	TLS/SSL

На основе статьи [2] приведены результаты сравнительного исследования протоколов MQTT и HTTP.

Для сравнения протоколов на рисунке представлена диаграмма потери пакетов в процентах в зависимости от размера отправленного сообщения в байтах для протоколов HTTP и MQTT с QoS(1).

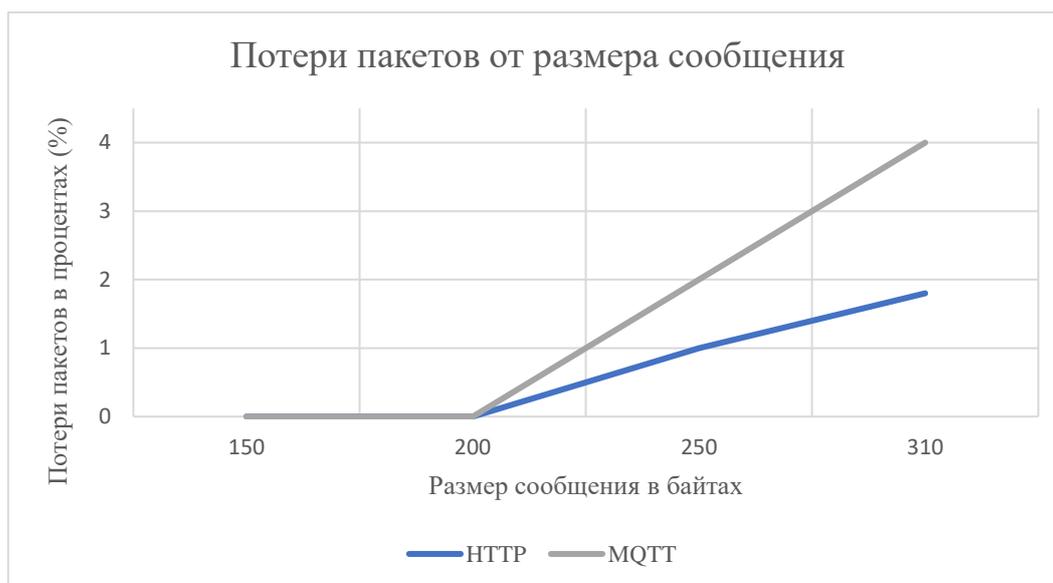


Рисунок. Диаграмма потери пакетов в зависимости от размера отправленного сообщения

Как видно из диаграммы: при увеличении размера сообщения происходит потеря пакетов вне зависимости от протокола, однако у HTTP этот процент незначительно ниже, чем у MQTT.

Стоит отметить, что при исследовании использовался протокол MQTT с QoS(1), поскольку именно этот уровень качества обслуживания наиболее приближен к работе HTTP протокола. Несмотря на более высокий процент потерь пакетов, протокол MQTT является более надежным решением для устройств с низкими характеристиками аппаратной части.

Также стоит учитывать нестабильную сетевую связь с устройством, в условиях которой HTTP протокол не гарантирует доставку сообщений из-за принципа работы “запрос-ответ”, в то время как MQTT с QoS(2) обеспечивает передачу за счет транзакций.

В качестве брокера сообщений было принято решение рассмотреть RabbitMQ и Mosquitto, и выбрать наиболее подходящий. Сервис Drive Safely предполагает большое количество пользователей и соответственно большой поток данных. Одно из основных требований к брокеру - возможность масштабирования. В данном случае брокер Mosquitto не имеет встроенной поддержки кластеризации. Это вынуждает осуществлять самостоятельную реализацию решения для соответствия поставленному требованию.

Брокер сообщений RabbitMQ имеет встроенную поддержку кластеризации, готовые решения в виде библиотек для Python, что обеспечивает простую установку и дальнейшую работу с ним. Также RabbitMQ имеет официальную документацию и активно поддерживает разработку. Исходя из этого было принято решение использовать RabbitMQ.

Для решения поставленной задачи требовалось выполнить следующие шаги:

- разработать серверную бизнес-логику для поддержки протокола MQTT;
- реализовать тестовое клиентское приложение водителя.

В качестве архитектурного стиля нового решения была использована известная трехзвенная архитектура, полагающая наличие слоя клиента, обеспечивающего API для пользователей, слоя логики, содержащий сервисы, выполняющие задачи бизнеса и слоя представления данных, обеспечивающий доступ к хранимой информации.

Так как существующее решение написано на языке Python с использованием фреймворка aiohttp, подразумевающего асинхронное исполнение, была выбрана библиотека aio-pika, обеспечивающая автоматическое переподключение к брокеру с полным восстановлением состояния (в том числе объявленные очереди и незавершенные обмены сообщениями).

Работа брокера происходит следующим образом:

- при запуске приложения происходит инициализация доступных каналов;
- при инициализации канала вызывается связанный метод-обработчик приложения;
- клиентское приложение подписывается на канал и отправляет туда сообщения;
- метод-обработчик создает ответные сообщения и отправляет их в брокер в канал, названный идентификатором клиентского устройства;
- входящие сообщения клиента помечаются как подтвержденные после чего автоматически убираются из брокера.

Однако у названия канала существуют ограничения в длине, поэтому лучшим идентификатором был выбран физический адрес устройства, с которого поступают сообщения. Физический адрес передается в заголовке входящего сообщения, в исходящем сообщении в заголовок помещается название канала, по которому обращался клиент.

Для эмуляции работы устройства необходимо было создать тестовое клиентское приложение.

С помощью специальной процедуры происходит загрузка существующей поездки из базы данных, представляющие собой json файл, в котором содержатся сообщения с регистрацией статистики сенсоров и критических событий. Далее поочередно происходит загрузка записей из файла и вызываются соответствующие методы, которые заполняют поля исходящих от клиента сообщений.

Метод-обработчик заранее осуществляет подключение к каналу, идентификатором которого является физический адрес устройства пользователя, для дальнейшего отслеживания сообщений.

Таким образом между тестовым клиентом и сервером происходит обмен сообщениями, мониторинг которых можно осуществлять в среде разработки.

В ходе работы был проведен сравнительный анализ протоколов HTTP и MQTT, который подтвердил целесообразность перехода системы на протокол MQTT. Это должно обеспечить более стабильную работу системы, а также возможность выдерживать большие нагрузки при большом количестве водителей, в том числе за счет использования брокера сообщений RabbitMQ.

В результате выполнения работы были реализованы поддержка MQTT протокола на стороне сервера и разработано тестовое клиентское приложение.

В дальнейшем планируется интеграция данного решения в систему “Drive Safely”.

Литература

1. ITGLOBAL.COM. Корпоративный блог о Managed IT, облачных технологиях и Hi-Tech новостях, которые имеют непосредственное влияние на бизнес [электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://itglobal.com/> (дата обращения 23.04.21).
2. Фам В.Д. Исследование протоколов взаимодействия интернета вещей на базе лабораторного стенда / Фам В.Д., Юльчиева Л.О., Киричек Р.В. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4.

Шубина Екатерина Алексеевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

инженерно-исследовательский факультет,

студент группы №В3419,

направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,

e-mail: nayard@mail.ru

Беляев Евгений Александрович

Год рождения: 1981

Университет ИТМО,

факультет информационных технологий,

к.т.н., в.н.с.,

e-mail: eabelyev@itmo.ru

УДК 004.04

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ПРИ ПОМОЩИ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ**

Е.А. Шубина

Научный руководитель – к.т.н., в.н.с. Е.А. Беляев

Аннотация

В данной работе рассматривается архитектура нейронной сети для генерации недостающих изображений в последовательности видеок кадров с использованием звуковой дорожки. В рамках работы проведено исследование существующих способов решения данной задачи, предложена архитектура нейронной сети и представлены результаты работы сети на тренировочном датасете.

Ключевые слова

GAN, MFCC, спектрограммы, генерация лица, генерация видео, преобразование речи в видео

В период пандемии домашний трафик увеличился в среднем от 200 до 300% – и в основном за счет VoIP и систем конференц связи (Skype, Zoom и др.) [1]. Операторы не всегда могут увеличить пропускную способность каналов в том числе и по техническим причинам. Следствие этого — нестабильное поведение сети в том числе потери пакетов в сети или низкая пропускная способностью канала передачи данных. В первом случае возникают ситуации, когда один и более видеок кадров не доставляются до приёмника. Во втором случае передатчик принимает решение, либо о существенном увеличении степени сжатия видеоданных (существенно ухудшается качество изображения), либо о прекращении передачи видеоданных (передаются только аудио данные).

Из-за перечисленных выше проблем в современных системах видеоконференций один из собеседников может наблюдать статическое изображение или даже ее отсутствие, хотя при этом может слышать голос собеседника. Это может негативно восприниматься принимающей стороной, поэтому необходимо создать техническое решение, которое могло бы частично или полностью компенсировать данный эффект.

В такие моменты возможно замещать видео сгенерированным изображением, движения губ которого повторяют произносимый текст. Оно может не полностью соответствовать исходному, но даже частично соответствующее будет лучше

восприниматься собеседником. Таким образом задача заключается в генерации изображения лица человека по соответствующей звуковой дорожке.

В данной работе представлен метод генерации последовательности кадров, по звуковой дорожке с помощью нейронной сети. При этом положения губ человека на кадре соответствуют произносимому звуку. Этот метод можно использовать. Для заполнения испорченных или недошедших по каналу кадров [3-5].

Для решения задачи генерации видео была выбран метод машинного обучения GAN (Generative Adversary Network) [2]. Данный метод реализует нейронную сеть, состоящую из генератора и дискриминатора. Задача генератора по имеющимся в обучающей выборке видео научиться генерировать правдоподобные объекты. Задача дискриминатора определить, является ли полученное на вход видео сгенерированным, или принадлежащим к тестовой выборке. Таким образом эти две сети играют в антагонистическую игру.

Используемые в работе признаки – положение основных лицевых маркеров (губы, нос, глаза и т. д.) на изображении, а также Мел-частотные кепстральные коэффициенты (MFCC).

В качестве основы генератора в настоящей работе выбрана архитектура U-Net для уменьшения времени обучения. В качестве слоев обработки используем сверточные слои. Нейронная сеть разделена на две половины. В первой половине (понижающей) идет уменьшение карты признаков в два раза (см. рис. 1). В операциях свертки применяются двумерные фильтры размера 3×3 . Такой размер дает достаточную точность данных и при этом не требует больших затрат на вычисление каждой свертки. Кодирование аудио также состоит из последовательности сверточных слоев, но без уменьшения размерности. Такая архитектура позволяет уделить внимание самым важным признакам на видео и сопоставить их с основными признаками аудиодорожки.

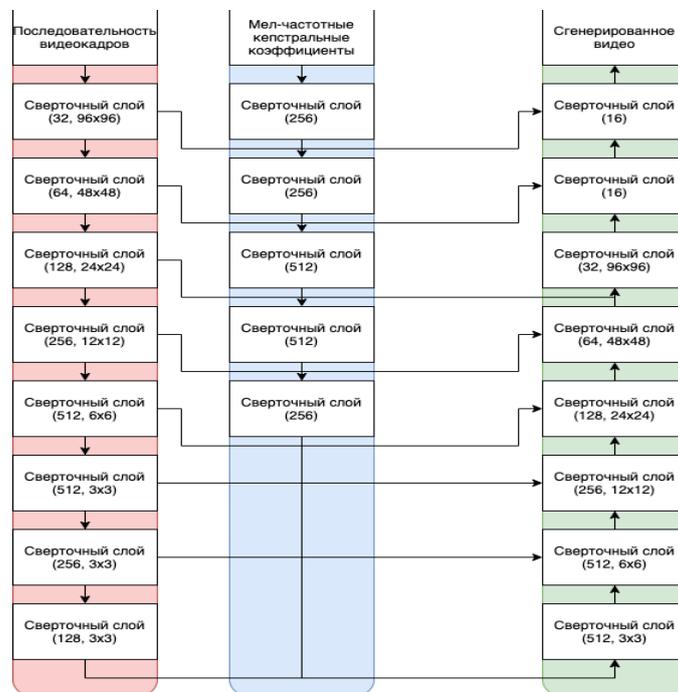


Рис. 1. Архитектура генератора

Вторая часть сети (повышающая) состоит из транспонированных сверточных слоев, которые, наоборот, увеличивают размер изображения, основываясь на данных

пришедших с предыдущего слоя, а также информации о видео с первой половины сети. Данные для i -го слоя второй половины сети вычисляются следующим образом:

$$x_{up_i} = \text{concat}(x_{down_i}, x_{prev}), \quad (1)$$

где x_{up_i} – данные с i -го повышающего слоя, x_{down_i} – данные с i -го понижающего слоя, x_{prev} – данные с предыдущего слоя нейронной сети.

Используемая функция потерь — средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE [6]).

Дискриминатор принимает на вход сгенерированное видео, и исходную аудиодорожку. Результат рассчитывается по закодированным данным, не применяя обратные сверточные слои (см. рис 2). После обработки признаков необходимо посчитать вероятность того, что исходный объект был сгенерирован генератором. Дискриминатор использует функцию контрастных потерь:

$$L = \sum_{(i,j)}^m (y_{i,j} d_{i,j} + (1 - y_{i,j}) \max(0, \alpha - d_{i,j})^2), \quad (2)$$

где $y_{i,j}$ – метка, равная $-/+1$, которая зависит от цветовых показателей пикселя на изображениях, $\alpha = 3$ – коэффициент, по которому определяется, стоит ли включать информацию о пикселях в функцию потерь. При таком значении мы не рискуем взять пиксели, которые слишком далеко отходят от нашего, и при этом учитываем достаточно большое количество пикселей, чтобы результат был точным, $d_{i,j}$ – расстояние между i -м пикселем первого изображения и j -м пикселем второго изображения.

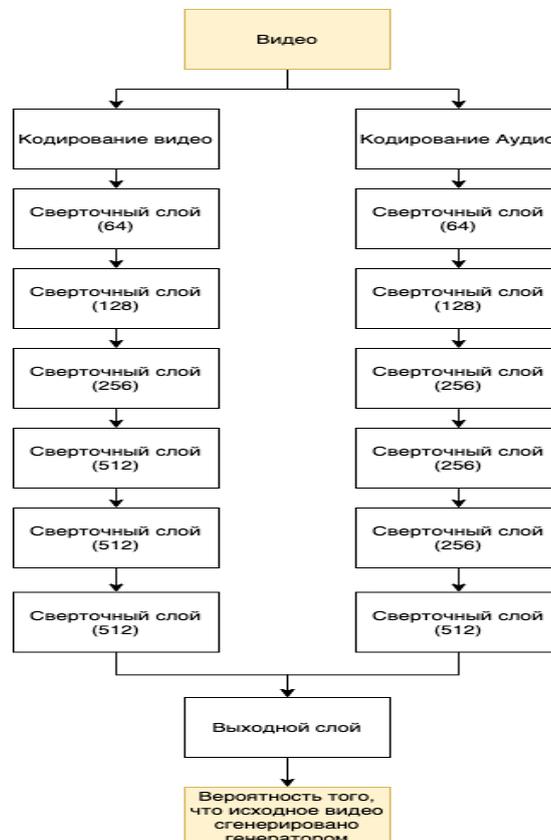


Рис. 2. Схема дискриминатора

Результаты вычислений нейронной сети оценивались по трем параметрам оценки схожести изображений – MSE (Среднеквадратичная ошибка), PSNR (Пиковое соотношение сигнала к шуму) и SSIM (Индекс структурного сходства). Данные метрики использовались в сравнении с существующими решениями задачи генерации видео по звуковой дорожке. Итоговые результаты приведены в таблице.

Таблица

Итоговые результаты

Метод\среднее значение	MSE	PSNR	SSIM
Speech2Vid [3]	101	34,5	0,91
LipGAN [4]	86	33,4	0,96
Wav2Lip [5]	76	37,5	0,98
Audio2face [6]	112	32,5	0,89
Представленный в работе	138	26,99	0,82

Было проведено моделирование потерь в канале связи, в результате которых некоторые кадры были потеряны в процессе передачи (см. рис. 3).

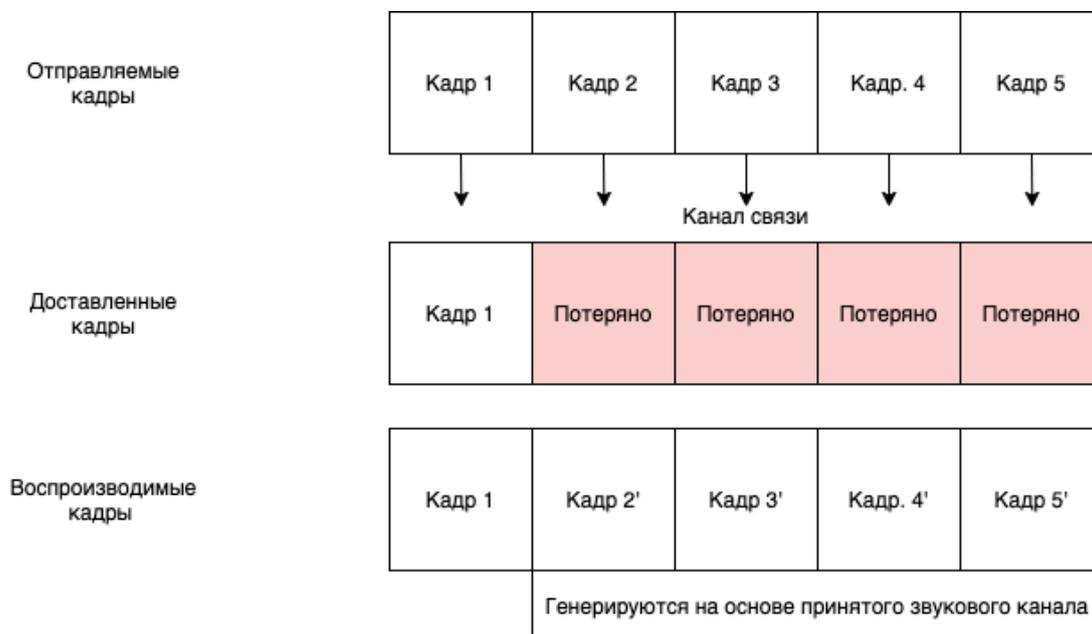


Рис. 3. Схема моделирования потерь кадров при передаче

Получена зависимость PSNR от количества пропущенных кадров видео представленная на рис. 4. Данная зависимость показывает, что в случае выпадения нескольких десятков кадров, мы все еще можем получить видео, сопоставимое по качеству с оригиналом.

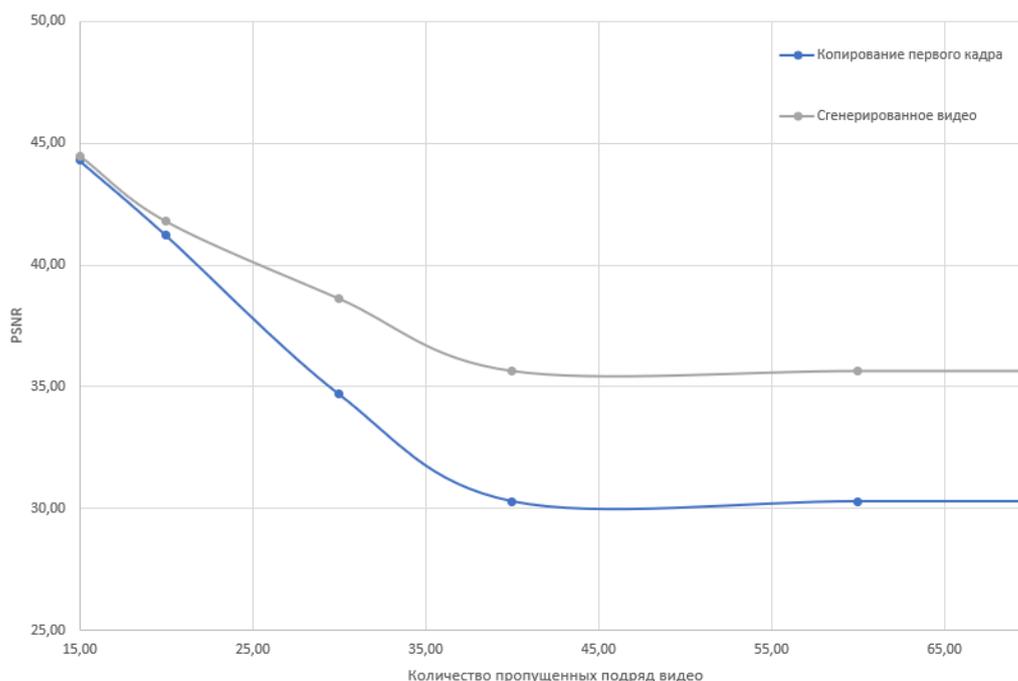


Рис. 4. Зависимость параметра PSNR от продолжительности видео

В ходе работы было реализовано моделирование изображений лица с использованием речевого сигнала при помощи нейронных сетей. Реализация алгоритма требует опорное изображение и набор аудиоданных, а значит может использоваться без дополнительного оборудования в т. ч. без использования сенсора с высоким объемом памяти.

Реализация включает в себя функции позволяющие сгенерировать как один недостающий кадр, так и целую последовательность изображений по звуковой дорожке и одному исходному изображению, или серии изображений.

Так как нейронная сеть состояла из меньшего количества слоев, чем в представленных выше работах, и не использовала технологии повышения качества изображения, результат на видео получился хуже, чем у аналогов, но достаточно хорош, чтобы использовать его в системах видеоконференцсвязи. При этом скорость, с которой производились вычисления, была в несколько раз быстрее аналогов (40 мин против 2,5 часов при одинаковых входных данных).

Тестовая симуляция показывает, что в случае потери нескольких последовательных кадров видео, мы можем восстановить изображение по опорному кадру с достаточно высокой точностью, чтобы имитировать непрерывный разговор, снижая таким образом нагрузку на сеть одного из собеседников.

Литература

1. Lai J., Widmar N.O. Revisiting the Digital Divide in the COVID-19 Era //Applied economic perspectives and policy. 2021. Т. 43. №. 1. С. 458-464.
2. Goodfellow I.J. et al. Generative adversarial networks //arXiv preprint arXiv:1406.2661. 2014.
3. Jamaludin A., Chung J.S., Zisserman A. You said that?: Synthesising talking faces from audio //International Journal of Computer Vision. 2019. Т. 127. №. 11. С. 1767-1779.
4. KR P. et al. Towards automatic face-to-face translation //Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia. 2019. С. 1428-1436.

5. Prajwal K.R. et al. A lip sync expert is all you need for speech to lip generation in the wild //Proceedings of the 28th ACM International Conference on Multimedia. 2020. С. 484-492.
6. Tian G., Yuan Y., Liu Y. Audio2face: Generating speech/face animation from single audio with attention-based bidirectional lstm networks //2019 IEEE international conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW). IEEE. 2019. С. 366-371.

Якимов Ярослав Дмитриевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №N3447,

направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,

e-mail: yaroslav@itmo.ru

Коржук Виктория Михайловна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: vmkorzhuk@itmo.ru

УДК 004.056

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЗАЩИТЫ СИСТЕМ
РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Я.Д. Якимов

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.М. Коржук

Аннотация

В работе рассмотрено противодействие состязательным атакам в системах распознавания объектов на изображениях. Предложен алгоритм от состязательных атак на основе детектирования и очистки. Проведены серии экспериментов на данных приближенных к реальным условиям. Результаты экспериментов свидетельствуют об улучшении эффективности распознавания в среднем на 20% при реализации атаки при сравнении с обычной классифицирующей моделью нейронной сети.

Ключевые слова

Информационная безопасность, машинное обучение, состязательные атаки, автоэнкодер, распознавание объектов.

Благодаря цифровизации, созданные системы распознавания объектов на основе машинного обучения используются в различных сферах повседневной жизни. Их внедряют в системы городского видеонаблюдения, в системы контроля и управления доступом (СКУД), а также в беспилотные транспортные средства (БТС), с целью проведения дополнительных мер контроля и улучшения показателей безопасности. Они показывают высокие показатели обнаружения, распознавания и классификации объектов на множестве различных данных. Однако недавние работы в исследовании проблем использования нейронных сетей и машинного обучения в целом демонстрируют, что системы распознавания с использованием нейронных сетей уязвимы к специально сгенерированным искажениям на изображениях или видеоматериалах – состязательным атакам. Данные искажения тщательно созданы для модификации входных данных в DNN и могут привести к неожиданному и потенциально опасному поведению систем, которыми управляет компьютерное зрение. Сбой в работе систем в БТС может напрямую повлечь за собой жертвы среди пассажиров автомобилей, если компьютерное зрение используется в системе автопилотирования. Кроме того, возможны жертвы и среди пешеходов или водителей других автомобилей, когда системы распознавания объектов дадут сбой. При

неправильном проектировании системы распознавания объектов БТС может принять неправильное решение о необходимых действиях – остановка, ускорение, или же маневр перестроения.

Рассматривая аналогичные работы по защите систем распознавания объектов на изображениях, многие исследователи отмечают, что при применении различных алгоритмов защиты существует проблема со снижением точности на оригинальных изображениях. Таким образом разработанный алгоритм соответствует следующим требованиям:

- наличие отдельного модуля, который распознает состязательные сигнатуры на изображениях;
- наличие отдельного модуля для проведения очистки состязательных искажений на изображениях;
- использование алгоритма минимально влияет на точность распознавания обычных изображений моделью;
- возможность замены каждого из модулей для актуализации базы изображений или замены датасета.

Для детектирования состязательных атак использовался небольшая нейронная сеть на основе архитектуры ResNet. Похожий пример предложила ассоциация Linux Foundation Artificial Intelligence and Data (LF AI&DATA). В данную ассоциацию входят одни из крупнейших IT-гигантов рынка – AT&T, Baidu, Huawei, IBM, Tencent и др. Согласно исследованию [1], для точности детектирования более 90% достаточно сети с архитектурой ResNet-32 с обратной кроссэнтропией (RCE).

Одним из наиболее эффективных способов для защиты от состязательных искажений является очистка изображения от них. Так как на вход данного модуля поступает уже заведомо искаженное изображение, по решению детектора, то данному модулю нет необходимости как-либо перепроверять входные данные.

Обработка данных с помощью автоэнкодеров перед их классификацией позволяет восстановить уровень точности, сниженный из-за состязательных искажений. Автоэнкодер – это нейронная сеть, которая воспроизводит выходные данные, которые приблизительно эквивалентны входным данным с помощью заданных функций кодера и декодера. Традиционный автоэнкодер обучается на базовом распределении обучающих данных, которое используется для восстановления ввода на выходе. Данный подход можно выгодно использовать, обучая шумоподавляющего автоэнкодер (DAE) нормальным и состязательным изображениям, которые связаны с оригинальным изображением. В результате автоэнкодер на основе векторного поля изображения сможет отобразить чистое представление данного изображения. После обучения DAE с использованием как неповрежденных, так и поврежденных данных, выходные данные будут состоять только из чистых изображений.

Архитектура данного модуля основывается на архитектуре WIN5-RB, рассмотренная и подтвержденная в исследовании [2]. Она позволяет убирать шум в режиме *blind denoising* – режим, когда мы не знаем какой уровень шума в изображении, применяется. Это позволяет использовать один модуль для полного удаления шума.

На первом этапе работы алгоритма, на вход подаются изображения или кадры из видеопотока. Разрешение входных изображений зависит от конкретной реализации модулей и классифицирующей модели. Данные изображения попадают в модуль детектора. Модуль, заранее обучаемый на состязательных примерах определяет наличие сигнатур атаки. Если детектор не определил наличие состязательных искажений, то данное изображение напрямую передается в классифицирующую модель для дальнейшей обработки в системе распознавания.

При обнаружении сигнатуры состязательной атаки начинается процесс очищения изображения. Модуль детектора передает сигнал и входное изображение на модуль

очистки для дальнейшей обработки. Изображение, проходящее через модуль очистки модифицируется таким образом, чтобы максимально снизить уровень искажений и предоставить очищенное изображение в модель классификации.

Для перепроверки работы модулей и недопущения состязательных примеров в основную модель – очищенное изображение проходит вновь через модуль детектора. Если детектор выдаст отрицательный результат, то изображение поступит в модель распознавания для дальнейшей обработки.

При повторном обнаружении сигнатуры состязательной атаки – изображение вновь проходит через модуль очистки. Данная процедура продолжается либо пока детектор не выдаст отрицательный результат о наличии искажений, либо по прошествии 5 циклов детектирования и очистки. После прохождения пятого цикла – входное изображение и очищенное на последнем шаге передаются оператору для дальнейшего принятия решения об необходимых действиях. На рис. 1 изображена блок-схема разработанного алгоритма работы.

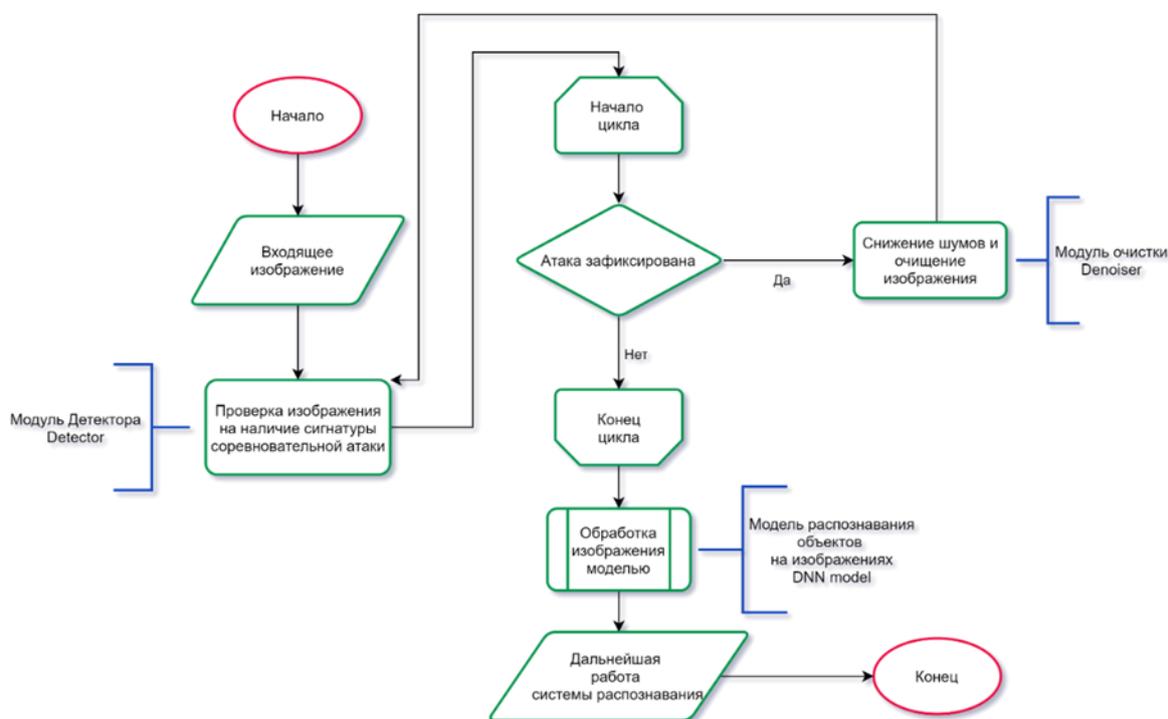


Рис. 1. Разработанный алгоритм защиты

Дальнейшая работа системы распознавания зависит от конкретной реализации и требований. При необходимости каждый из модулей может быть заменен или отключен

Так как целью модуля детектора является классификация по принципу «состязательное» или «обычное изображение», то модель для этого модуля обучается по методу «с учителем». Для этого необходим размеченный датасет, содержащий сами изображения и метки к ним. Модуль очистки работает на архитектуре автоэнкодера, соответственно, он обучается по методу «без учителя». Для обучения используются оригинальные изображения и аналогичные, но зашумленные.

Для проведения экспериментов и оценки работы алгоритма была разработана реализация алгоритма на языке программирования Python с использованием библиотеки TensorFlow и модуля keras. Этапы проведения экспериментов представлены на рис. 2.

Эксперименты проводились с использованием реальных изображений объектов. Для этого был выбран датасет German Traffic Sign Recognition Benchmark (GTSRB) [3]. В отличие от наборов данных MNIST и CIFAR, GTSRB – это набор данных для тестирования в условиях реального мира, то есть классификацией дорожных знаков. Изображения в этом наборе данных являются экземплярами физических дорожных знаков, причем каждый реальный дорожный знак встречается только один раз. Датасет содержит в себе 43 класса, разделенных на 39 209 обучающих изображений и 12 630 валидирующих изображений

Пример работы реализации на этапе 2 представлены на рис. 3. На изображения накладываются искажения наиболее приближенные к реальным условиям, когда на дорожных знаках присутствуют посторонние предметы – наклейки или надписи. Они могут негативно сказаться на способность модели распознать правильно класс знака.

Визуализация очистки изображений от состязательных искажений, в данном случае от патчей, представлена на рис. 4.



Рис. 2. Этапы проведения экспериментов

Для проведения экспериментов вводилось допущение, что разработанные модули детектора и очистки модуля не подвержены каким-либо видам атак. Количество экспериментов выбиралось эмпирически на основании опыта аналогичных исследований методов защиты систем распознавания и показателя точности распознавания объектов на изображениях.

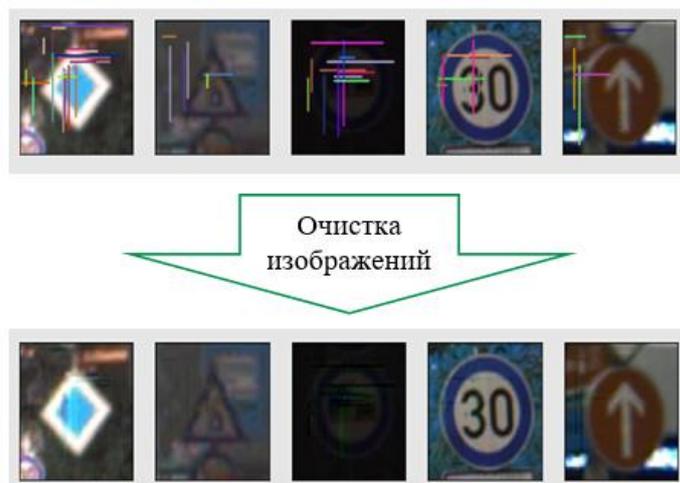


Рис. 3. Процесс наложения искажений

Проводилась оценка уровня ложноположительных срабатываний и эффективности распознавания с использованием реализации разработанного алгоритма. Для оценки результатов проведенных экспериментов использовался метод сравнения с классифицирующей моделью без использования разработанного алгоритма.



Рис. 4. Визуализация процесса очистки изображений

Результаты проведения экспериментов, с указанием количества патчей, наличием при проведении разработанного алгоритма, и показателя точности распознаванием, представлены в виде графика на рис. 5. График позволяет провести

наглядное сравнение работы системы распознавания с и без использования разработанного алгоритма.

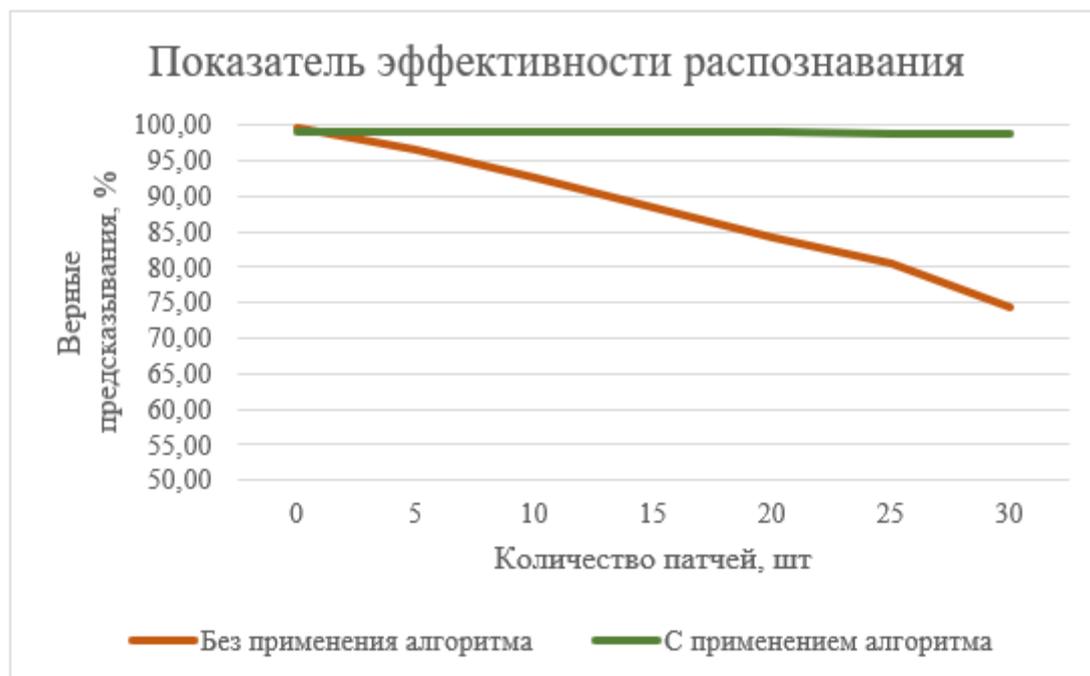


Рис. 5. График эффективности распознавания

Падение точности распознавания объектов без использования разработанного алгоритма связано с тем, что патчи закрывают основную часть знака. Это мешает модели правильно определить класс знака, и она принимает ложные решения. Таким образом, использование модели в чистом виде не представляется возможным, так как при применении в реальных условиях она может представлять опасность для всей инфраструктуры в целом. С применением алгоритма точность классификатора остается на уровне выше 98%. Оставшиеся менее 2% могут быть переданы для уточнения результатов оператору, который примет решение о выборе класса. Это позволит провести дообучение модулей в дальнейшем.

По обоим показателям – эффективности распознавания и количеству ложноположительных срабатываний использование алгоритма значительно улучшает работу обычной модели нейронной сети для классификации. Это позволит использовать её для важных задач, где требуется надежность компонентов. Временные затраты на обучение модулей варьируются в зависимости от характеристик компьютера, на котором оно производится. В частности, они зависят от модели видеокарты и процессора персонального компьютера или сервера. Важным является то, что данные затраты необходимы редко – при смене датасета или же при реагировании на какие-либо инциденты, связанные с работой системы распознавания. Данные инциденты могут повлечь за собой пересмотр датасета и изменению вектора защиты, например, необходимо будет включить еще один вид состязательных примеров в обучающую выборку. Временные затраты на обработку изображения составляют менее 1 секунды, поэтому не являются критичными и не использовались в оценке.

Эффективность распознавания при максимальном наложении патчей в количестве 30 штук составила 98%, что показывает рост в среднем на 24% в случаях, когда количество патчей превышает 25 по сравнению с классифицирующей моделью без применения предложенного алгоритма. В итоге предлагаемый алгоритм повышает

уровень целостности и доступности в системах распознавания объектов с использованием машинного обучения.

Дальнейшее развитие разработанного алгоритма предполагает добавление различных модулей очистки для защиты от большего числа состязательных искажений. Более того, планируется применить популярные практики для защиты самих модулей от возможных состязательных атак.

Литература

1. Pang T., Du C., Dong Y., Zhu J. Towards robust detection of adversarial examples // arXiv, 2017.
2. Liu P., Fang R. Wide inference network for image denoising via learning pixel-distribution prior // arXiv, 2017.
3. Stallkamp J., Schlipsing M., Salmen J., Igel C. Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition // Neural Networks. 2012. № 32 (32). С. 323–332.

Гага Виктория Андреевна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет биотехнологий,

студент группы №Т3417,

направление подготовки: 19.03.02 – Продукты питания из растительного сырья,

e-mail: Stranikineba@gmail.com

Иванова Вера Анатольевна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО,

факультет биотехнологии,

к.т.н., ассистент,

e-mail: vaivanova@itmo.ru

УДК 663.46

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК ОСТАТОЧНЫХ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ

В.А. Гага

Научный руководитель – к.т.н., ассистент В.А. Иванова

Аннотация

В работе проводится исследование адсорбционных свойств клеточных стенок остаточных пивных дрожжей для повышения коллоидной стойкости пива в сравнении с используемым в пивоварении сорбентом – силикагелем марко “ТОВЕСОРБ” (Россия) и “Брайтсорб” (Нидерланды). Доказана возможность использования препарата клеточных стенок для адсорбции коллоидных соединений пива (осветления пива). Выявлена оптимальная дозировка препарата клеточных стенок для увеличения коллоидной стойкости исследуемого готового продукта.

Ключевые слова

Коллоидная стабильность пива, адсорбция, остаточные пивные дрожжи, силикагель, нефильтованное пиво, обратимое помутнение.

Согласно данным Росстата производство пива в России за 2020 год выросло на 4%, что естественно приводит увеличению применения вспомогательных материалов для осветления и стабилизации пива, например, силикагелей, кизельгура. Некоторые вспомогательные материалы, позволяющие продлить сроки годности готового продукта являются дорогостоящими, а их переработка и утилизация сложна и энергоемка. Кроме этого растут объемы вторичных ресурсов пивоварения – остаточных пивных дрожжей и пивной дробины, которые можно перерабатывать и использовать в различных отраслях промышленности.

Основной причиной коллоидной нестабильности пива является полимеризация полифенолов и их взаимодействие со специфическими (чувствительными) белками. Когда пиво охлаждается ниже 0 °С, образуется холодная дымка, состоящая из обратимой реакции полимеризованных полифенолов и белков с образованием комплексов. Когда пиво нагревается до комнатной температуры, эта дымка снова растворяется, и пиво снова становится прозрачным. Образование дымки усиливается по ряду факторов, но температура хранения оказывает наибольшее влияние на образование помутнения, поскольку повышение температуры увеличивает скорость реакции [1].

Большинство сортов пива осветляются после ферментации/созревания для получения пива без помутнения. Фильтрация проводится для улучшения качества пива, особенно органолептических характеристик, цвета и коллоидной стабильности с использованием кизельгура. Кизельгур добавляют в пиво для формирования пористого слоя на поверхности фильтра. Происходит механическое блокирование частиц суспензии, при котором крупные частицы удерживаются на поверхности, а мелкие - в порах. Фильтрующая среда может легко насыщаться, поскольку поры могут заполниться быстро. Обычно 1 л пива насыщает примерно 0,2–0,3 г диатомовой земли. Следовательно, образуется большое количество отходов, которым требуется соответствующая переработка. Поэтому этот вид фильтрации необходимо заменить или дополнить другими методами фильтрации. Фильтрация состоит из добавления порошков в пиво внутри фильтров, создавая пористые слои на поверхности фильтров. Порошок и вода смешиваются, деаэрируются и закачиваются в фильтруемое пиво, чтобы обеспечить новый слой среды. Зачастую применяются различные по типу фильтры: пластинчатые, рамные, листовые [2].

Силикагель избирательно адсорбирует белки, при этом одновременно частично удаляются полифенолы, которые входят в белково-дубильные комплексы. Адсорбент рекомендуют вносить в процессе второго предварительного намыва из расчета 30–50 г/м² площади фильтра. Время контакта пива со адсорбента при этом составляет лишь несколько минут, однако, этого вполне достаточно для проявления стабилизирующего эффекта (в течение 5 мин выдержки удаляется до 90 % замутняющих белков) [3].

Силикагель как вспомогательный материал для повышения коллоидной стойкости пива дорогостоящий - стоимость «ТОВЕСОРБ» - 150 руб. / кг, «Брайтсорб» - 210 руб. / кг, поэтому необходимо разрабатывать другие способы стабилизации пива [4]. В этих целях предлагается сравнить адсорбционную способность силикагелей и клеточных стенок дрожжей.

Дрожжевые клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* содержат все субклеточные структуры, типичные для эукариот. Для разрушения биополимеров дрожжевой клетки применяли автолиз [5].

Выбраны следующие объекты исследований:

- препарат клеточных стенок остаточных пивных дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* штамм 34\70;
- силикагель Брайтсорб (Нидерланды);
- силикагель «Тобисорб» (Уфа);
- товарные образцы светлого нефилтрованного пива до и после фильтрации.

Перед изучением адсорбционных способностей клеточных стенок дрожжей, было исследовано морфофизиологическое состояние дрожжевой культуры, чтобы выявить целесообразность использования для дальнейшего технологического процесса. По результатам микроскопии остаточные пивные дрожжи вид *Saccharomyces cerevisiae* штамм W34/70 имеют морфологические признаки вида. Форма клеток яйцевидная, овальная, круглая. По цитологическим особенностям клетки зрелые и старые. У них зернистая, неоднородная цитоплазма; средние и крупные вакуоли; клетки имеют утолщенную оболочку.

При проведении окрашивания раствором Люголя, содержание гликогена в клетках было выявлено лишь в 50% клеток (рис. 1).

Подсчет бесцветных и окрашенных клеток после окрашивания метиленовым синим показал, что культура содержит 16,2% мертвых клеток (рис. 2). Таким образом, данная культура остаточных пивных дрожжей нежелательна для дальнейшего использования в технологическом процессе.



Рис. 1. Фотография дрожжей после окрашивания раствором Люголя

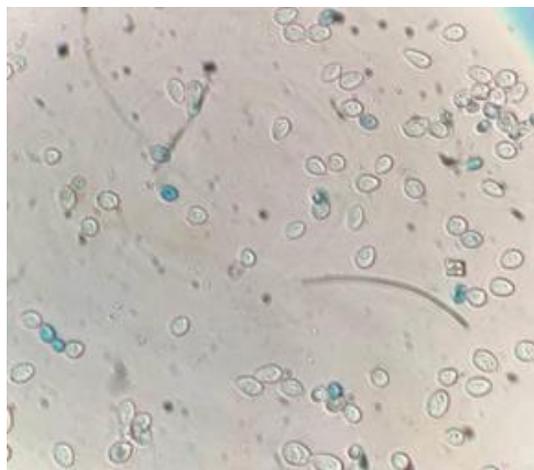


Рис. 2. Фотография дрожжей после окрашивания метиленовым синим

При оптимальных условиях технологического процесса дрожжевая популяция клеток может содержать число мертвых клеток, не превышающее 5%. Для оценки эффективности проведения автолиза использовали микроскопирование с контрастным окрашиванием по Граму. В результате такого воздействия клетки с поврежденной клеточной стенкой приобрели розовый цвет, а неповрежденные клетки окрашивались в темно фиолетовый. По проценту неповрежденных клеток рассчитывали количество разрушенных. Эффективность автолиза в результате обработки данных составила 53 %.

Далее были проведены исследования товарных образцов пива светлого нефiltrованного, полученные характеристики в табл. 1.

Согласно данным, представленным в табл. 1, в качестве модельного пива использовался образец пива «Домашнее Василеостровское», которое позволяет наиболее точно оценить эффективность работы сорбента за счет наличия значительного количества обратимых белковых помутнений и клеток дрожжей. При сравнении динамики изменения мутности образцов после фильтрации было выявлено, что препарат КС в образце пива «Домашнее Василеостровское» эффективнее силикагелей справился с удалением коллоидов, вызывающих помутнение, что представлено на рис. 3. Эффективная дозировка «ТОВЕСОРБ» и «Брайтсорб» - 30 г/гл; в этих дозировках достигаются максимальные сорбционные свойства силикагелей. Эффективная дозировка препарата клеточных стенок дрожжей, выявленная в ходе экспериментов, составила 60 г/гл.

После фильтрации образцы исследовали на стойкость к охлаждению с помощью теста «предел осаждения белка сульфатом аммония». Согласно исследуемой методике расход сульфата аммония тем больше, чем меньше содержание белковых соединений. Результаты теста показали, что в образцах после фильтрации через сорбенты уменьшилось содержание белков, следовательно, качество и стойкость к обратимому помутнению пива увеличились. При этом, препарат клеточных стенок при фильтрации 2 образца показал лучший результат по адсорбции белков, что представлено в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики товарных образцов пива светлого нефильтрованного

Наименование	Содержание спирта, % об.	Начальная экстрактивность сула, %	Содержание сухих веществ, %	Концентрация клеток дрожжей, млн/мл	Склонность к холодным белковым помутнениям
“Wissberg” Светлое нефильтрованное непастеризованное пиво	4,7	12,0	6,4	0,05	Средняя склонность
“Домашнее Василеостровское” Светлое нефильтрованное непастеризованное пиво	4,5	12,0	6,9	0,10	Высокая склонность
Schneider Weisse “TAP 01” Hello Weisse Светлое нефильтрованное непастеризованное пиво	4,9	12,5	6,0	2,40	Низкая склонность



0) сорбент отсутствует, 1) «ТОВЕСОРЬ»,
2) «Брайтсорб», 3) препарат КС;

Рис. 3. Сравнение динамики изменения мутности после фильтрации

Результаты оценки стойкости к охлаждению

Образец пива	Адсорбент	Количество сорбента, г/гЛ	Мутность, ед. ЕВС	Объем сульфата аммония, мл
Домашнее ВО	-	-	6,57	7
	Силикагель Брайтсорб	30	4,45	9
	Силикагель Тобисорб	30	4,75	8
	Препарат клеточных стенок	60	2,63	10

Доказана возможность использования препарата клеточных стенок остаточных пивных дрожжей для адсорбции коллоидных соединений (осветления) пива. Дозировка в 60 г/гЛ препарата увеличивает коллоидную стойкость исследуемого готового продукта, способствует селективной адсорбции белков и приводит к снижению мутности исследуемых образцов пива на 3-4 ед. ЕВС.

В заключение необходимо отметить важность продолжения исследований для более детального изучения сорбционных свойств препаратов в отношении отдельных видов помутнений, а также для масштабирования изучаемых процессов и проверки полученных результатов в производственных условиях.

Литература

1. Дедегкаев А.Т. Коллоидные помутнения в пиве. Причины их возникновения. // Индустрия напитков. 2005. №2. С.20-26.
2. Dos Santos Bernardi G., Magro J.D., Mazutti M.A., Oliveira J.V., Di Luccio M., Zobot G.L., & Tres M.V. Microfiltration for Filtration and Pasteurization of Beers. // Engineering Tools in the Beverage Industry. 2019. P. 405–434. doi:10.1016/b978-0-12-815258-4.00013-5.
3. Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т., Афонин Д.В. Качество пива. Стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегустация. СПб.: ИД «Профессия». 2011. 224 с.
4. Визен Э., Гастл М., Бекер Т. Идентификация помутнений в пиве, ч. 2. // Мир пива. 2012. № 1. С. 58–64.
5. Ахмадышин Р.А. и др. Изучение влияния протеолиза дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* на адсорбционные свойства клеточной стенки и качество дрожжевого экстракта // Катализ в промышленности. 2008. №4. С. 41-46.

Гаспаров Владислав Мартинович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3431,

направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления

движением и навигация,

e-mail: frosty3221@mail.ru

Золотаревич Валерий Павлович

Год рождения: 1976

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: vpzolotarevich@itmo.ru

УДК 681.5.073

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАЗОВОГО
И АМПЛИТУДНОГО МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ
ВЫХОДНОГО СИГНАЛА В ОДНОМАССОВОМ
МИКРОМЕХАНИЧЕСКОМ ГИРОСКОПЕ R-R ТИПА**

В.М. Гаспаров

Научный руководитель – к.т.н., доцент П. Золотаревич

Аннотация

Рассматривается способ получения полезной информации об угловой скорости в микромеханическом гироскопе путем измерения разности фаз сигналов первичных и вторичных колебаний. Приведены теоретические сведения и результаты моделирования, описывающие принципиальную возможность использования такого подхода к измерению угловой скорости. Показано, что такой способ обладает рядом преимуществ по отношению к классическому синхронному детектированию, при наличии внешних механических и температурных воздействий.

Ключевые слова

Сравнительный анализ, выделение полезного сигнала микромеханического гироскопа, фазовый метод детектирования, синхронный метод детектирования, амплитудный метод детектирования.

Введение

Существующие на рынке микромеханические гироскопы построены по схемам кориолисовых вибрационных гироскопов различных конструкций [1]. Повсеместное использование, популярность и низкая стоимость данных датчиков создает конкуренцию среди производителей, вследствие чего компании, производящие подобные устройства ставят перед собой задачи повышения устойчивости приборов к внешним воздействиям и улучшению точности выходных данных [2, 4].

В реферате рассматривается подход, основанный на обработке информационных сигналов одномассового микроэлектромеханического гироскопа (ММГ) R-R-типа о движении его ротора по осям первичных и вторичных колебаний [5]. В отличие от синхронного детектирования, восстанавливающего информацию об угловой скорости из огибающей сигнала вторичных колебаний ротора гироскопа, предлагаемый метод основан на получении сигнала об угловой скорости из соотношения фазы первичных и вторичных колебаний [6, 7]. В реферате приводятся теоретическое обоснование метода,

результаты компьютерного моделирования и верификации модели.

Целью работы является сравнение изменения характеристик выходных сигналов гироскопа (смещения нуля и масштабного коэффициента) при воздействии наиболее значимых для конструкции внешних факторов (линейные ускорения вдоль оси первичных колебаний и влияние температуры на характеристики узлов), сформированных традиционным синхронным детектированием и исследуемым способом фазового детектирования.

Теоретическое обоснование метода

Динамика ротора рассматриваемого одномассового дискового ММГ описывается известными упрощенными соотношениями по осям первичных и вторичных колебаний [3]:

$$J_z \ddot{\gamma} + \mu_\gamma \dot{\gamma} + c_\gamma \gamma = M_z, \quad (1)$$

$$J_x \ddot{\alpha} + \mu_\alpha \dot{\alpha} + c_\alpha \alpha = M_x, \quad (2)$$

где: J_z, J_x – моменты инерции ротора относительно осей X и Z соответственно; α, γ – углы отклонения ротора ММГ относительно осей X и Z соответственно; μ_α, μ_γ – коэффициенты демпфирования колебаний ротора относительно осей X и Z соответственно; c_α, c_γ – жесткости подвеса ротора ММГ относительно осей X и Z соответственно; M_x, M_z – моменты внешних сил относительно осей X и Z.

К моментам внешних сил относительно оси Z относят момент двигателя, создающего первичные колебания инерционной массы с заданной величиной и стабильностью кинетического момента. К моментам внешних сил относительно оси X как правило относят моменты сил Кориолиса $M_{КОР}$ и прочие паразитные, с точки зрения определения угловой скорости, моменты. Анализ же полных уравнений динамики показывает, что все моменты можно разделить на следующие группы:

- моменты M_K , модулированные основной гармоникой первичных колебаний ротора и синфазные с угловой скоростью первичных колебаний (включая момент сил Кориолиса);
- моменты M_C , модулированные основной гармоникой первичных колебаний ротора, фаза которых отличается на 90° , синфазные по отношению к углу первичных колебаний и квадратурные по отношению к угловой скорости первичных колебаний и, соответственно, моменту сил Кориолиса;
- прочие моменты $M_{ПР}$.

Таким образом, суммарный момент M_x в правой части уравнения динамики ротора относительно оси X может быть переписан в виде (3):

$$M_x = M_C \sin(\nu_\gamma t) + (M_K + M_{КОР}(\omega_\gamma)) \cos(\nu_\gamma t) + M_{ПР}, \quad (3)$$

где ν_γ – собственная частота первичных колебаний, ω_γ – угловая скорость движения основания.

Отбросив из рассмотрения прочие моменты, фильтруемые механической системой, выражение для суммарного момента можно представить в виде:

$$M_x(\omega_\gamma) = M(\omega_\gamma) \cos(\nu_\gamma t + \phi(\omega_\gamma)), \quad (4)$$

$$M(\omega_\gamma) = \sqrt{(M_K + M_{КОР}(\omega_\gamma))^2 + M_C^2}, \quad (5)$$

$$\phi(\omega_Y) = \arctg\left(\frac{M_K + M_{КОР}(\omega_Y)}{M_C}\right) - \frac{\pi}{2}, \quad (6)$$

где $\phi(\omega_Y)$ – фаза сигнала суммарного момента, действующего по оси X.

Важным в выражениях (1)-(6) является то, что в отличие от модели идеального микромеханического гироскопа, с отсутствующими перекрестными связями между каналами первичных и вторичных колебаний, кроме момента сил Кориолиса, в реальном гироскопе всегда имеются паразитные моменты, вызванные неточностями изготовления. Например, такие моменты порождаются перекосом главной оси ротора гироскопа или его динамическим дисбалансом. При стандартной процедуре выделения полезной информации эти моменты являются вредными, и являются причинами отбраковки датчиков. Однако именно в этом случае, в реальном гироскопе действующая скорость основания оказывает влияние не только на амплитуду вторичных колебаний, но и на их фазу.

Исследуемый в статье фазовый метод измерения основан на оценке угловой скорости основания, действующей на гироскоп, по сигналу изменения фазы вторичных колебаний по отношению к первичным колебаниям.

Результаты моделирования

А. Верификация модели

Для проведения исследования была составлена схема в системе Matlab Simulink, которая была верифицирована в соответствии с существующим аналогом, испытанном на экспериментальной установке. Верификация заключалась в подборе величин M_c и M_k в математической модели гироскопа так, чтобы графиков выходных сигналов фазового и синхронного детекторов при моделировании соответствовали экспериментальным. Результаты верификации модели по экспериментальным данным, полученным с синхронного и фазового детекторов (СД и ФД, соответственно) реального гироскопа представлены ниже на рис. 1 и 2. Синим цветом на графиках обозначен выходной сигнал гироскопа с СД, зеленым с ФД, красным – амплитуда первичных колебаний, демонстрирующая динамику разгона ротора по оси первичных колебаний с момента включения гироскопа. При этом в реальном эксперименте гироскоп был установлен на подвижное основание, задающее переменную угловую скорость с амплитудой $50^\circ/\text{с}$ и частотой 20 Гц, а в модели угловая скорость задавалась с этими же параметрами в виде входного сигнала по угловой скорости движения основания ω_Y .

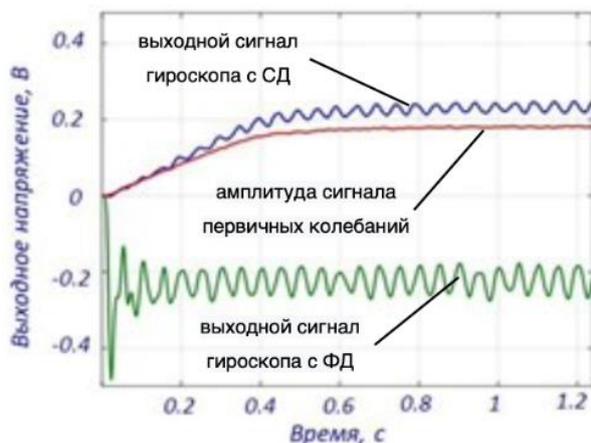


Рис. 1. Результат эксперимента

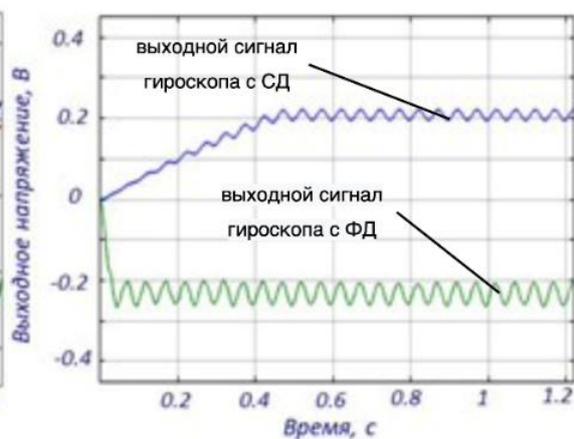


Рис. 2. Результат моделирования

Исходя из графиков можно видеть, что даже упрощенная обобщенная математическая модель при подборе всего двух значений параметров M_c и M_k с высокой точностью описывает поведение выходных сигналов реального гироскопа и может быть использована для дальнейшего анализа.

Б. Исследование влияния внешних воздействий

Для сравнения работы фазового и синхронного методов было проведено исследование влияния наиболее существенных внешних воздействующих факторов на характеристики выходных сигналов - смещение нуля и коэффициент преобразования, как для синхронного, так и для фазового детектора.

Наиболее существенными факторами [8, 9] были выбраны:

1. Линейное ускорение вдоль оси Z в диапазоне от -1000 до 1000 m/s^2 , приводящее к изменению характеристик применяемых датчиков углов и моментов.
2. Температура в диапазоне от -40 $^{\circ}C$ до $85^{\circ}C$.

Исследование влияния температуры проводилось, с учетом того, что изменение температуры, в большей степени влияет на узлы ММГ, вызывая отклонение параметров относительно номинальных значений. Наиболее значащими параметрами в этом случае являются – добротность контура вторичных колебаний, и коэффициент преобразователя ёмкость-напряжение (или первичного преобразователя сигнала датчика угла гироскопа перед его оцифровкой). Для наглядности были выбраны отклонения параметров узлов в пределах $\pm 20\%$ относительно номинальных значений.

В. Результаты моделирования

Результат моделирования при влиянии внешнего механического воздействия (линейного ускорения по оси z).

Из графиков зависимости масштабного коэффициента (рис. 3) и смещения нуля (рис. 4) синхронного и фазового детекторов (синяя линия – СД, красная – ФД) от внешнего воздействия видно, что в отличие от синхронного метода детектирования, фазовый детектор практически не чувствителен к внешнему воздействию линейного ускорения вдоль оси z . Гироскоп с фазовым детектором в 50 раз менее чувствителен к внешним механическим воздействиям, чем с синхронным детектором.

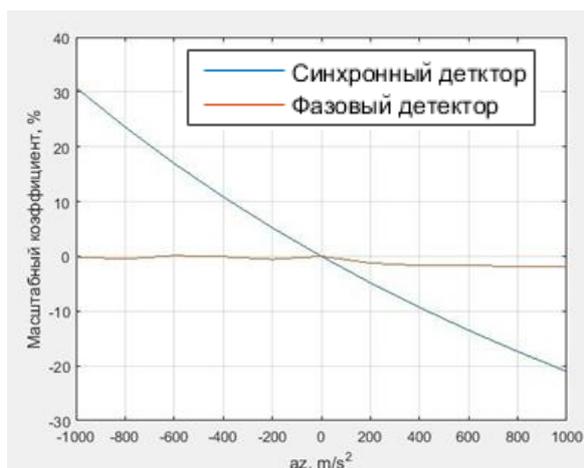


Рис. 3. График зависимости масштабного коэффициента от внешнего ускорения

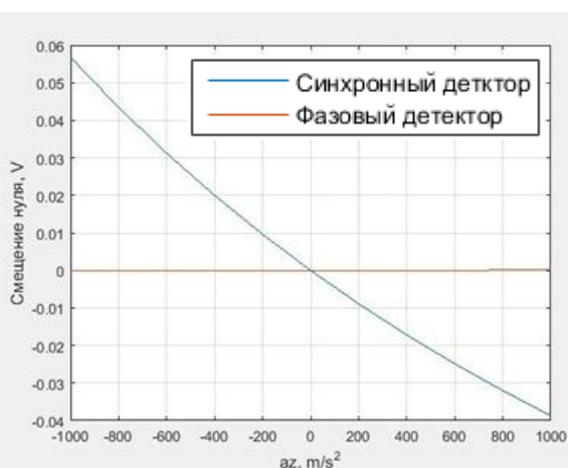


Рис. 4. График зависимости смещения нуля от внешнего ускорения

1. Влияние изменения добротности от температуры на характеристики выходного сигнала гироскопа для синхронного и фазового методов детектирования.

Характер зависимостей коэффициента преобразования и смещения нуля гироскопа от добротности показаны рис. 5 и 6 соответственно (синяя линия – СД, красная – ФД). Графики показывают, что оба метода подвержены воздействию этого параметра, но гироскоп с фазовым детектором, ожидаемо, в 25 раз более чувствителен по величине изменения смещения нуля и в 4 раза по величине смещения масштабного коэффициента, чем с синхронным детектором.

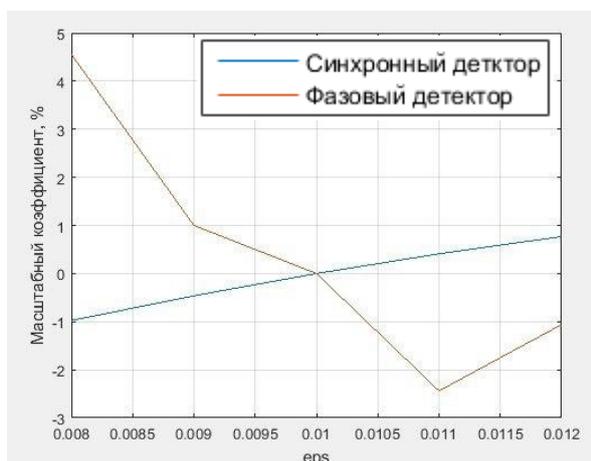


Рис. 5. График зависимости масштабного коэффициента от добротности

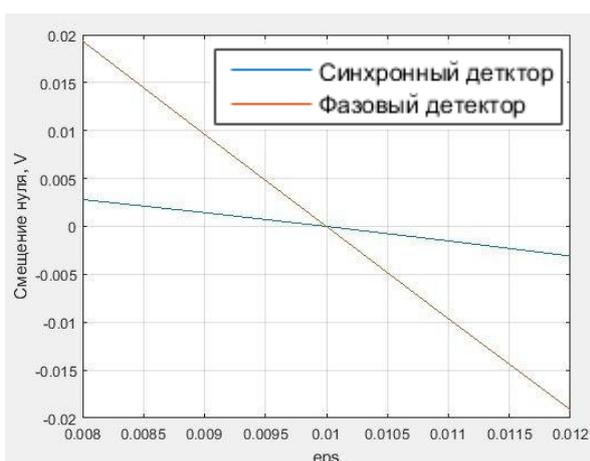


Рис. 6. График зависимости смещения нуля от добротности

2. Влияние изменения коэффициента преобразователя «емкость-напряжение» от температуры на характеристики выходного сигнала гироскопа для синхронного и фазового методов детектирования.

На рис. 7 и 8 представлены зависимости масштабного коэффициента и смещения нуля от изменения коэффициента преобразователя «ёмкость-напряжение» под действием температуры (синяя линия – СД, красная – ФД). Из графиков можно отметить, что гироскоп с фазовым детектором в 20 раз менее чувствителен к изменению коэффициента преобразователя ёмкость-напряжение под действием температуры.

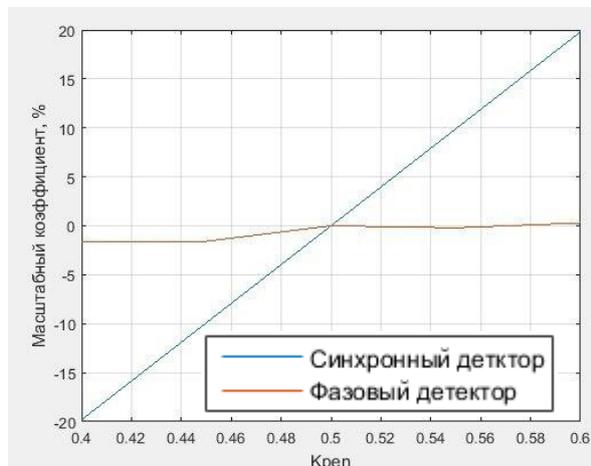


Рис. 7. График зависимости масштабного коэффициента от коэффициента преобразователя «ёмкость-напряжение»

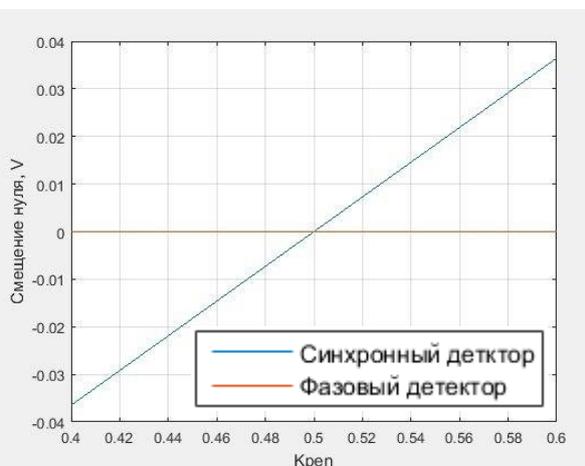


Рис. 8. График зависимости смещения нуля от коэффициента преобразователя «ёмкость-напряжение»

Заключение

В реферате приведены результаты исследования и сравнения метода съема данных в микромеханическом гироскопе, основанный на соотношении фаз первичных и вторичных колебаний по сравнению с традиционным, в условиях воздействия внешних факторов на наиболее чувствительные узлы конструкции и параметры конструкции: ускорение в наиболее критичном направлении, изменение добротности вторичного контура и изменение коэффициентов аналоговых блоков первичных преобразователей «емкость-напряжение» от температуры.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что гироскоп с фазовым детектором превосходит гироскоп с синхронным детектором по стойкости к указанным механическим воздействиям на два порядка, а по стойкости к температурам достоинства и недостатки разных методов компенсируют друг друга. Таким образом применение фазового метода может быть перспективным техническим решением для построения датчиков нового типа с улучшенными характеристиками, в том числе за счет комбинированной обработки выходного сигнала обоих детекторов [6].

Литература

1. Kovalev A. Phase Method for Measuring the output Signal of a Single-Mass MEMS Gyroscope as a Possibility of Improving its Performance. 1-5. 10.23919/ICINS.2019.8769464.
2. Пешехонов В.Г. Перспективы развития гироскопии.// Гироскопия и навигация. 2020. Том 28. №2 (109). С. 3–9.
3. Ковалев А.С. Управление первичными и вторичными колебаниями микромеханического гироскопа: дис. ... канд. техн. наук: ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», ГНЦ. Санкт-Петербург. 2008. 158.
4. Nekrasov Y.A., Pavlova S.V., Moiseev N.V. MEMS gyro vibration immunity and its measurement with TIRA shaker in: IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, 2015, pp. 1763-1768.
5. Anderson G.I. и др. A programmable platform for digital control of MEMS gyroscopes, Symposium Gyro Technology. 2004. p.5.0-5.7.
6. Barbour N. et al. Micro-Electromechanical Instrument and Systems Development at Draper Laboratory // 3rd Saint Peterburg International Conference of Integrated Navigation Systems. –SPb.: CSRI «Electropribor». 1996. Part 1. P.3-10.
7. Mitchell Kline Frequency Modulated Gyroscopes, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley p. 15-20.
8. Евстифеев М.И., Елисеев Д.П., Ковалев А.С., Розенцвейн Д.В. Исследование динамики микромеханического гироскопа при механических воздействиях // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. No 4(74). С. 74-78.
9. Люкшонков Р.Г. Исследование возможности использования температурной зависимости добротности колебаний микромеханического гироскопа для температурной компенсации // Материалы XVIII Конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». 2015. С. 585-591.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	5
Воронцова И.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА Z-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТГц ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ.....	6
Кузьмина Е.А. РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ И РАБОТЫ С КЛИЕНТОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ «КЦСОН КРАСНОСЕЛЬСКОГО РАЙОНА».....	11
Прокудина А.И. ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИММЕРСИВНОГО ОБУЧЕНИЯ В РОССИЙСКУЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ СРЕДУ.....	16
Семина А.Д. РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С НЕПЕРЕНОСИМОСТЬЮ ГЛЮТЕНА.....	21
Федорова И.А. АНАЛИЗ ГЕНОМНЫХ ПЕРЕСТРОЕК С ПОМОЩЬЮ СЛУЧАЙНЫХ ГРАФОВ.....	27
Чернов В.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМИ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАЗДЫВАНИЯ.....	33
ЛАУРЕАТЫ I СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	39
Артамонова В. ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ В ПОВЕДЕНИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИЙ ЗАДАНИЙ В МАССОВЫХ ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН-КУРСАХ НА ПРИМЕРЕ LEARNSQL.RU.....	40

Кличук И.О. ПРИМЕНЕНИЕ РЕФРИЖЕРАТОРА РАСТВОРЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА.....	46
Кулин Н.И. СИСТЕМА ВЫБОРА И НАСТРОЙКИ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И МЕТОДОВ БАЙЕСОВСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ.....	50
Ляховенко Ю.А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ СМАРТ-КОНТРАКТОВ.....	54
Седов Д.Д. КВАНТОВЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ОПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	61
Хлынов Р.Д. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ГЕМАТОКРИТА.....	68
Щур А.Г. ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ТОПОЛОГИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ МИКРОРЕЗОНАТОРАХ С ДВУХУРОВНЕВЫМИ СИСТЕМАМИ.....	75
ЛАУРЕАТЫ II СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	81
Багрова П.А. РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ «ЦСРИДИ НЕВСКОГО РАЙОНА».....	82
Дедович А.М. РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛА ПЛАГИНА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЯЗЫКА MATLAB В IDE НА ОСНОВЕ INTELLIJ PLATFORM.....	86
Жмудь К.В. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ С АККУМУЛЯТОРАМИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ.....	91
Закоулов И.С. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРОДСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ.....	98
Кинцель Н.Б. РАЗРАБОТКА ОНЛАЙН-КУРСА «ОСНОВЫ ЛИНЕЙНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ».....	102

Рожков Д.А. РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ДАТЧИКА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ С ОПОРНЫМ КАНАЛОМ И СИНХРОННЫМ ДЕТЕКТОРОМ.....	107
Семенов А.Д. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАЗМЕЩЕНИЯ АГЕНТОВ НА КРИВЫХ.....	114
Тальчиков П.С. КВАНТОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ НА ОСНОВЕ ЗАПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ ФОКА.....	120
Торопова А.В. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПИТКА, СОДЕРЖАЩЕГО АБСЦИЗОВУЮ КИСЛОТУ.....	126
Устименко Н.А. МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА АНСАМБЛЕЙ НАНОСТРУКТУР С ИНДУЦИРОВАННЫМИ МУЛЬТИПОЛЬНЫМИ МОМЕНТАМИ.....	133
Челпанов А.Д. АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТИРУЕМОСТИ ДЕФЕКТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМВОЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ.....	140
ЛАУРЕАТЫ III СТЕПЕНИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	146
Анисимов А.И. РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ НЕИГРОВЫХ ПЕРСОНАЖЕЙ.....	147
Волкова Е.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ОТ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКИМ КАНАЛАМ.....	153
Гончаров Р.К. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ С ГАУССОВСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ.....	158
Егоров А.А. УСЛОВНАЯ КАСКАДНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА НОГИ ГАЛОПИРУЮЩЕГО РОБОТА.....	165

Кошкарева М.П. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПЕРЕКВИЗИТОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПИСАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ.....	170
Крюкова Е.А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЯРКОМЕРА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ГОРОДА.....	177
Кузенкова Е.В. РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА ИНТЕГРАЦИИ СИНТАКСИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ С ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ.....	184
Левашова А.А. РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПЛАНИРОВЩИКА С АВТОМАТИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАДАЧ.....	191
Пинаев З.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВИДЕОКОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БОДРСТВОВАНИЯ ВОДИТЕЛЯ.....	197
Преснова А.А. РАЗРАБОТКА И ФИНАНСИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ПО ПРОДВИЖЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕКСТИЛЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.....	203
Федоров Л.Н. РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В СЕРВИС РАНЖИРОВАНИЯ ВИДЕО В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЯНДЕКС.ДЗЕН НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ.....	209
Чубова С.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЧВ В ДОЛИНАХ МАЛЫХ РЕК СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ.....	215
УЧАСТНИКИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО».....	220
Адам Ю.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	221
Алексеев П.С. ФИНАНСИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ ФОНДОВОГО РЫНКА.....	228

Бузмакова А.А. ПОВЫШЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ОТКРЫТОСТИ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ.....	235
Булыга Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНО-СОЛЕВОГО СИНТЕЗА НАНОКРИСТАЛЛОВ АЛЮМОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА, ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ ИТТЕРБИЯ.....	241
Веневцев И.В. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЗАЩИТЫ ОТ СОСЯЗАТЕЛЬНЫХ АТАК НА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ.....	247
Вязников И.Д. МЕТОД МЕЖПРОЦЕДУРНОГО АНАЛИЗА КОДА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПО НА ЯЗЫКЕ JAVA.....	251
Глеклер Э.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В РАМКАХ КУРСА ПО МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ.....	256
Горифьянов Р.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ АПОДИЗИРОВАННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК НА ЭФФЕКТЕ МУАРА.....	263
Гуторов А.В. РАЗРАБОТКА ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ 3D-ПРИНТЕРА С МНОГОКООРДИНАТНОЙ СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ.....	268
Дмитриев И.В. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ И ПРИМЕНЕНИЮ РАДИОЧАСТОТНЫХ МЕТОК В ЛИТЬЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	274
Езерский А.С. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ФОКУСИРОВКИ АМПЛИТУДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БЕЗЛИНЗОВОМ ЦИФРОВОМ ОСЕВОМ МИКРОСКОПЕ СО СФЕРИЧЕСКИМ ВОЛНОВЫМ ФРОНТОМ.....	281
Зайцева Е.Г. РАЗРАБОТКА МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ПОИСКА УТЕЧЕК ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ОБУЧЕНИЯ.....	286
Ивановская Е.В. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСШИРЕННОГО МЕТОДА ВСТРАИВАНИЯ LSB ДЛЯ ЗАЩИТЫ МУЛЬТИМЕДИА ДАННЫХ.....	290

Киселева П.Д. МАРКЕТИНГОВЫЕ АСПЕКТЫ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	296
Колесников Н.Д. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ МОШЕННИЧЕСТВУ В МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИГРАХ НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ПРОТОКОЛА RAKNET.....	302
Конева К.П. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ СКОМПРОМЕТИРОВАННЫХ УЗЛОВ ДИНАМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН.....	308
Кочарина Е.А. РАЗРАБОТКА РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И СОСТАВА ЙОГУРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	313
Курятов Е.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЗАЩИТЫ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ ДОСТАВКИ И ИНТЕГРАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	318
Макурин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛОВ ПЕРОВСКИТА CSPB(CL-BR) ВО ФТОРФОСФАТНОМ СТЕКЛЕ.....	322
Макшеев И.Д. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОЛЛЕКТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ.....	327
Медведева С.С. ДИНАМИКА ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДАЕМЫХ В КВАНТОВЫХ КАНАЛАХ С УЧЕТОМ ТЕРМАЛИЗАЦИИ.....	331
Мелихова К.А. ПРОГНОЗ ТОЧНОСТИ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ.....	338
Меренков Д.Н. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО НАРУШИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ДЕВИАНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЕ.....	344
МИЛОСЕРДОВ Д.И. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ УСТРОЙСТВ-АКТУАТОРОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ.....	349

Митиенко М.В. ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТАРТАПА SENDO.....	356
Михайлов А.И. ЧАТ-БОТ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ОКРАСА ТЕКСТА.....	363
Мищенко В.Ю. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОРОЩЕННЫХ СЕМЯН ЛЬНА (LINUM USITATISSIMUM L.).....	367
Мусихина Е.С. РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕВОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК В ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНОМ СТЕКЛЕ.....	372
Носкова А.О. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ СЫРА ТВОРОЖНОГО, ОБОГАЩЕННОГО СУЛЬФОРАФАНОМ, ЭКСТРАГИРОВАННЫМ ИЗ РЕПЫ.....	379
Опарин Е.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ДВУХ ПИКОСЕКУНДНЫХ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ПЛАНАРНОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ.....	386
Паншин И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ НА МАТРИЧНОМ ПРИЁМНИКЕ.....	392
Посохов Д.А. РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА СЧИТЫВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА.....	399
Сантьев А.А. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ КВАНТОВОЙ СЕТИ ПОЛНОСВЯЗНОЙ ТОПОЛОГИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ МОДУЛИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	404
Севастеева Е.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ БЫСТРЫХ РИТМОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОНОВ.....	409
Сметанина Д.Д. РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦИФРОВКИ И РЕДАКТИРОВАНИЯ ОТСКАНИРОВАННЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ.....	416

Соколова А.В. МОДИФИКАЦИЯ НАНОПЛАСТИН ХАЛЬКОГЕНИДОВ РТУТИ И СВИНЦА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМИ ОТКЛИКАМИ.....	421
Соловьева Д.Н. ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА С ДРЕВЕСНЫМ ЛУБОМ.....	427
Сытник А.С. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА ИСПОЛНЯЕМЫХ ФАЙЛОВ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА НА ПРЕДМЕТ НЕДЕКЛАРИРОВАННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ.....	432
Труфанова А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ЧЕРЕЗ СИНГУЛЯРНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АРТИКУЛИРОВАННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА.....	439
Царев И.П. РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ОТПЕЧАТКОВ БРАУЗЕРОВ.....	446
Чинарев М.М. ПРИМЕНЕНИЕ СЕНСОРА MOVESENSE SENSOR ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В МОБИЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ НА ОСНОВЕ ДВИЖЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.....	453
Шавронская Д.О. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ СИНБИОТИЧЕСКОГО МОРОЖЕНОГО.....	457
ШАРОВА Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕВЕСНОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА С БЕРЕЗОВОЙ МУКОЙ.....	465
Шевчик С.В. РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОГО СЕРВЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА MQTT.....	470
Шубина Е.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ.....	474
Якимов Я.Д. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЗАЩИТЫ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	480

Гага В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК ОСТАТОЧНЫХ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ.....	487
Гаспаров В.М. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАЗОВОГО И АМПЛИТУДНОГО МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА В ОДНОМАССОВОМ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОМ ГИРОСКОПЕ R-R ТИПА.....	492

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

Сборник трудов

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Дизайн обложки

Вёрстка

Подписано к печати 14.04.2022

Заказ № 4672 от 14.04.2022

Тираж 100 экз.

Н.Ф. Гусарова

Н.А. Потехина

Я.Я. Платунова

Печатается в авторской редакции

