



**ІТМО**



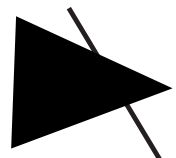
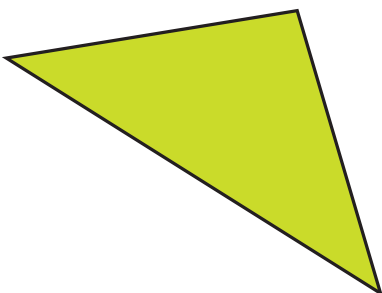
**МОЛОДЫЕ  
ПРОФЕССИОНАЛЫ**

---

II ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

10-12 ОКТЯБРЯ 2023 г.

**СБОРНИК  
НАУЧНЫХ  
ТРУДОВ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**МОЛОДЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЫ**  
**II Всероссийская конференция**  
**10–12 октября 2023 г.**

**Сборник научных трудов**

**ИТМО**

Санкт-Петербург  
2024

УДК 004, 063, 065, 504

ББК 20, 32, 40

Молодые профессионалы. II Всероссийская конференция (10–12 октября 2023 г.).  
Сборник научных трудов. – СПб.: Университет ИТМО, 2024. – 140 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, представленные на II Всероссийской конференции «Молодые профессионалы», состоявшейся с 10 по 12 октября 2023 г. в Университете ИТМО, по тематикам: «Биоинженерия от цифровых решений до практического применения», «Цифровые решения в зеленой химии», «Междисциплинарные исследования в инфохимии», «Практико-ориентированное молодежное научно-техническое творчество», «Стратегии узнавания биологических молекул», «Технологический менеджмент и инновации».

Под общей редакцией профессора, д.т.н., директора и профессора центра химической инженерии, директора и ведущего научного сотрудника научно-исследовательского центра биоинженерии Успенской М.В.

ISBN 978-5-7577-0706-8

The logo of ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, black, sans-serif font. The letter 'I' is stylized with a small dot above it.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2024

© Авторы, 2024

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

---

*Секций «Биоинженерия от цифровых решений до практического применения» и «Цифровые решения в зеленой химии»*

Успенская Майя Валерьевна, профессор, д.т.н., директор и профессор центра химической инженерии, директор и ведущий научный сотрудник научно-исследовательский центра биоинженерии – Председатель;

Фокина Мария Ивановна, к.ф.-м.н., заместитель директора и доцент центра химической инженерии, руководитель лаборатории лазерных нелинейных кристаллов;

Пономарева Алина Александровна, к.т.н., доцент центра химической инженерии, инженер научно-исследовательского центра биоинженерии;

Носенко Татьяна Николаевна, к.т.н., доцент центра химической инженерии, инженер института перспективных систем передачи данных;

Ситникова Вера Евгеньевна, к.х.н., доцент центра химической инженерии, инженер института перспективных систем передачи данных.

*Секции «Междисциплинарные исследования в инфохимии»*

Скорб Екатерина Владимировна, д.х.н., директор научно-образовательного центра инфохимии – Председатель;

Муравьев Антон Андреевич, доцент научно-образовательного центра инфохимии;

Масалович М.С., к.х.н., доцент научно-образовательного центра инфохимии;

Орлова Т., PhD, ф.-м.н., доцент научно-образовательного центра инфохимии.

*Секции «Практико-ориентированное молодежное научно-техническое творчество»*

Толстоба Надежда Дмитриевна, доцент, к.т.н., доцент научно-образовательной лаборатории "Техническое зрение", инженер открытой лаборатории идей, методик и практик – Председатель;

Вольнский Максим Александрович, доцент, к.т.н., директор научно-образовательной лаборатории "Техническое зрение".

*Секции «Стратегии узнавания биологических молекул»*

Кошель Елена Ивановна, к.б.н., заведующий лабораторией ДНК-наносенсорной диагностики, доцент химико-биологического кластера – Председатель;

Рубель Александр Анатольевич, к.б.н., младший научный сотрудник лаборатории ДНК-наносенсорной диагностики;

Рубель Мария Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории ДНК-наносенсорной диагностики и химико-биологического кластера.

*Секции «Технологический менеджмент и инновации»*

Павлова Елена Александровна, доцент, к.э.н., доцент факультета технологического менеджмента и инноваций – Председатель;

Волков Александр Романович, старший преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций;

Голубева Антонина Станиславовна, преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций;

Канунникова Кристина Игоревна, преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций.

## Биоинженерия от цифровых решений до практического применения

УДК 579.61+531.7

### АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТИБИОТИКОВ НА БАКТЕРИИ ПО ПОЛУЧАЕМЫМ АСМ-СНИМКАМ НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ МЕТРИК МИКРООРГАНИЗМОВ

Банков А.А. (студент, Университет ИТМО), Жуков М.В. (Институт аналитического приборостроения Российской академии наук)

Научный руководитель: к.т.н., м.н.с. Жуков М.В. (Институт аналитического приборостроения Российской академии наук)

e-mail: bankov-04@mail.ru

В работе рассмотрены подходы к анализу полученных с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) изображений, содержащих метрики бактерий. Обработка изображений производилась в программе Gwyddion. Использование, в частности, параметров высоты дает представление об изменении морфологических характеристик бактерий после воздействия угнетающих факторов, таких как антибиотики, что, в свою очередь, позволяет говорить о возможности определения антибиотикорезистентности бактерий в короткий промежуток времени.

**Ключевые слова:** атомно-силовая микроскопия, антибиотикорезистентность, обработка изображений, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, микробная морфология.

Устойчивость к антибактериальным препаратам – одна из актуальных проблем современного мира, возникающая в результате естественных процессов и способствующих антропогенных факторов, таких как нерациональное использование антибиотиков в сельскохозяйственной отрасли и жизни людей [1, 2]. Способом уменьшения роста резистентных форм являются методы диагностики, дающие результат в пределах пары часов [3]. Экспрессные методы, позволяющие получать результаты об устойчивых формах микроорганизмов у человека за 1–2 часа, могут помочь клиникам и лабораториям проводить больший объем тестов, назначать конкретные антибиотики, а не общего спектра ввиду отсутствия быстро полученных данных о возбудителе (рис. 1).

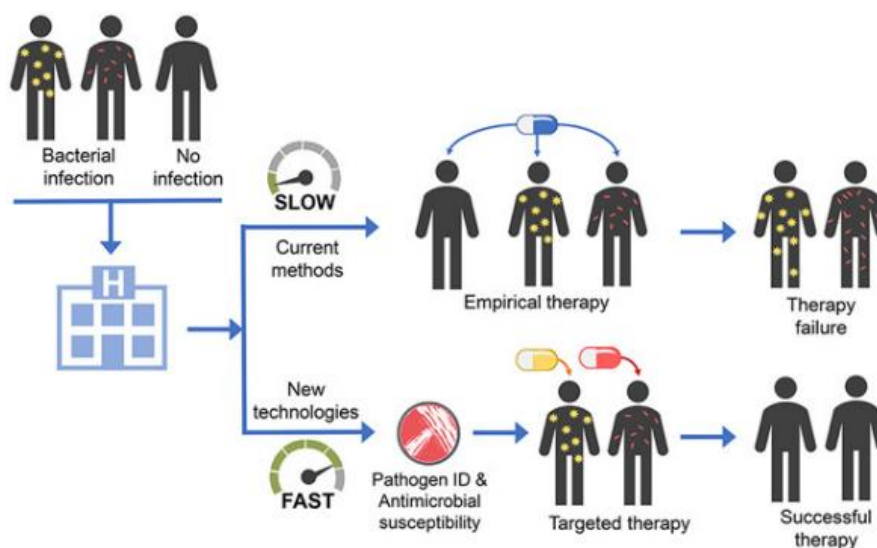


Рис. 1. Сравнение экспрессного и классического подхода лечения [4]

Процесс тестирования на лекарственную чувствительность классическими методами может занять 2–4 дня, и, следовательно, антибиотики часто назначаются при отсутствии подробной информации. Так, методы, основанные на выращивании колоний, занимают в среднем от 12 часов и стоят менее 10 евро. Анализ методик идентификации патогенов и

тестирования чувствительности к противомикробным препаратам показал, что уже имеется ряд технологий быстрой диагностики. Например, на проведение молекулярных методов уходит от 1 до 6 часов, при этом их цена начинается от 10 евро [4]. Ведутся также и разработки новых технологий, что подчеркивает актуальность разработки экспрессных методик [5, 6].

Использование АСМ является одним из вариантов фиксирования изменений, происходящих с бактериями после воздействия антибиотика, данный прибор в перспективе может быть внедрен непосредственно в систему здравоохранения и в сравнении с другими системами диагностики цена одного тестового образца будет составлять менее 1 евро [7]. Преимуществом АСМ является возможность исследовать структуры размером в нанометры, не имея большое количество бактерий, поэтому, данный метод не зависит от полного роста бактериальной культуры, а требует всего несколько колониеобразующих единиц (КОЕ) для получения информации об устойчивости бактерий к определенному антибиотику, что позволяет сократить время пробоподготовки.

В проводимом нами исследовании для измерения морфологических характеристик бактерий использовался сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) Ntegra Aura (НТ-МДТ, Россия). Модельными организмами были *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus fermentum*, содержащиеся в препарате Лактобактерин, регистрационный номер ЛС-002098. Один флакон лекарства содержит пять доз, где на одну дозу пригодится не менее  $2 \cdot 10^9$  живых лактобактерий, которые находятся в защитной среде (желатин, сахара) в высушенном состоянии. Для приготовления образца содержимое флакона разводилось в 10 мл дистиллированной воды и на поверхность подложки (покровного стекла) наносилась капля размером около 4 мкл суспензии бактерий с концентрацией  $10^9$  бактерий на 1 мл [8]. Впоследствии измерения проводились в полуконтактном и контактном режисе на высушенных при  $40^\circ\text{C}$  образцах при температуре  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ . Пробоподготовка схожа с экспериментом, проводимым на *Klebsiella pneumoniae*, где готовились два образца с бактериями, отличных друг от друга тем, что на один из них добавлялся антибиотик (рис. 2).

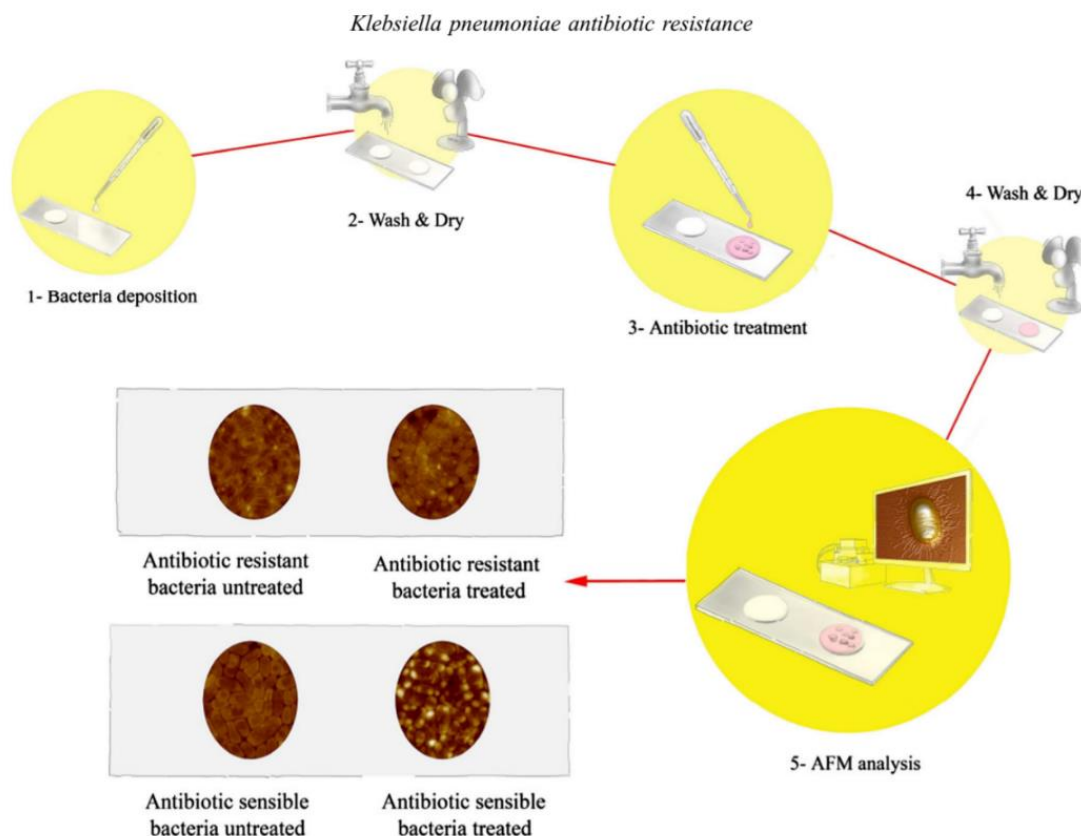


Рис. 2. Схема подготовки образцов [9]

Изображения, полученные с АСМ, обрабатывались в программе Gwyddion. Сначала производилось выравнивание нуля высоты изображения и вычитание плоскости (рис. 3).

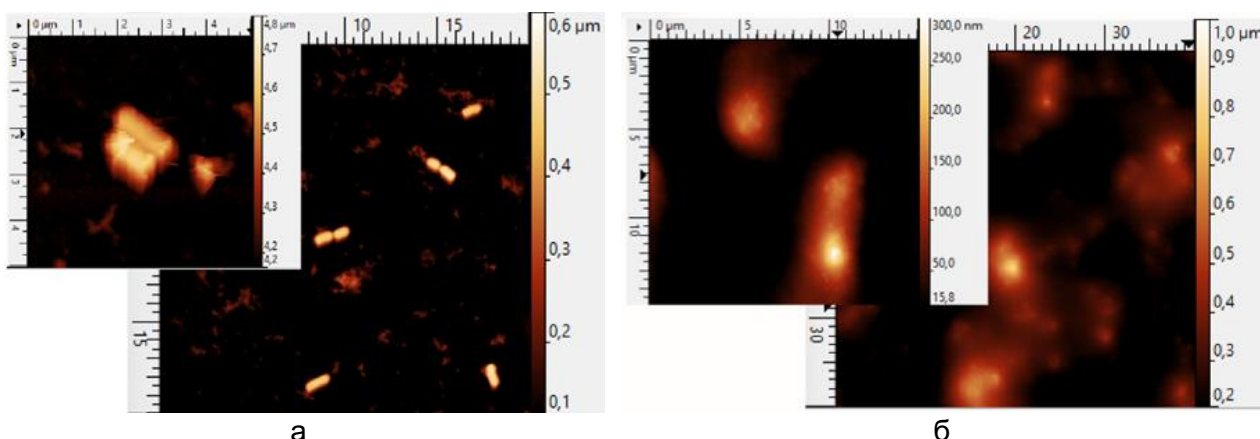


Рис. 3. Изображение образцов: а) до воздействия антибиотика; б) после воздействия антибиотика

Для измерения морфологии латеральных проводилась сегментация изображений для выделения бактерий по методам водораздела и по пороговому значению высот (выделение и анализ слоев изображения по оси Z). Для изучения воздействия антибиотиков мы брали гистограмму высот в ограниченной области, содержащей единичные бактерии (рис. 4).

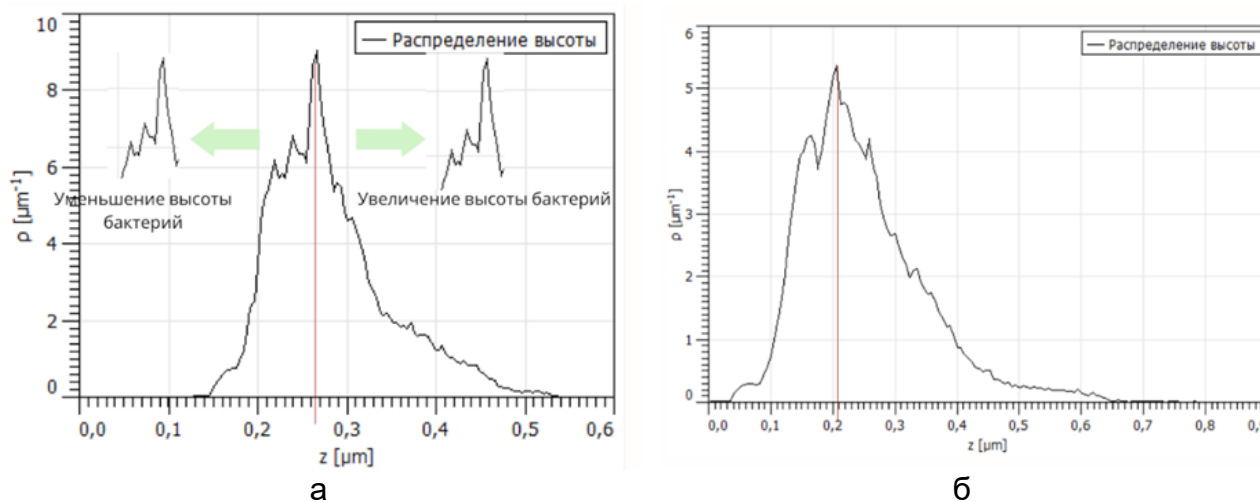


Рис. 4. Графики распределения высоты: а) до воздействия антибиотика; б) после воздействия антибиотика

После воздействия антибиотика широкого спектра действия - левомицетина, произошло нарушение целостности клеточной стенки, из-за чего изменилось максимальное значение высоты для выбранных бактерий. Высота бактерий при воздействии антибиотика имеет высокую корреляцию. Так, исходя из действия антибиотика и механизма его воздействия, можно предполагать ожидаемый результат антибиотикорезистентности. Таким образом, была произведена сегментация для выделения одиночных бактерий и изучения их параметров, а также произведен анализ изменения гистограмм высот.

В дальнейшем для получения результатов с высокой точностью планируется проводить исследование с добавлением антибиотика непосредственно в область сканирование микроскопа, что позволит изучить одни и те же бактерии в кадре.

### **Список использованных источников**

1. Collignon P.C. et al. World Health Organization ranking of antimicrobials according to their importance in human medicine: a critical step for developing risk management strategies to control antimicrobial resistance from food animal production // *Clinical Infectious Diseases*. – 2016. – Т. 63. – №. 8. – Pp. 1087–1093.
2. Urban-Chmiel R. et al. Antibiotic resistance in bacteria—A review // *Antibiotics*. – 2022. – Т. 11. – №. 8. – P. 1079.
3. Longo G. et al. Rapid detection of bacterial resistance to antibiotics using AFM cantilevers as nanomechanical sensors // *Nature nanotechnology*. – 2013. – Т. 8. – №. 7. – Pp. 522–526.
4. Maugeri G. et al. Identification and antibiotic-susceptibility profiling of infectious bacterial agents: a review of current and future trends // *Biotechnology journal*. – 2019. – Т. 14. – №. 1. – P. 1700750.
5. Saxena S. et al. Nanotechnology Approaches for Rapid Detection and Theranostics of Antimicrobial Resistant Bacterial Infections // *ACS Biomaterials Science & Engineering*. – 2022. – Т. 8. – №. 6. – Pp. 2232–2257.
6. Venturelli L., Kohler A.C., Kasas S. Towards a fast detection of microbial resistance to antibiotics // *J Clin Microbiol Biochem Technol*. – 2020. – Т. 6. – №. 1. – Pp. 010–013.
7. Formosa-Dague C., Duval R.E., Dague E. Cell biology of microbes and pharmacology of antimicrobial drugs explored by Atomic Force Microscopy // *Seminars in Cell & Developmental Biology*. – Academic Press. – 2018. – Т. 73. – Pp. 165–176.
8. Большакова А.В., Яминский И.В. Сканирующая зондовая микроскопия бактериальных клеток // *Медицинская физика*. – 2018. – С. 90.
9. Ierardi V. et al. *Klebsiella pneumoniae* antibiotic resistance identified by atomic force microscopy // *Journal of biosciences*. – 2017. – Т. 42. – Pp. 623–636.



УДК 612.825.24

## **ОБЗОР КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ НЕИНВАЗИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛОВ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ**

**Жданов А.Ю.** (студент, Университет ИТМО), **Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

*e-mail: artemichzdanov@gmail.com*

*Представлен сравнительный анализ существующих методов неинвазивного исследования активности головного мозга. Рассмотрены методы на основе совместной обработки данных, полученных разными способами нейровизуализации, для повышения эффективности распознавания сигналов головного мозга человека.*

**Ключевые слова:** *нейровизуализация, обратная задача электроэнцефалографии, фМРТ, ЭЭГ, фБИКС, МЭГ.*

Развитие технологий регистрации сигналов коры головного мозга в ответ на внешние воздействия, позволяет совершенствовать методы исследования активности локальных нейронных сетей у человека. Технологии исследования сигналов мозговой активности имеют широкое применение в медицине и дают нам возможность понять работу сознания в норме и при патологических отклонениях [1], произвести оценку когнитивных способностей человека [2], что, в свою очередь, позволяет отслеживать прогресс восстановления после инсультов [3], а также позволяют улучшить качество диагностики болезни Альцгеймера [4] и психических заболеваний [5]. Более того, технологии исследования сигналов мозговой активности необходимы для работы нейронных интерфейсов, изучение которых приобретает всё большую популярность на сегодняшний день [1, 4].

Для получения данных о мозговой активности используются различные методы нейровизуализации. Наиболее распространёнными являются такие методы, как магнито- и электроэнцефалография (МЭГ и ЭЭГ, соответственно), функциональная магниторезонансная томография (фМРТ, англ. fMRI – magnetic resonance imaging), функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия (фБИКС, англ. fNIRS – functional near infra-red spectroscopy) [5]. Каждый из приведенных способов нейровизуализации обладает собственными достоинствами и недостатками, что повлекло за собой создание методик, комбинирующих наборы данных, полученных разными методами нейровизуализации, призванных скомпенсировать слабые стороны каждого из методов в отдельности.

Исследования практических применений комбинированных методов неинвазивного исследования сигналов активности головного мозга известны и активно проводятся на сегодняшний день [1, 6, 7]. Тем не менее, существует недостаток комплексных исследований комбинированных методов со сравнительным их анализом и указанием конкретных значимых параметров. Одновременно с этим, на данный момент существует необходимость в создании собственных конкурентноспособных систем неинвазивных исследований сигналов головного мозга. Следовательно, исходя из перечисленных проблем возникла необходимость проведения данного исследования.

### **Использование комбинированных методов нейровизуализации**

Конкретными примерами комбинированных методов нейровизуализации являются методы, использующие в основе данные ЭЭГ и МЭГ, а с помощью данных, полученных другими методами нейровизуализации, повышается точность определения измеряемых параметров мозговой активности и информативность. ЭЭГ и МЭГ, основанные на измерениях возмущения электрического и магнитного полей от отдельных областей головного мозга, соответственно. Известно, что сигналы, полученные этими методами, могут быть использованы для декодирования сигналов головного мозга. Тем не менее, имея высокую временную разрешающую способность, данные методы обладают низкой пространственной разрешающей способностью. Это связано с тем, что области, находящиеся в глубине коры головного мозга, могут вызывать изменения поля, регистрируемые одновременно несколькими датчиками, что затрудняет поиск источника сигнала. Поиск источника мозгового сигнала по снятой

электроэнцефалограмме в литературе называют обратной задачей магнитно-электроэнцефалографии (англ. inverse M-EEG problem). Данная задача не может быть решена единственно верным способом [7]. Математическое описание данных, полученных с помощью комбинированного метода М-ЭЭГ выглядит следующим образом:

$$Y = GJ + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $Y$  – матрица значений М-ЭЭГ-сигнала, размерность которой определяется соотношением числа каналов на число измерений;  $G$  – матрица, характеризующая распространение электрического (магнитного) поля в среде (lead field matrix), размерность которой определяется соотношением числа каналов на число источников в измеряемом пространстве,  $J$  – матрица сигналов от источника, размерность которой определяется соотношением числа источников на число измерений;  $\varepsilon$  – шумовая составляющая.

Представленный метод характеризуется тем, что при его реализации число источников, число источников сигнала много больше количества приемников (каналов), поэтому нахождение матрицы сигналов от источников  $J$  невозможно, но, тем не менее, можно найти приближительное решение. Обратная задача магнитно-электроэнцефалографии, таким образом, сводится к нахождению некоторого оператора  $W$ , позволяющего найти матрицу  $J$  с помощью матрицы  $Y$ , сформированной на основе известных данных:

$$J = WY, \quad (2)$$

где  $W$  – обратный оператор, применяемый для нахождения матрицы сигналов источника.

Классическим подходом к нахождению оператора  $W$  является метод минимума приближенной нормы (англ. Minimum Norm Estimate), который выражается следующим образом:

$$W = RG^T (GRG^T + C)^{-1}, \quad (3)$$

где  $C$  – ковариационная матрица шумов приемника,  $R$  – ковариационная матрица интенсивности излучения источников.

В общем случае матрица  $R$  соответствует единичной матрице, но при наличии информации о пространственном расположении источников, значения ее элементов могут изменяться. Матрица  $R$ , необходимая для расчета оператора  $W$ , подбирается исходя из соображений минимизации матрицы оценки ошибок решения Error. Чем ближе матрица  $R$  к данным о реальном расположении источников, тем меньше матрица ошибок Error.

$$Error = \langle \|WY - J\|^2 \rangle. \quad (4)$$

Для получения данных о пространственном расположении источников излучения и используются наборы данных, полученных методами фБИКС и фМРТ. Наборы данных фМРТ, фБИКС позволяют с высокой пространственной точностью обнаружить физиологические изменения в мозге, такие как изменения кровотока, активация которых, как было доказано [8], коррелирует с мозговой активностью. На рисунка 1–4 представлены визуализации данных ЭЭГ, МЭГ, фБИКС, фМРТ, соответственно.

Для того чтобы произвести сравнительный анализ комбинированных методов регистрации сигналов мозговой активности необходимо определить параметры, по которым будет производиться сравнение. Выбор интересующих параметров происходит исходя из анализа наиболее распространенных направлений, в рамках которых используются технологии исследования мозговой активности, и наиболее важных характеристик устройств, влияющих на эффективность решения задач в этих направлениях. Интересующими параметрами, на основе которых предполагается проводить сравнительный анализ известных комбинированных методов, были определены следующие параметры: временное и пространственное разрешение, мобильность системы, возможность автоматизации измерений. Временное и пространственное разрешения являются основными количественными характеристиками, а мобильность может иметь значение при проведении экспериментов и при практическом использовании в условиях, отличных от лабораторных.

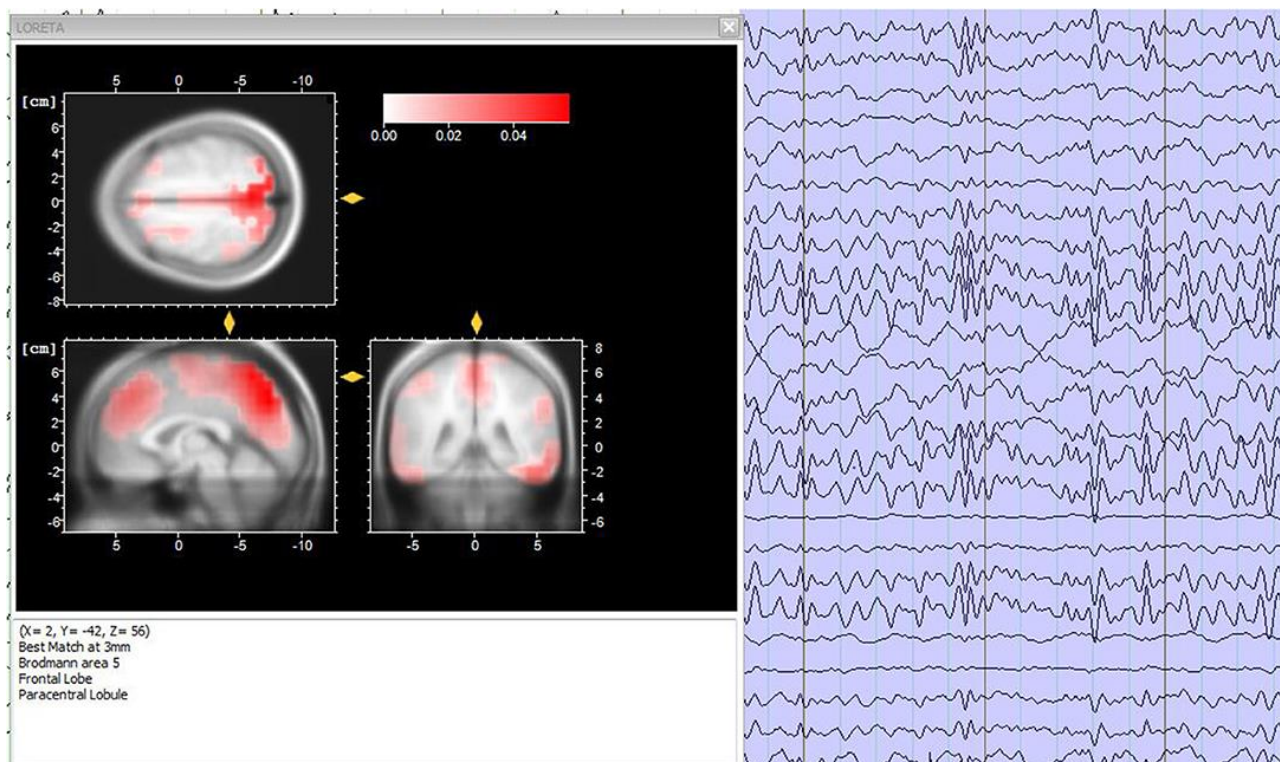


Рис. 1. Визуализация данных электроэнцефалографии [9]

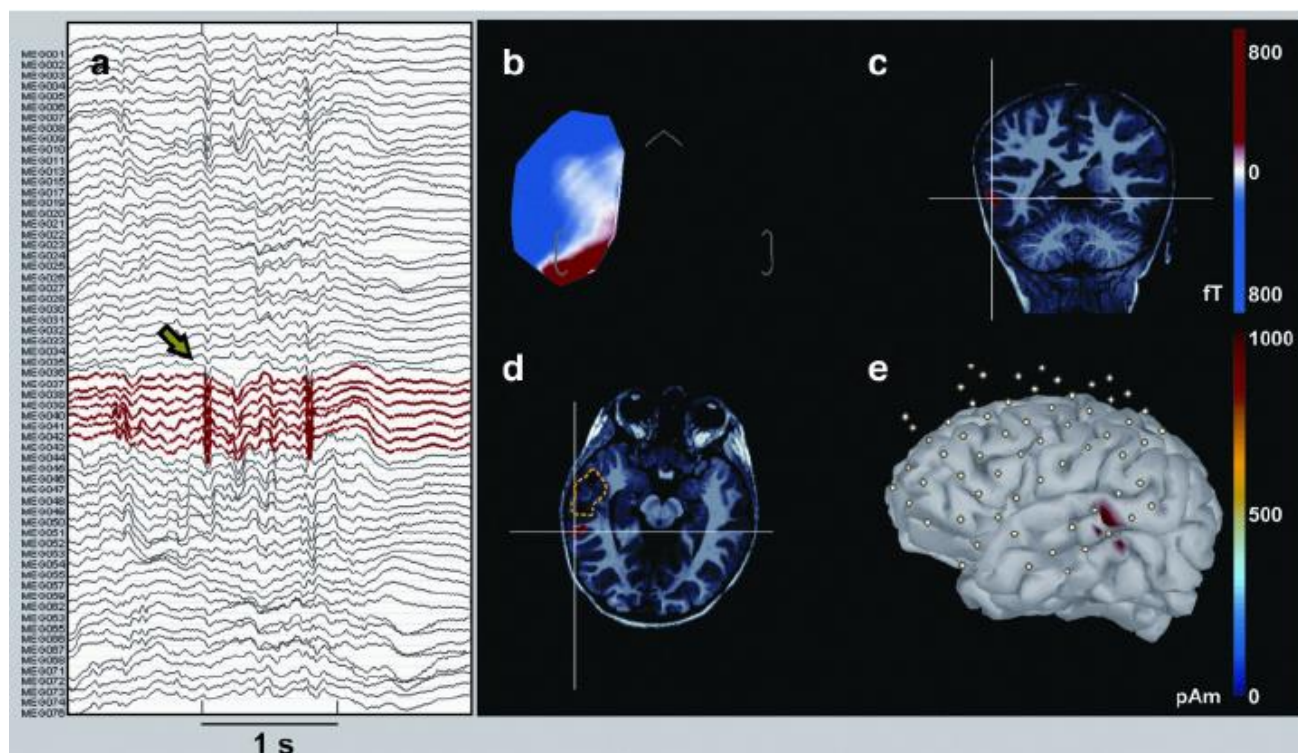


Рис. 2. Визуализация данных магнитоэнцефалографии [10]

На основе аналитического обзора публикаций о методах неинвазивного исследования мозга [13, 14, 15], были рассмотрены и систематизированы данные, полученные с использованием различных комбинированных методов. Результаты представленных исследований можно использовать для выполнения текущего сравнительного анализа. Параметры комбинированных методов неинвазивного исследования головного мозга представлены в таблице.

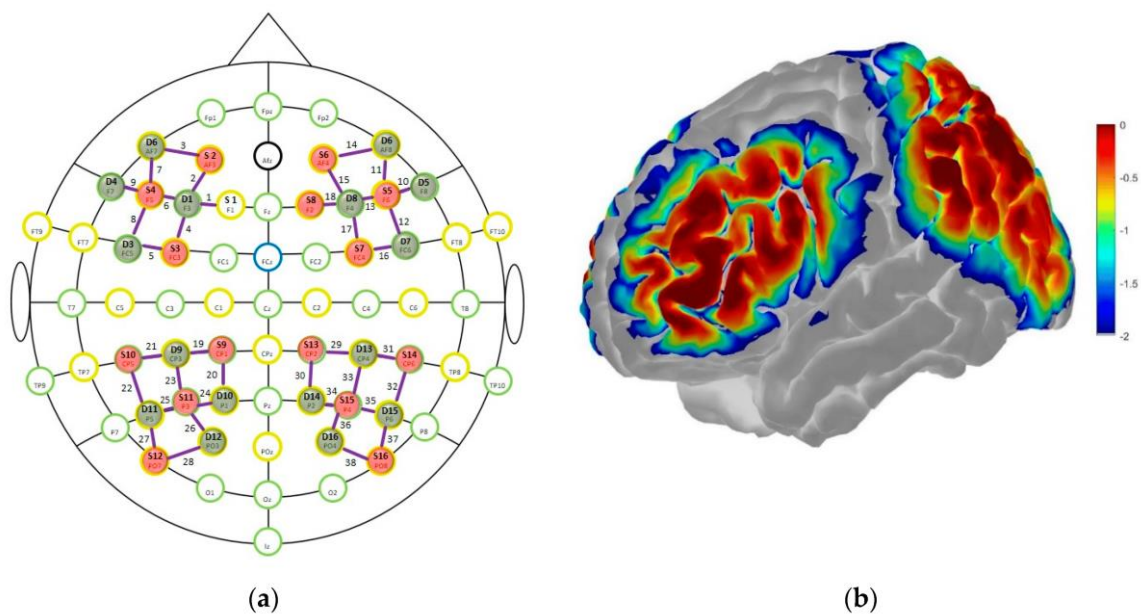


Рис. 3. Визуализация данных фБИКС [11]

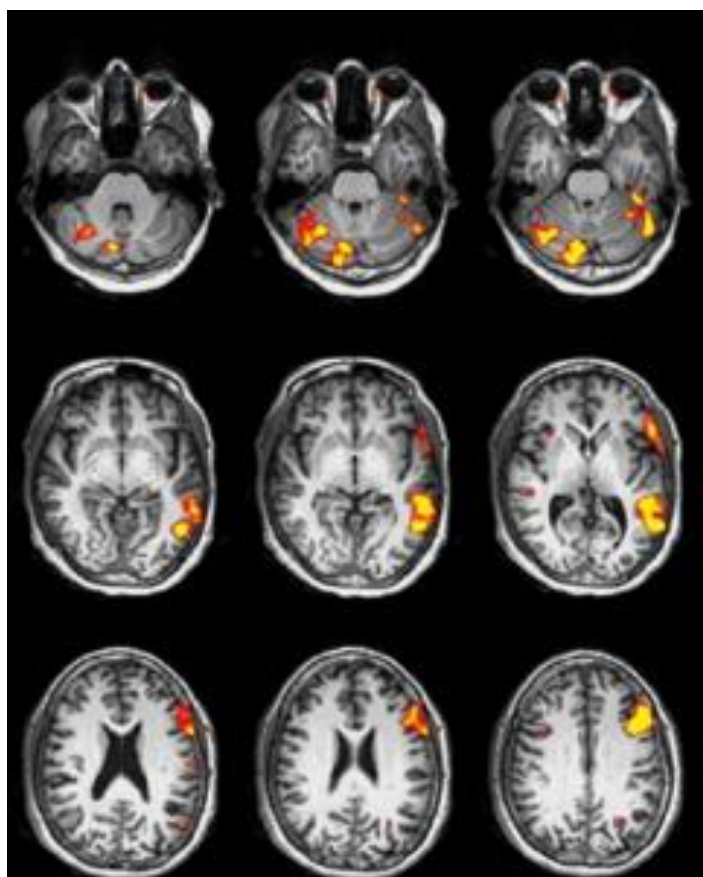


Рис. 4. Визуализация данных МРТ [12]

Таблица. Сравнение комбинированных методов регистрации мозговой активности

	МЭГ + фБИКС	ЭЭГ + фБИКС	МЭГ + МРТ	ЭЭГ + МРТ
Временное разрешение	~1 мс	~1 мс	~1 мс	~1 мс
Пространственное разрешение	~5 мм	~10 мм	~1 мм	~1 мм
Мобильность системы	Нет	Да	Нет	Нет
Возможность автоматизации измерений	Нет	Да	Нет	Да

### **Анализ параметров методов**

За счет высокого пространственного и временного разрешения, наибольшее распространение получил метод исследования мозговой активности, комбинирующий электроэнцефалографию и МРТ. В силу того, что одновременное использование ЭЭГ и МРТ затруднено, как правило, проводят первоначальное исследование с помощью МРТ, для определения указанной выше матрицы  $R$ , определение и использование которой в аналитических расчетах позволит повысить пространственную разрешающую способность. При этом необходимо учитывать, что несмотря на лучшие численные характеристики, практическое его применение за рамками исследований затрудняется невозможностью получения данных МРТ за пределами специальной установки.

В силу того, что большинство из перечисленных комбинированных методов регистрации мозговой активности не обладают мобильностью, невозможным становится их использование в ситуациях, когда необходимо одномоментное определение сигналов головного мозга в ходе выполнения какой-либо активности. Такие ситуации, как правило, возникают при использовании систем нейрокомпьютерного интерфейса, но также могут быть важны при исследованиях патологий мозга. Поэтому, несмотря на худшее, по сравнению с другими методами, пространственное разрешение, востребованными могут быть более портативные и мобильные методы, основанные на комбинации ЭЭГ и фБИКС.

Использование комбинированных данных МЭГ и фБИКС/МРТ менее распространены, в силу дороговизны оборудования, необходимого для получения магнитоэнцефалограммы. Тем не менее, известны исследования, комбинирующие данные МЭГ и МРТ для мультимодальной нейровизуализации [7].

### **Предложение по улучшению технологий**

Говоря о комбинированных методах исследования сигналов мозговой активности, помимо методов непосредственной регистрации мозговой активности, следует упомянуть также методы совместной обработки данных. Методы совместной обработки данных, в рамках решения обратной задачи ЭЭГ, нацелены на более точное формирование матрицы  $R$ , с использованием таких математических инструментов, как теория вероятности, теория информации, теория графов, нейросети.

Сравнительный количественный анализ существующих методов совместной обработки данных, полученных разными методами регистрации сигналов, необходимо производить в рамках конкретного эксперимента, в связи с чем затрудняется выделение тенденций в области. Тем не менее, из наиболее востребованных современных методов для совместной обработки данных можно выделить методы DBTN (Dynamic Brain Transition Network, рус. сеть динамических нейронных переходов) и MEM (Maximum Entropy on the Mean, рус. Метод максимальной средней энтропии) [16, 17]. Указанные методы применяются, для совместной обработки данных от ЭЭГ и фМРТ, обладающие схожими характеристиками. Однако, по мнению авторов, применение этих методов для совместной обработки данных, полученных методами ЭЭГ и фБИКС, также может дать результаты, аналогичные по точности и разрешению. При этом обеспечивается мобильность комбинированной диагностической системы.

В работе представлен аналитический обзор существующих методов неинвазивного исследования сигналов мозговой активности, в том числе, при их комбинированном использовании с совместной обработкой данных. Дано обоснование необходимости визуализации активности мозга в целом и использования комбинированных методов в частности. Определены области решаемых задач для различных комбинированных методов. Произведен обзор существующих исследований, использующих совместную обработку данных при анализе сигналов мозговой активности, выявлены способы по потенциальному улучшению характеристик методов регистрации сигналов.

Выделены векторы развития технологий комбинированной нейровизуализации и предложены возможные решения для повышения их эффективности. Основываясь на проведенном анализе, метод, комбинирующий данные ЭЭГ и фБИКС, определен как представляющий наибольший интерес. Предполагаемые улучшения в области алгоритмов

совместной обработки данных в совокупности с использованием новых маркеров для получения функциональной картины мозга на основе регистрации мозговой активности совместно методами ЭЭГ и фБИКС, позволят получить точную и мобильную автоматизированную систему.

### Список использованных источников

1. Yuan K., Chen C., Wang X., Chu C.-W.W., Tong R. K.-YU. BCI Training Effects on Chronic Stroke Correlate with Functional Reorganization in Motor-Related Regions: A Concurrent EEG and fMRI Study. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7824842/> (дата обращения: 25.09.2023).
2. Association, A.S., 2022 2018 Alzheimer's disease facts and figures. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alz-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/alz.12638> (дата обращения: 24.09.2023).
3. Lennox B.R. The Clinical Experience and Potential of Brain Imaging in Patients with Mental Illness. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7824842/> (дата обращения: 26.09.2023).
4. Shih J.J., Krusienski D.J., Wolpaw J.R. Brain-Computer Interfaces in Medicine. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3497935/> (дата обращения: 26.09.2023).
5. Kim B., Kim H., Kim S., Hwang Y. A brief review of non-invasive brain imaging technologies and the near-infrared optical bioimaging. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apmicro.springeropen.com/articles/10.1186/s42649-021-00058-7> (дата обращения: 26.09.2023).
6. Li R., Nguyen T., Potter T., Zhang Y. Dynamic cortical connectivity alterations associated with Alzheimer's disease: An EEG and fNIRS integration study. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221315821830370X?via%3Dihub#bb0110> (дата обращения: 26.09.2023).
7. Dale A., Sereno M. Improved Localization of Cortical Activity By Combining EEG and MEG with MRI Cortical Surface Reconstruction. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=77ee479c9df201d7e93366c74198e9661316f1bb> (дата обращения: 04.10.2023).
8. Atwell D., Buchan A. M., Charpak S., Lauritzen M., MacVicar B.A., Newman E.A. Glial and neuronal control of blood flow. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3206737/> (дата обращения: 04.10.2023).
9. Simultaneous EEG-fMRI for Functional Neurological Assessment. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2019.00848/full> (дата обращения: 04.10.2023).
10. MEG data from a child with temporal lobe dysplasia a MEG. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/figure/Magnetoencephalography-MEG-data-from-a-child-with-temporal-lobe-dysplasia-a-MEG\\_fig3\\_262247441](https://www.researchgate.net/figure/Magnetoencephalography-MEG-data-from-a-child-with-temporal-lobe-dysplasia-a-MEG_fig3_262247441) (дата обращения: 04.10.2023).
11. Shedding Light on the Effects of Moderate Acute Exercise on Working Memory Performance in Healthy Older Adults: An fNIRS study. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3425/10/11/813> (дата обращения: 04.10.2023).
12. Difference between MRI and fMRI. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kryptonite.global/blogs/difference-between-mri-fmri/> (дата обращения: 04.10.2023).
13. Singh P.S. Magnetoencephalography: Basic principles. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4001219/> (дата обращения: 04.10.2023).
14. Quresima V., Ferrari M. Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) for Assessing Cerebral Cortex Function During Human Behavior in Natural/Social Situations: A Concise Review. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1094428116658959#:~:text=Therefore%2C%20fNIRS%20measurements%20are%20restricted,resolution%20\(around%201%20cm\).](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1094428116658959#:~:text=Therefore%2C%20fNIRS%20measurements%20are%20restricted,resolution%20(around%201%20cm).) (дата обращения: 05.10.2023).
15. MR image resolution. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mriquestions.com/image-resolution.html> (дата обращения: 06.10.2023).
16. Belaoucha B., Lina J.M., Clerc M., Papadopoulo T. MEM-diffusion MRI framework to solve MEEG inverse problem. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inria.hal.science/hal-01207165/file/root.pdf> (дата обращения: 06.10.2023).
17. Nguyen T. Characterization of dynamic changes of current source localization based on spatiotemporal fMRI constrained EEG source imaging. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29214978/> (дата обращения: 06.10.2023).

УДК 637.071 678.028.31

## НАКОПЛЕНИЕ ГИСТАМИНА В РЫБАХ РАЗЛИЧНОЙ ЖИРНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Наумова А.В. (аспирант, Университет ИТМО), Островидова Е.В. (ФГБУ НКЦТ им. С.Н. Голикова),  
Яккола А.Н. (Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского), Калниня Я.К. (ФГБУ НКЦТ  
им. С.Н. Голикова)

**Научный руководитель:** д.т.н, профессор Ишевский А.Л. (Университет ИТМО)

*e-mail:* 89818773842@mail.ru

*Основная масса рыбной продукции, которая реализуется в торговой сети, добывается в открытом океане. Всего в мировом океане насчитывается полмиллиона обитателей, среди них животных и растений более сто пятьдесят видов, рыб шестнадцать тысяч, десять тысяч видов растений. Из вышеперечисленных ресурсов, человек использует множественные популяции рыб, китов, морского зверя, водорослей, моллюсков.*

*На сегодняшний день загрязнение окружающей среды – это одна из глобальных проблем, поэтому очень важным аспектом является определение микропримесей загрязняющих веществ в продуктах питания, а также снижение их содержания, из-за чего продукт становится некачественным и непригодным к потреблению. Основное требование для реализуемой продукции, в том числе и для рыбы – это безопасность. По Международному стандарту ГОСТ 32366–2013 пункту 7.2 токсикология гистамин относится к классу веществ, наличие которых должно строго контролироваться. В настоящей работе проведено определение гистамина в рыбах различной жирности на примере хека и сельди с применением методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). В ходе работы была разработана методика пробоподготовки для проведения исследования, определены временные рамки по показателям безопасности в выбранных образцах рыб, с целью проведения дальнейших испытаний по увеличению сроков хранения.*

**Ключевые слова:** рыба, качество, безопасность, сроки хранения, эффективность, ВЭЖХ.

На сегодняшний день большая проблема для потребителя состоит в том, чтобы приобрести качественную и безопасную рыбную продукцию. Известно множество методов контроля показателей безопасности в пищевых продуктах. По ГОСТ 32366-2013 разделу 7 токсикология показателями безопасности продуктов, вырабатываемых из объектов водного промысла, служат: органолептические показатели, а именно, запах и вкус, токсичные элементы, пестициды, полихлорированные бифенилы, гистамин, особенно для семейств лососевых, сельдевых, скумбриевых, в том числе тунцов, радионуклиды, микробиологические показатели и паразитарная или микробиологическая чистота. Допустимые уровни показателей безопасности рыбных товаров и морепродуктов установлены СанПиН 2.3.2.1078-01 и Техническом регламенте «О безопасности рыбы и рыбной продукции», который вводится в действие с 01.09.2017 г. [1, 2]. Регламент комиссии (ЕС) № 1441/ 2007 «О микробиологических показателях для пищевых продуктов» к факторам риска по гистамину относит также семейства корифеновых, луфаревых, анчоусовых, макрелешуковых [1].

Ограничение массовой доли гистамина служит специфическим показателем безопасности продуктов, изготовляемых из рыб определенных семейств, имеющих темную мускулатуру, в составе которой повышенное содержание свободной аминокислоты гистидина, в результате декарбокислирования которого накапливается биогенный диамин-гистамин (рис. 1).

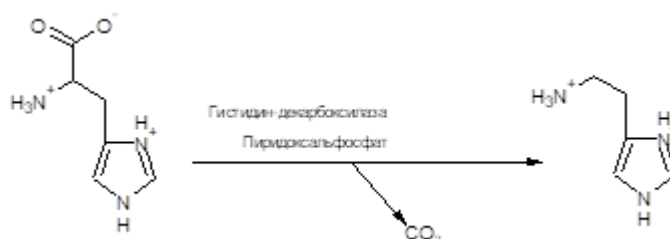


Рис. 1. Синтез гистамина из аминокислоты гистидина в процессе хранения

**Гистамин** ( $\beta$ -имидазолин-4(5)-этиламин) — биогенный амин, образующийся в организме в результате декарбоксилирования гистидина под действием специфической декарбоксилазы. В организме человека играет важную роль в регуляции многих физиологических функций. Впервые был выделен в 1896 г. В пищевых продуктах гистамин образуется при хранении в процессе распада белка, не инактивируется тепловой обработкой [2].

Отравление гистамином – это пищевая интоксикация, которая характеризуется множеством симптомов. Токсические эффекты гистамина связаны с его нормальными физиологическими действиями в организме. В частности, они связаны с расширением периферических кровеносных сосудов, которое приводит к гипотензии, гиперемии и головной боли, в то время как повышенная проницаемость капилляров вызывает крапивницу, гемоконцентрацию и отек век; симптомы, влияющие на желудочно-кишечную систему, обусловлены сокращением гладкой мускулатуры. Гистамин оказывает также стимулирующее действие на сердце, увеличивая его сократительную способность и вызывая учащенное сердцебиение, в то время как он является мощным стимулятором сенсорных и моторных нейронов, вызывающих боль и зуд, связанные с сыпью [Продовольственная и сельскохозяйственная организация/ Всемирная организация здравоохранения (ФАО/ВОЗ), 2012].

Самое опасное свойство гистамина состоит в том, что продукт, который реализован в торговой сети имея токсичный уровень гистамина, не меняет при этом своих органолептических характеристик [1]. Учитывая опасное действие продукции с высоким содержанием гистамина на организм человека, многие страны ввели ограничения по его содержанию. В соответствии с СанПиН 2.3.2.1078 [3] в Российской Федерации ПДУ гистамина определен для лососевых, сельдевых, тунцовых и скумбриевых в количестве до 100 мг/кг. Для примера, предельно допустимая концентрация гистамина в США и Канаде допускается в сырье до 50 мг/кг (производители рыбных консервов контролируют сырье по норме 5–15 мг/кг гистамина), в Австралии – до 100 мг/кг, в Швеции – до 100 мг/кг в свежей рыбе и не более 200 мг/кг в соленой рыбе. Содержание гистамина в рыбе в соответствии с Регламентом Комиссии (ЕС) №2074/2005 [2] регламентируется как микробиологический показатель, особенно рыб семейств *Scorridae* (скумбриевых), *Clupeidae* (сельдевых), *Engraulidae* (анчоусовых), *Coryphaenidae* (корифеновых), *Pomatomidae* (луфаревых), *Scorberesocidae* (скумбрушковых). Содержание гистамина в рыбах выше перечисленных классов находится на уровне от 100 до 200 мг/кг, и от 200 до 400 мг/кг для продукции из этих же видов рыб, подвергнутой ферментативному созреванию в тузлуке. Повышение массовой доли гистамина до опасных уровней может не вызвать органолептических изменений в рыбе. В редких случаях, когда содержание гистамина в десятки раз превышает предельно допустимый уровень, рыба может приобрести острый вкус. Признаки отравления гистамином схожи с симптомами аллергии на рыбные продукты [3, 4].

Давно известен факт, что большое содержание гистамина в пищевых продуктах связано с ферментной активностью бактерий. Бактерии, которые преобразуют гистидин в гистамин относятся к нормальной поверхностной микрофлоре. В свежей рыбе их количество достигает примерно 1% от общего количества микроорганизмов продукта. Большинство бактерий, продуцирующих биогенные амины в рыбе, не относится к обычной микрофлоре рыбы и представлены в виде продуктов ее контаминации на любом этапе цепи реализации в торговой сети.

Большинство синтезирующих биогенные амины бактерий – это мезофилы, и низкие температуры эффективно ограничивают их рост. Например, при хранении сельди в обычных условиях при 0°C содержание гистидина за 15 дней снизилось с 1255 до 15,7 мг/кг при одновременном росте концентрации гистамина с 0 до 128 мг/кг, а при ее хранении в асептических условиях концентрация свободного гистидина увеличилось из-за автолиза до 4459 мг/кг, при неизменной массовой доле гистамина.



Превышение концентраций гистамина и других биогенных аминов в пищевых изделиях свидетельствует прежде всего о бактериальной порче продукта, так как реакция декарбоксилирования аминокислоты гистидина катализируется ферментом гистидиндекарбоксилазой, который продуцируют бактерии семейства *Enterobacteriaceae*, родов *Clostridium*, *Vibrio*, *Photobacterium* и *Lactobacillus*. У определенных видов, например у *Morganella morganii*, все штаммы проявляют гистидиндекарбоксилазную активность, тогда как у других, в частности у *Klebsiella pneumoniae* и *Lactobacillus buchneri*, этот фермент характерен лишь для некоторых штаммов. Гистидин декарбоксилирующие микроорганизмы изолированы из кишечника пищевых продуктов животного происхождения, зачастую имеют доброкачественный внешний вид. Активность фермента декарбоксилазы связана с видом и штаммом бактерий, а также с внешними факторами окружающей среды. Декарбоксилирующая активность некоторых штаммов также зависит от аминокислотного состава продукта [4].

Среди микроорганизмов, ответственных за процесс декарбоксилирования гистидина, отмечают представителей семейства *Enterobacteriaceae*: *Esherichia*, *Enterobacter*, *Salmonella*, *Schigella*, *Proteus* и некоторые виды, принадлежащие к *Pseudomonas*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Clostridium*, *Vibrio*. Отмечено, что *Cl.perfringens* типа F, которая инициирует некротический энтерит у людей, образует большое количество гистамина. Наличие высокого содержания *Proteus* используется как маркер отравления рыбами из семейства скумбриевых. Другие микроорганизмы типа *Hafnia*, *E.coli* также способны создавать большие количества гистамина, но с гораздо меньшей скоростью. Полагают, что *Morganella morganii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Hafnia alvei* наиболее продуктивны в отношении гистамина при повышенной температуре (оптимум 30°C), поскольку в их присутствии быстро накапливается более 100 мг гистамина в 100 г продукта.

Известно, что *Pseudomonas fluorescens* способен расщеплять гистидин, а виды *Betabacterium buchneri* образуют гистамин только в рыбных маринадах. К сожалению, выявление гистамина в рыбных рассолах возможно в том случае, когда количество бактерий в исследованиях на КМАФАнМ превышает 10<sup>7</sup>. Для того чтобы микроорганизмы могли образовывать гистамин, необходимо наличие не только гистидина, но и глицина, лейцина, аргинина, аланина, аспаргина и цистина, а также сахара. Появление гистамина в культуральной среде может говорить об изменении pH. Помимо гистаминообразующих бактерий, в пищевых продуктах присутствуют микроорганизмы, обладающие гистаминазной активностью и разрушающие гистамин, например, *Sarcina flova* и некоторые виды грамотрицательных бактерий. Вероятно, они играют важную роль во взаимодействии микроорганизмов, приводя к установлению определенного равновесия между образованием гистамина и его разрушением [5].

Для подавляющего большинства микроорганизмов оптимальные температуры образования гистамина в рыбе находятся в диапазоне температур от 15–20 до 30–38°C. При отлове гидробионтов, особенно в теплых морях, сырье часто имеет температуру выше 15°C на протяжении нескольких часов (например, в сетях, тралах и т.д.). Именно такая температура является «субстратом» для жизнедеятельности бактерий, продуцирующих биогенные амины. На сегодняшний день, оптимальной практикой в рыболовстве, которая наиболее эффективно предотвращает увеличение концентраций гистамина в тканях рыбы – это быстрое замораживание или хранение при температурах, не превышающих 0°C. Это связано с тем, что отдельные виды продуцирующих гистамин бактерий относятся к психрофильным видам, для надежного предотвращения образования биогенных аминов в рыбе необходимо соблюдение таких условий, как тщательный контроль температуры хранения, быстрое охлаждение выловленных в морской воде и ограничение времени хранения в охлажденной морской воде до последующего замораживания. К сожалению, термическая обработка не снижает уровень гистамина, из-за термостойкости соединения. Эта способность была описана у различных родов, видов и штаммов бактерий, как грамположительных, так и грамотрицательных (Ladego et al., 2010). Гистамин крайне редко встречается в свежей рыбе, так как его концентрации

увеличиваются в процессе разложения рыбы (Shakila et al., 2003). Микроорганизмы, содержащиеся при вылове рыбы на жабрах, а также в кишечнике, начинают расти после смерти, так как защитные механизмы инактивированы. В некоторых случаях, высокая температура является катализатором роста гистаминообразующих бактерий. После образования фермента гистидиндекарбоксилазы бактерии также могут продолжать вырабатывать гистамин при температуре охлаждения или близкой к ней, соединение остается стабильным в замороженной рыбе и может быть реактивирован после оттаивания. Температура  $-18^{\circ}\text{C}$  или ниже может остановить рост бактерий и предотвратить образование гистидиндекарбоксилазы. И наоборот, выработка гистамина выше при температуре  $21,1^{\circ}\text{C}$ , самая высокая при  $32,2^{\circ}\text{C}$  [Управление по контролю за продуктами и лекарствами (FDA), 2011]. Термическая обработка может инактивировать как фермент, так и микроорганизмы, но образовавшийся гистамин не может быть устранен, так как он термостабилен [Управление по контролю за продуктами и лекарствами (FDA), 2011].

В таблице 1 приведено содержание гистамина в рыбах различных видов.

Таблица 1. Содержание гистамина в различных рыбах и рыбных продуктах

№пп	Продукты	Содержание гистамина мг/кг
1	Ферментированные сыры	до 1330
2	Селёдочная икра	350
3	Вяленая ветчина и говяжьи сосиски	225
4	Квашенная капуста	160
5	Скумбрия свежемороженая	75
6	Свежее филе сельди	44
7	Консервы «Скумбрия натуральная в масле»	42
8	Консервы «Сардина натуральная в масле»	42
9	Консервы «Сельдь атлантическая»	42
10	Сельдь холодного копчения	41
11	Скумбрия холодного копчения	40
12	Шпинат	37,5
13	Свиная печень	25
14	Горбуша свежемороженая	23
15	Томаты	22
16	Филе хамсы	20
17	Консервированный тунец	20

### Материалы и методы

В ранее проведенных исследованиях [6, 7], гистамин определялся фотоколориметрическим методом, а также методом тонкослойной хроматографии. Объектами служили консервы из тунца, горбуши, скумбрии атлантической, отечественных и зарубежных изготовителей. В зарубежной продукции из тунца и скумбрии атлантической не происходило увеличение массовой доли гистамина. В консервах из тунца, бланшированного в масле российского производства, за четыре месяца величина показателя увеличилась в 1,5 раза, а в натуральных консервах из горбуши – в семь раз.

В настоящее время существует несколько способов определения гистамина в образцах биологических жидкостей, но все они имеют свои преимущества и недостатки. Известен способ определения гистамина в плазме крови, основанный на реакции образования с офталиевым альдегидом сильно флуоресцирующего соединения, которое определяют на спектрофлуориметре при длине волны 450 нм и возбуждении при 365 нм. Недостатками данного способа является трудоемкость, связанная с многостадийностью и рядом последовательно проводимых химических реакций и физико-химических определений, а также высокая стоимость применяемых химических реактивов. Наиболее близким по достигаемому техническому результату – способ определения методом тонкослойной хроматографии, но данный метод малоинформативен, если гистамин необходимо определить количественно. В

пищевой промышленности известен способ позволяющий быстро качественно и количественно определить содержание гистамина – метод высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Известно, что жирная рыба выделяет гистамина больше, чем нежирная, поэтому для исследования были использованы два вида рыбы различной категории жирности: Хек и Сельдь.

### **Пробоподготовка**

Технический результат при использовании ВЭЖХ достигается тем, что используют жидкостную хроматографию, в качестве элюэнта – смесь 0,1 М раствора дигидрофосфата натрия и ацетонитрила при градиенте концентрации последнего от 0 до 50% и скорости подачи потока элюэнта 90 мкл/мин, объеме элюирования 1500 мкл, температура хроматографической колонки 35°C, детекцию проводят при длине волны 210 нм.

Способ осуществляют поэтапно следующим образом:

#### **1. Подготовка фарша.**

Для определения используют фарш Хека и Сельди. Кусок рыбы в количестве 10 гр, помещают во флакон и перемешивают электрической мешалкой, до равномерной консистенции. Предварительно во флакон добавлен в качестве антикоагулянта гепарин из расчета 1 мл гепарина на 10 г фарша. Покачиванием или легким встряхиванием пробирки фарш перемешивают с антикоагулянтом.

#### **2. Подготовка пробы.**

Для количественного определения гистамина используют фарш, консервированный гепарином. Фарш центрифугируют при 8000 об/мин в течение 20 минут для осаждения форменных элементов. Затем к 1 мл полученной массы добавляют 2 мл 100% ацетонитрила для осаждения белков. Полученную суспензию сразу тщательно перемешивают стеклянной палочкой для формирования равномерного осадка. Затем пробу центрифугируют при 8000 об/мин в течение 15 минут для формирования плотного осадка. Для исследования забирают надосадочную жидкость.

#### **3. Хроматографирование пробы.**

Полученную надосадочную жидкость хроматографируют, используя в качестве подвижной фазы (элюэнта) смесь 0,1 М раствора дигидрофосфата натрия и ацетонитрила при градиенте концентрации последнего от 0 до 50%. Скорость подачи потока элюэнта составляет 90 мкл/мин, объем элюирования 1500 мкл, температура хроматографической колонки 35°C. Детекцию проводят при длине волны 210 нм.

Используемое оборудование:

- для проведения определения используют высокоэффективный жидкостный хроматограф «Миличром А-02» (ЗАО Институт хроматографии «Эконова», Новосибирск, Россия) с УФ-детектором и хроматографической колонкой Pronto SIL-120-5-C18AQ 2×75 мм с размером частиц 5 мкм;
- для центрифугирования используют центрифугу марки "Центрифуга лабораторная медицинская ОПн-8 ШХ 2.779.040» производства АО ТНК «Дастан», г. Бишкек;
- стандартные образцы и реактивы;
- в качестве стандартного образца используют кристаллический порошкообразный гистамин фирмы «Fluka», USA;
- в качестве элюэнта и реактива для осаждения белков использовали ацетонитрил для хроматографии фирмы «Fluka», USA;
- для приготовления фосфатного буфера использовали порошкообразные кристаллические натрия фосфат однозамещенный и калия фосфат двузамещенный химически чистые для анализа фирмы «Sigma», USA.

Гистамин в фарше идентифицируют путем сопоставления времени удерживания пика, полученного на хроматограмме анализируемой пробы, со временем удерживания стандартного образца. Для подтверждения полученных результатов добавляют стандартный раствор гистамина в анализируемую пробу и наблюдают увеличение предполагаемого пика гистамина, сравнивают спектры поглощения в УФ-области стандартного образца и

обнаруженного гистамина в плазме, записанные при остановленном потоке элюэнта во время выхода вещества из колонки. Количественное определение гистамина в плазме проводят путем построения градуировочного графика, хроматографируя серию разведений стандартного образца гистамина в воде (табл. 2). Установка для проведения исследования представлена на рисунке 2.

Концентрацию гистамина в плазме вычисляют по формуле:

$$C=W(R) \times D/V,$$

где  $W(R)$  – вычисленное по градуировочной зависимости количество вещества в пике,  $D$  – разведение пробы,  $V$  – объем пробы (2 мкл).

Заявленный способ обладает высокой эффективностью, не требует проведения многочисленных предварительных химических реакций и не предусматривает использование большого количества химических реактивов.

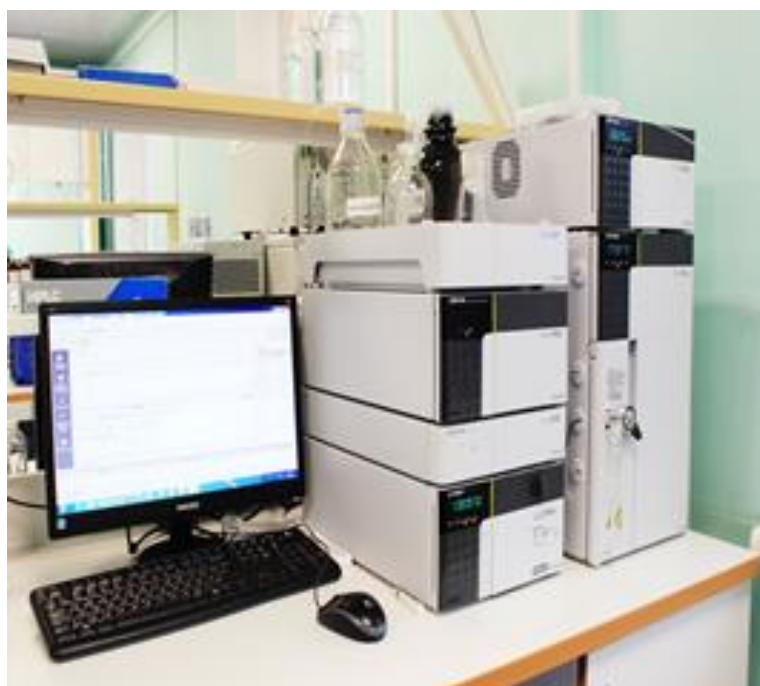


Рис. 2. Установка для проведения анализа

Таблица 2. Условия хроматографического разделения

Время, мин	А, об. %	В, об. %
0	30	70
2	35	65
6	90	10
8	90	10
9	30	70

Выводы по проделанной работе:

1. Актуальность работы по изучению накопления биогенных аминов, а именно гистамина в рыбе и рыбных продуктах связана с множеством причин: несоблюдением условий хранения, транспортировки, нарушений асептических мероприятий на производстве – все вышеперечисленные факторы становятся причиной образования токсичных соединений. В результате проделанной работы установлены критические точки выработки гистамина в рыбах различной жирности.
2. Разработана и проведена пробоподготовка для образцов рыбы. Значительное количество выработки гистамина, было выявлено в сельди, не допустимое по нормативам ГОСТ и СанПин количество гистамина выявлено на 6 сутки в сельди, на 8 сутки в хеке.

### **Список использованных источников**

1. Давыдов О.Н. Болезни пресноводных рыб / О.Н. Давыдов, Ю.Д. Темниханов. – К.: "Ветинформ". – 2003. – 544 с.
2. Давыдов О.Н. Ветеринарно-санитарный контроль пищевых гидробионтов / О.Н. Давыдов, А.В. Абрамов, Ю.Д. Темниханов – Черкассы, изд-во "АНТ". – 2007. – 458 с.
3. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. минерализация для определения содержания токсичных элементов (ГОСТ 26929–94). [введ. с 01.01.96]. – М., 1996. – С. 22–30. – (сб. стандартов).
4. Филенко О.Ф./ Основы водной токсикологии. О.Ф. Филенко, И.В. Михеева. – М.: Колос. – 2007. – 144 с.
5. Brown R.E., Stevens D.R. Haas H.L. The Physiology of Brain Histamine. *Progress in Neurobiology*. – 2001. – №. 63(6). – Pp. 637–672.
6. Fleck M.W., Thomson J.L., Hough L.B. Histamine-gated ion channels in mammals? *Biochem Pharmacol*. – 2012. – №. 83(9). – Pp. 1127–1135.
7. Barry L. *Fish and Fishery Products: Hazards and Controls Guidance (4th Ed.)*. DIANE Publishing. – 2011. – 476 p.
8. Colombo F.M., Cattaneo P., Confalonieri E., Bernardi C. Histamine food poisonings: A systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2016 Oct 28:0.

## Цифровые решения в зеленой химии

---

УДК 004

### **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО АВТОМАТИЗИРОВАТЬ ЧАСТЬ РАБОТ**

**Маковецкий А.А.** (студент, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова),

**Логунова Т.В.** (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова),

**Щербакова Л.В.** (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Щербакова Л.В.** (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

*e-mail: i59513@voenmeh.ru*

*Развитие организации или учреждения зависит от уровня оптимизации эффективности рабочей деятельности каждого их подразделения. При этом немалую роль играет возможность апробировать и внедрять новые достижения в автоматизацию рабочего процесса. Исходя из этого, в данной статье освещен метод повышения коэффициента полезного действия для подразделения технической поддержки на примере БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова путем создания и внедрения специализированного программного обеспечения, которое позволяет автоматизировать часть работы в сфере учета расходных материалов.*

**Ключевые слова:** *программное обеспечение, коэффициент полезного действия, автоматизация, повышение эффективности, оптимизация рабочего процесса.*

Одной из главных задач в любой организации является оптимизация ее рабочего процесса [1]. Необходимо настроить работу всей организации таким образом, чтобы коэффициент полезного действия не только каждого подразделения, но и каждого сотрудника, в частности, был высок. Добиться этого можно абсолютно разными методами: организационными, мотивационными, техническими и т.д. У каждого из этих методов есть свои достоинства и недостатки. Однако стоит выделить именно технический метод.

Данный метод за последние годы очень сильно развивается, по сравнению с остальными. Еще каких-то сто лет назад всю сложную вычислительную работу выполнял человек, что приводило к увеличению временных затрат и соответственно вело к производственным издержкам, то сейчас большинство вычислений и рутинных операций вместо ручного труда заменены на работу компьютера, который реализует их с экспоненциально меньшими временными затратами. Компьютерное устройство взяло на себя часть задач и таким образом повысив производительность сотрудника.

Для реализации поставленных задач, сотруднику необходимо лишь задать определенные параметры и конкретные действия компьютеру, для работы с этими параметрами. Проще это делать через специализированное программное обеспечение [2], которое создается под определенные виды работ. При этом, сотруднику, использующему компьютер в работе, не надо знать языки программирования или то, как именно функционирует компьютер. Ему достаточно лишь запустить программу, ввести нужные данные и получить конкретный результат.

Именно специализированное программное обеспечение (рисунок) способно оптимизировать рабочий процесс, посредством упрощения как взаимодействия ПК с сотрудником, так и ускоряя выполнение операций. Рассмотрим реализацию технического метода на примере отдела технической поддержки БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Одной из задач, которую должно выполнять данное подразделение, является выдача картриджей для принтеров, копиров и многофункциональных устройств. Весь путь выдачи материалов, до начала использования специализированного программного обеспечения, можно описать следующими пунктами:

- сотрудник вуза составляет служебную записку, где в числе обязательных критериев необходимо указать модель аппарата, на выдачу необходимых расходных материалов, в данном случае картриджей;

- данную служебную записку передают в отдел документационного обеспечения управления (ДОУ). Помимо этого, дополнительно, сотрудник вуза имеет возможность сообщить в отдел технической поддержки о передаче данного документа в отдел ДОУ, но в ряде случаев этого не происходит;
- сотрудник технической поддержки может посетить отдел ДОУ в рабочие часы для проверки наличия служебных записок;
- для предоставления корректных материалов сотрудник технической поддержки проверяет соответствие названия картриджей, которые подходят для указанного в служебной записке аппарата;
- сотрудник технической поддержки проверяет наличие требуемых и подходящих расходных материалов по реестру;
- если необходимый картридж в наличии, то производится его поиск в складских помещениях;
- после того как требуемый картридж находят, сотрудник технической поддержки связывается с сотрудником вуза и договаривается о времени и месте встречи;
- при передаче запрашиваемых материальных ценностей и их установке (при необходимости) сотрудником технической поддержки, сотрудник вуза обязан подписать отчетные документы (акт приема-передачи и акт выполненных работ) о получении расходных материалов и оказании услуг замены картриджа, в случае необходимости.

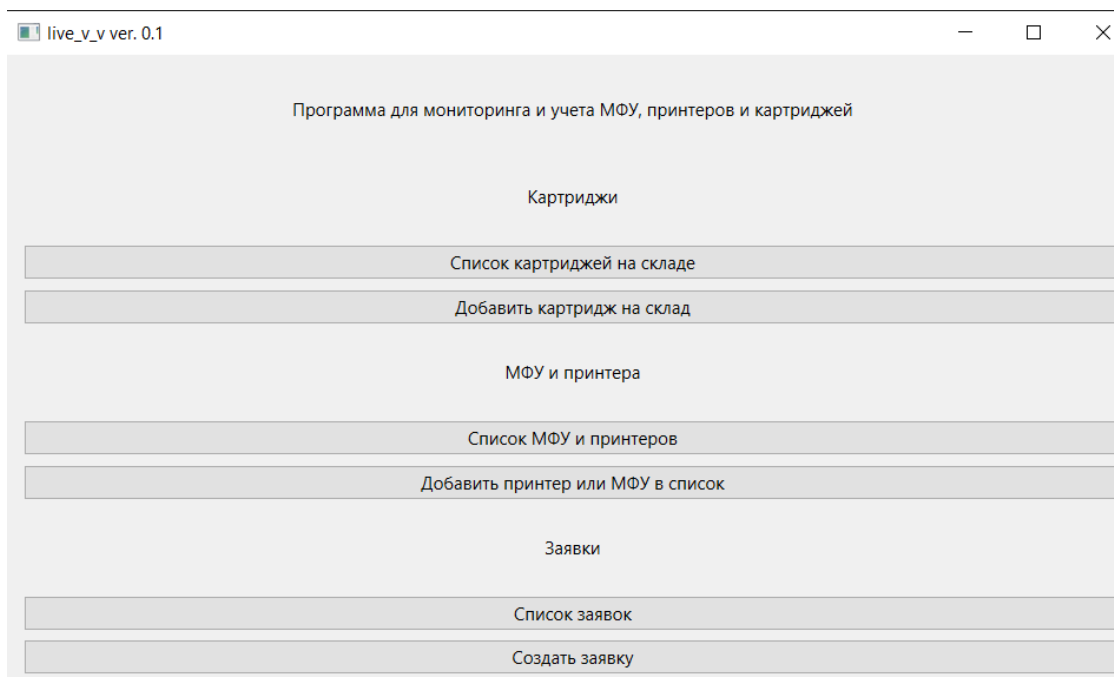


Рисунок. Пример специализированного программного обеспечения

Таким образом, с момента написания служебной записки до момента выдачи расходного материала проходило в среднем 2–3 рабочих дня. Большая часть времени тратится именно на рутинную работу, которую можно автоматизировать при помощи специализированного программного обеспечения.

В результате разработки был представлен программный продукт, написанный на языке программирования C++, с использованием графической библиотеки Qt6.

Весь путь выдачи картриджей, после ввода в эксплуатацию специализированного программного обеспечения, можно описать следующими пунктами:

- сотрудник вуза заходит на специализированный сайт технической поддержки университета, где может оставить заявку на необходимые работы, в частности замены расходных материалов (картриджей) для аппарата, находящегося на балансе университета. Модель аппарата он выбирает из выпадающего списка;

- программа производит подбор картриджей, которые подходят для выбранного аппарата, и проверяет его наличие по базе данных материальных активов университета;
- если необходимый картридж есть в наличии, то программа формирует служебную записку и остальные отчетные документы, прикрепляет их к заявке и передает данные сотруднику технической поддержки;
- сотрудник технической поддержки распечатывает комплект документов и находит на складе необходимый картридж;
- на следующем этапе сотрудник технической поддержки связывается с сотрудником вуза и договаривается о времени и месте встречи;
- при передаче запрашиваемых материальных ценностей и их установке (при необходимости) сотрудником технической поддержки, сотрудник вуза обязан подписать отчетные документы (акт приема-передачи и акт выполненных работ) о получении расходных материалов и оказании услуг замены картриджа, в случае необходимости.

Как показано, количество выполняемой рутинной работы [3] сократилось, благодаря возможности автоматизировать процесс подачи заявок, подбора требуемых материалов и составления документации для устранения необходимости. Соответственно, сократилось и время, которое тратится на выдачу расходных материалов, в данном случае, картриджа. Среднее время, затраченное на выдачу запрашиваемых материалов, сократилось в два раза, в зависимости от времени подачи заявки и наличия запрашиваемого материального объекта. На основании вышесказанного можно сделать вывод, что работа была оптимизирована путем ввода в эксплуатацию специализированного программного обеспечения, что является необходимостью для сокращения трудозатрат и повышения коэффициента эффективности работы отдела, позволяя сотрудникам технической поддержки минимизировать время ответа и предоставления услуги по запросу.

#### **Список использованных источников**

1. Оптимизация рабочего процесса: полное руководство. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://deep-vision.one/knowledge/optimizatsiya-rabocheho-protsesta-polnoe-rukovodstvo/#:~:text=Оптимизация%20рабочего%20процесса%20, свободный> (дата обращения: 26.09.2023).
2. Решения для специализированного ПО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.karma-group.ru/solutions/resheniya\\_dlya\\_spetsializirovannogo\\_po/#:~:text=Специализированное%20программное%20обеспечение%20, свободный](https://www.karma-group.ru/solutions/resheniya_dlya_spetsializirovannogo_po/#:~:text=Специализированное%20программное%20обеспечение%20, свободный) (дата обращения: 20.09.2023).
3. Рутинная работа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://юрист.рф/dolzhnostnye\\_instrukcii/rutinnaya-rabota/](https://юрист.рф/dolzhnostnye_instrukcii/rutinnaya-rabota/), свободный (дата обращения: 24.09.2023).



УДК 519.6

## О НОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ПО ОДНОРОДНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПАРТИЯМ

Цепкова М.И. (СФУ), Ахматшин Ф.Г. (аспирант, СибГУ), Петрова И.А. (СибГУ),

Казаковцев Л.А. (СФУ)

Научный руководитель: д.т.н., профессор Казаковцев Л.А. (СФУ)

e-mail: marie1206@yandex.ru

*При проведении выборочных разрушающих тестовых испытаниях образцов промышленной продукции важно, чтобы тестированию были подвергнуты образцы из каждой производственной партии. Если состав партии неизвестен, такие однородные производственные партии должны быть выделены, для чего может быть применен один из методов кластерного анализа на основе данных сплошного неразрушающего тестирования изделий. В этой статье мы задаемся вопросом об эффективности нормирования данных с применением оценки усадки Джеймса – Штейна в задаче автоматической группировки промышленной продукции по однородным производственным партиям, используя индекс Рэнда, преимущества нормирования с применением усадки.*

**Ключевые слова:** *k-средних, кластеризация, жадная эвристика, оценки Штейна.*

Для комплектации систем высокой надежности электронной компонентной базой (ЭКБ) в специализированных испытательных центрах проводятся тесты электрических параметров для каждого полупроводникового прибора. Часть таких испытаний – разрушающие испытания, проводимые на небольшой выборке изделий. Одним из требований является то, что отгружаемая партия продукции должна быть изготовлена из одной партии сырья (пластин), что не гарантируется производителем. Для решения задачи обнаружения однородных производственных партий реализуются различные алгоритмы кластеризации на многомерных данных результатов неразрушающих испытаний [1]. Эти данные [2] имеют часть малоэффективных признаков, различаются в единицах измерения, поэтому данные нормируются по значениям допустимого дрейфа, по допустимым значениям измеряемого параметра или с использованием нормализации по стандартному отклонению [3, 4]. Иногда включение нормализации в модель автоматической группировки лишь ухудшает точность решения задачи. Между некоторыми из характеристик зачастую присутствуют явные корреляционные зависимости. Сравнительно эффективно данная проблема решается в задаче *k-means* с особыми мерами расстояний, в которых эти зависимости учтены.

Пусть набор данных  $D = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  содержит данные из  $N$  объектов (точек в пространстве характеристик). обозначим центроиды, полученные после применения автоматической группировки *K-средних*  $c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_K$ . Цель состоит в том, чтобы сумма квадратов расстояний от известных точек до ближайших центроидов достигла своего минимума

$$\operatorname{argmin} F(c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_K) = \sum_{i=1}^n \min_{j \in \{1, K\}} \|x_i - c_j\|^2,$$

где  $c_j$  – центроид кластера  $C_j$ . Применяется алгоритм *K-средних* [5].

**Алгоритм 1.** Основной алгоритм *K-средних*:

**Шаг 1.** Выбор  $K$  точек в качестве начальных центроидов.

**Шаг 2.** Повторять.

**Шаг 3.** Сформировать  $K$  кластеров, присвоив каждой точке ее ближайший центроид.

**Шаг 4.** Пересчитать центроид каждого кластера.

**Шаг 5.** Повторять пока не удовлетворен критерий сходимости.

Для улучшения средних значений  $\|x_i - c_j\|$  в кластере в нашем исследовании мы используем оценку усадки Джеймса-Штейна [6] от  $x_i$  до среднего значения  $\bar{\mu}_i$  всего набора данных  $x_{JS} = \left(1 - \frac{(p-2)k\sigma^2}{\|x_i - \bar{\mu}\|^2}\right)^+ (x_i - \bar{\mu}) + \bar{\mu}$ , где  $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_p)$  –  $p$ -мерный средний параметр;

$x_i = (x_1, \dots, x_p)$  –  $p$ -мерное наблюдение; среднее значение выборки  $\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ ;  $( )^+$  оценка с положительной частью, приравнивается к нулю при отрицательных значениях;  $\sigma^2$  – дисперсия значения  $x$ ;  $k$  – коэффициент уменьшения обычной оценки до некоторой значимой ненулевой величины.

Улучшенные точки  $x_{JS}$  используем в алгоритме 1. В отличие от [7], нами исследуется эффективность применения оценки усадки после нормализации данных до выполнения основного алгоритма  $K$ -средних.

Исходные данные представляют собой совокупность тестовых испытаний смешанной партии интегральных схем 140УД25А и 140УД26А до и после электротренировки (ЭТТ), которые описываются 18 измеряемыми параметрами.

Набор данных с использованием нормализации по значениям допустимого дрейфа рассчитывался только для параметров, для которых соответствующие нормы были установлены, остальные данные обнулялись. Характерный вектор данных с использованием нормализации по значениям допустимого дрейфа:

$$x_{vpd} = (0, 0, x_2, x_3, x_4, x_5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{21}).$$

Набор данных с использованием нормализации по допустимым значениям параметра рассчитывался для 3–16 параметра, для которых соответствующие нормы были установлены, остальные данные обнулялись.

Таким образом, были сформированы наборы данных после различных видов нормирования, для каждого из которых мы провели 30 экспериментов методом кластеризации  $K$ -средних.

Средние результаты кластеризации приведены в таблицах 1 и 2, представлены максимальное (*Max*), минимальное (*Min*), среднее значение (*Mean*), медианное (*Median*) и стандартное отклонение (*StD*) для индекса Рэнда *RI* и целевой функции *F*. Для целевой функции *F* также рассчитываются коэффициент вариации (*Var*) и коэффициент размаха (*Spn*).

Средние результаты кластеризации  $K$ -средних с использованием нормализации по стандартному отклонению с различным коэффициентом  $k$  уменьшения обычной оценки Джеймса-Штейна JS для ИС 140УД25А, размер набора данных  $n = 201$  приведен в таблице.

Для первого набора данных для ИС 140УД25А при  $k = 20$  показывает лучшее значение точности кластеризации по индексу Рэнда и минимальное значение стандартного отклонения целевой функции. Характерный вектор улучшенной оценкой усадки Джеймса – Штейна  $x_{JS} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, x_{16}, 0)$  показывает наибольшее уменьшение влияния 17 параметра.

Применение улучшенной оценки усадки Джеймса – Штейна приводит к уменьшению влияния неинформативных параметров нормализованных данных.

С улучшением оценки усадки JS Джеймса – Штейна значение целевой функции уменьшается, а затем увеличивается.

Лучшее значение точности кластеризации по индексу Рэнда наблюдается при минимальном значении стандартного отклонения средних результатов кластеризации целевой функции при улучшении оценки усадки JS Джеймса – Штейна.

Таблица. Средние результаты кластеризации для первого набора данных

JS	F				RI				
	Max	Min	Mean	Median	Max	Min	Mean	Median	StD
0	77,428	66,811	68,663	66,813	0,605	0,559	0,592	0,564	0,011
1	24,803	20,604	21,491	20,604	0,573	0,417	0,468	0,419	0,055
2	12,597	10,602	11,005	10,606	0,562	0,337	0,456	0,339	0,059
3	6,856	6,130	6,392	6,167	0,622	0,368	0,467	0,381	0,057
4	5,324	4,855	5,030	4,862	0,622	0,396	0,496	0,401	0,086
5	4,635	3,960	4,205	4,007	0,645	0,386	0,553	0,393	0,093
6	3,858	3,303	3,491	3,310	0,637	0,372	0,547	0,374	<b>0,097</b>
7	3,626	2,842	3,033	2,854	0,669	0,351	0,594	0,358	0,067
8	3,360	2,527	2,682	2,530	0,710	0,348	0,602	0,461	0,057
9	2,763	2,218	2,396	2,236	<b>0,720</b>	0,547	0,633	0,563	0,038
10	2,339	1,920	2,070	1,921	0,701	0,378	0,620	0,381	0,073
20	0,879	0,579	0,651	0,584	0,690	<b>0,569</b>	<b>0,654</b>	<b>0,587</b>	0,027
30	0,901	0,448	0,596	0,449	0,671	0,511	0,618	0,547	0,032
40	1,163	0,380	0,538	0,388	0,647	0,299	0,582	0,383	0,065
50	0,805	0,343	0,451	0,346	0,636	0,466	0,571	0,468	0,041
60	0,694	0,290	0,438	0,296	0,605	0,405	0,518	0,405	0,058
70	0,738	0,248	0,380	0,256	0,573	0,299	0,489	0,345	0,056
80	0,662	<b>0,236</b>	0,399	0,238	0,547	0,299	0,444	0,299	0,063
90	<b>0,493</b>	0,196	<b>0,311</b>	<b>0,198</b>	0,573	0,375	0,457	0,375	0,058
100	2,339	1,920	2,070	1,921	0,701	0,378	0,620	0,381	0,073

### Список использованных источников

1. Rozhnov I., Orlov V., Kazakovtsev L. Ensembles of clustering algorithms for problem of detection of homogeneous production batches of semiconductor devices // 2018 School-Seminar on Optimization Problems and their Applications. – 2018. – Vol. 2098. – Pp. 338–348.
2. Федосов В.В., Орлов В.И. Минимально необходимый объем испытаний изделий микроэлектроники на этапе входного контроля // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – №. 4. – С. 58–62.
3. Ахматшин Ф.Г. и др. О нормализации данных в задаче автоматической группировки промышленной продукции по однородным производственным партиям // Системы управления и информационные технологии. – 2020. – №. 2. – С. 86–89.
4. Митина О.В., Михайловская И.Б. Факторный анализ для психологов. – М.: «Учебно-методический коллектор «Психология». – 2004. – 169 с.
5. Aggarwal C., Reddy C. Data Clustering Algorithms and Applications. – CRC Press. – 2013. – 49 p.
6. Kumar S., Tripathi Y., Misra N. James-Stein type estimators for ordered normal means // Journal of Statistical Computation and Simulation. – 2005. – №. 75. – Pp. 501–511.
7. Gao J., Hitchcock D. James-Stein shrinkage to improve k-means cluster analysis // Computational Statistics & Data Analysis. – 2010. – №. 54. – Pp. 2113–2127.

## Междисциплинарные исследования в инфохимии

---

УДК 663.051.2

### ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОИСКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК

**Володарский М.О.** (студент, Университет ИТМО), **Филозоп В.С.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: Ашихмина М.С.** (Университет ИТМО)

*e-mail:* michael.volodarsky@yandex.ru, fllozop@yandex.com, ashikhmina@infochemistry.ru

*Восприятие продуктов — это мультисенсорные ощущения, сочетающие вкус, запах, химическое раздражение или тактильное воздействие. Создание базы данных вкусовых добавок позволяет сделать процесс поиска новых соединений быстрым и дешевым. Инструменты in silico, основанные на лигандах и структурах, вносят свой вклад в создание новых инструментов управления интенсивностью вкуса молекул.*

**Ключевые слова:** пищевые добавки, вкусовые рецепторы, молекулярное моделирование, машинное обучение.

Восприятие продуктов – это комплекс многозначных ощущений, объединяющий в себе вкус, аромат, химические воздействия и тактильные ощущения. За вкусовые ощущения отвечает множество рецепторов, входящих в состав вкусовых сосочков, расположенных в ротовой полости. Для придания продуктам полноты вкуса, создания гастрономических изысков всё чаще применяют различные пищевые добавки. Несмотря на то, что использование добавок при переработке пищевых продуктов стало обычной практикой в мировом масштабе, опасения потребителей по поводу их потенциальных рисков не утихают, так как большинство добавок, применяемых в пищевой промышленности, являются химически синтезированными. В последние годы наблюдается заметный интерес исследователей и производителей к натуральным продуктам и пищевым добавкам. Однако применение биодобавок в пищевой промышленности может вызывать ряд сложностей, связанных с отсутствием подробных спецификаций, что увеличивает время подбора концентраций для достижения требуемых органолептических характеристик продукта. В связи с этим, целью данного обзора является анализ методов, которые позволят оптимизировать поиск пищевых добавок природного происхождения.

На сегодняшний день существует несколько подходов, связанных с оптимизацией поиска вкусовых молекул. Один из них — это молекулярное моделирование. Вкус наш организм воспринимает из-за химических соединений, которые растворены в слюне, взаимодействующие со специальными белками, вкусовыми рецепторами, которые активируют клетки вкусовых рецепторов (TRC), они находятся на вкусовых сосочках. Эти сосочки представляют собой измененные эпителиальные клетки, которые расположены на слизистой оболочке полости рта, особенно на языке. У каждого вкуса свой тип передачи сигнала, умами, сладкий и горький зависят от специальных органических молекул, стимулирующих рецепторы, которые связаны с G-белками (GPRC), а соленый и кислый возникают от наличия определенных ионов, которые проходят через ионные каналы. Активация вкусовых рецепторов приводит к специальной последовательности событий, связанных с определенным вкусом, которая доходит до нервной системы и в конечном итоге становится воспринимаемой вкусовыми рецепторами. Для исследования взаимодействия между веществами, которые активируют белки, и самими белками, важно учитывать такие факторы, например, как изменение формы белка, связанного с активацией или дезактивацией вкусовых рецепторов. Если учитывать подобные факторы, то можно добиться глубокого понимания восприятия вкуса. Используя методы молекулярного моделирования, основанные на точном описании молекул, на атомном уровне, можно решить важную проблему, когда интересующие структуры тяжело и ресурсозатратно определить с помощью прямых экспериментальных методов. Молекулярное моделирование позволяет прогнозировать

нужные соединения, с максимально приближенной к реальной молекулярной структуре. В связи с этим можно использовать широко используемый метод предсказания трехмерных структур – (Homology Modeling, HM). Для этого метода требуется иметь уже определенную трехмерную структуру с определенным аминокислотным составом похожей макромолекулы, чтобы использовать ее как шаблон для создания правильной структуры, исходя из аминокислотной последовательности нашего образца. Точность этого метода зависит от того, насколько похожи последовательности целевого белка и образца, а также от выравнивания последовательностей.

Каждый вкус воспринимается через специфический молекулярный механизм: сладкий и умами передаются через GPCR класса C, горький – через GPCR класса A/класса F, а кислый и соленый определяются ионными каналами. Схематическое изображение основных кандидатов в рецепторы для каждого вкуса показано на рисунке.

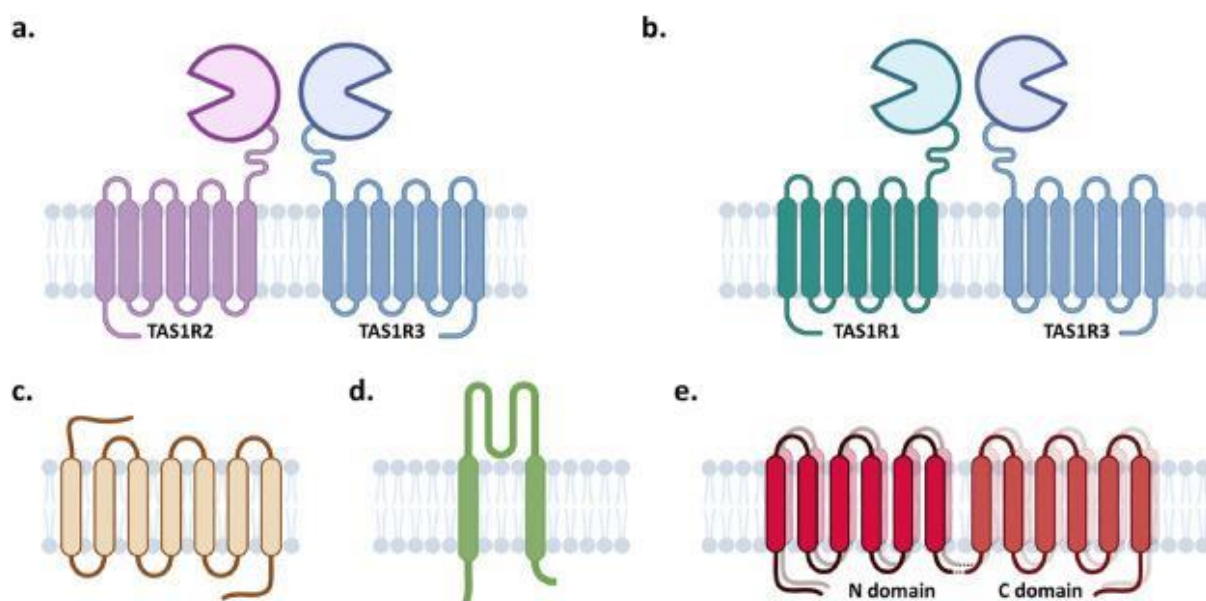


Рисунок. Схематическое изображение основных кандидатов в рецепторы для каждого вкуса: а) сладкого (TAS1R2-TAS1R3, GPCR класса C); б) умами (TAS1R1-TAS1R3, GPCR класса C); в) горького (TAS2Rs, GPCR класса C); г) соленый ( $\alpha$ ENaC); д) кислый (OTOP1) [1]

Благодаря точному атомному разрешению молекулярное моделирование является мощным инструментом, помогающим понять механику воздействия разнообразных соединений на вкус и взаимосвязь между структурой и функцией, определяющей передачу сигналов на уровне вкусовых рецепторов.

Множество исследований, связанных с взаимодействием лигандов с рецепторами, дают понять, насколько молекулярные структуры в пищевых продуктах обладают специфичностью, селективностью и имеют различные свойства. Методы молекулярного моделирования помогут заменить искусственные пищевые добавки на натуральные, что сильно скажется на качестве продуктов и сделает их более безопасными. Несмотря на значительные успехи, которые были достигнуты в последние годы, особенно в области молекулярных исследований и вычислительного анализа взаимодействия лигандов с вкусовыми рецепторами, научное понимание этого процесса остается фрагментарным и не позволяет его полностью объяснить. В данной сфере возможно применение методов машинного обучения, которые позволяют оптимизировать поиск новых функциональных пищевых ингредиентов.

Машинное обучение при работе с вкусовыми соединениями мало используется в пищевой науке на данный момент, хотя уже существуют примеры успешной работы прогнозирования при обучении на соответствующих наборах данных. Методы машинного

обучения имеют большой потенциал для решения подобных сложных задач. Уже существуют успешные алгоритмы машинного обучения, которые можно использовать для анализа и улучшения продуктов. Например, CatBoost, как мощный алгоритм градиентного бустинга, может быть применен в пищевой науке для решения различных задач. Его можно использовать для создания моделей классификации качества продуктов. А BERT, модель для обработки естественного языка, может быть использован для анализа аминокислотного состава пептидов и белков, для оптимизации подбора вкусовых соединений. Большинство используемых в пищевой промышленности методов связаны с классификацией. Такие модели были использованы для предсказания сенсорных характеристик, таких как горький и сладкий и ароматов, на основе молекулярной структуры [2]. Бывают классификаторы качества продуктов, они используют гиперспектральные данные, например, для определения свежести креветок, определения подделок в продуктах из красного мяса (или обнаружения непригодных фруктов и овощей [3]). Однако методы классификации не предназначены для решения задач по подбору определенных компонентов, регулирующих вкус или аромат продукта. Одним из важных факторов корректной работы моделей машинного обучения – набор эталонных данных, который должен быть надежным и высококачественным. Надежный и качественный набор эталонных данных является одной из важнейших основ для разработки точных и надежных моделей. Ограничивающий фактор – количество данных и их достоверность. Стандартизация предоставления информации в научных статьях позволит получать качественные данные для улучшения прогнозирования и подбора биологических пищевых добавок.

Таким образом, на данный момент имеется множество научных публикация, которые описывают разнообразные биологически активные вещества, такие как белки, пептиды, липиды, различные заменители сахара и другие, способных влиять на восприятие вкуса. Однако, информация о них недостаточно систематизирована и разбросана по разным источникам, что затрудняет их быстрый сбор и использование. Для изучения поведения молекулярных структур в продукте и их восприятия вкусовыми рецепторами применяются методы молекулярного моделирования. Используя данные, полученные *in silico*, можно применять методы машинного обучения и точечные эксперименты для корректировки базы данных, что позволяет оптимизировать процесс подбора функциональных пищевых добавок.

#### **Список использованных источников**

1. Pallante L., Malavolta M., Grasso G. et al. On the human taste perception: Molecular-level understanding empowered by computational methods // Trends in Food Science & Technology. – 2021. – Vol. 116. – Pp. 445–459.
2. Naravane T., Tagkopoulos I. Machine learning models to predict micronutrient profile in food after processing // Current Research in Food Science. – 2023. – Vol. 6. – P. 100500.
3. Yu X. et al. Nondestructive Freshness Discriminating of Shrimp Using Visible/Near-Infrared Hyperspectral Imaging Technique and Deep Learning Algorithm // Food Anal. Methods. – 2018. – Vol. 11. – №. 3. – Pp. 768–780.

УДК 546.824–31

## СИНТЕЗ И ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ИЗ МЕЗОПОРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДОКСИДА ТИТАНА

Гончаров В.В. (магистрант, Университет ИТМО)

Научный руководитель: к.х.н., в.н.с., доцент Уласевич С.А. (Университет ИТМО)

e-mail: slawick.gon4arow@yandex.ru

В работе рассмотрен процесс синтеза мезопористого оксида четырехвалентного титана в результате сонохимической обработки в растворе гидроксида натрия с целью создания пористой структуры, которая будет служить матрицей для загрузки лекарственных препаратов и модельных веществ. Кроме того, полученные поверхности были модифицированы полиэлектролитными слоями, и на основании полученных экспериментальных данных проведено сравнение кривых высвобождения эозина В.

**Ключевые слова:** диоксид титана, мезопористая поверхность, эозин В, доставка лекарственных препаратов, полиэлектролиты.

Титан широко используется в медицине в качестве имплантатов, так как данный металл является биоинертным, не вызывает реакцию отторжения и проявляет достаточную устойчивость к агрессивной среде *in vivo* [1]. Одной из основных проблем для использования титана является сложность его обработки. Известны три основных способа его модификации: механические, физические и химические. Химические методы обработки являются наиболее перспективными для титанового сплава. Сонохимическое (под действием ультразвука) окисление титана в растворах кислот или щелочей позволяет модифицировать поверхность на нано- и микроуровне, что перспективно для большого числа имплантатов [2]. Ультразвук (УЗ) является уникальным методом, позволяющим в краткие сроки передать образцу большую энергию, что приводит к модификации его поверхности и стабилизации метафаз [3]. Для придания бактерицидных свойств поверхности имплантов дополнительно модифицируют антибиотиками или антисептиками.

В связи с этим, целью данного исследования была разработка системы пролонгированной доставки лекарственных и функциональных молекул. В данном исследовании использование ультразвука сочетает как механическое (обработка высокоскоростными струями), физическое (взрыв кавитационных пузырей приводит к локальному нагреву электролита и образца), и химическое воздействие (активные кислородные соединения, образующиеся при сонолизе воды, ускоряют окисление поверхности).

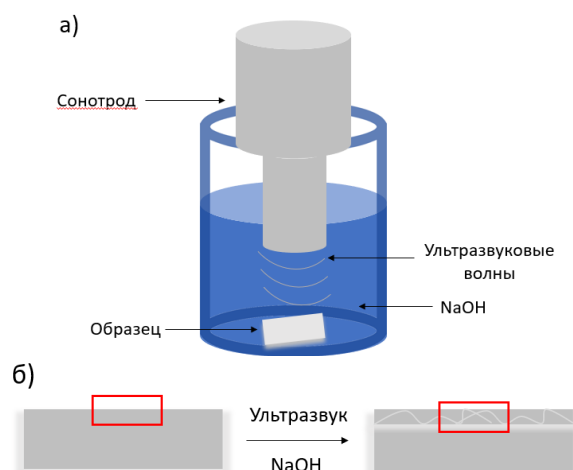


Рис. 1. а) Экспериментальная установка для получения мезопористого покрытия диоксида титана (TMS); б) Принципиальная схема образования  $\text{TiO}_2$  мезопористого слоя

Как видно из рисунка 1, получаемая поверхность является пористой и становится перспективной для загрузки лекарственных и функциональных молекул. Для загрузки мезопористого диоксида титана использовали эозин В, применяемый также в гистологии для окраски клеток.

Для эксперимента использовали титановую фольгу (99,9%) марки ВТ-1-0. Образцы обрабатывали ультразвуком с частотой в 20 кГц в 5М растворе гидроксида натрия в течение 10 минут с амплитудой 25% с использованием ультразвуковой установки Hielscher UIP1000hd. Полученные подложки подвергались температурной обработке в течение 3 часов при температуре 450°C со скоростью 300°C/ч. Эозин В загружали из 0,01М раствора в течение 24 часов. Затем данную пластину промывали деионизированной водой и сохраняли получившийся раствор для дальнейшего его исследования на спектрофотометре. На часть образцов наносили полиэлектролитные слои полиэтиленimina (PEI) и полистиросульфокислоты (PSS) соответственно с целью изучения возможности их применения в качестве дополнительного барьера для лекарственных препаратов при их высвобождении.

Затем проводили эксперимент, в котором в раствор хлорида натрия (0,9 г/100 мл H<sub>2</sub>O) помещали один из исследуемых образцов и через определенные промежутки времени в течение 360 мин отбирали пробы и проводили измерения на спектрофотометре.

На рисунке 2 изображены кривые высвобождения эозина В при различных условиях. Сравнивая рисунки 2 (а) и (б), можно заметить, что краситель высвобождается более интенсивно под действием ультразвука, чем без него. Сопоставляя рисунки 2 (а) и (в), можно заметить, что полиэлектролитные слои замедляют высвобождение эозина В примерно на 35%. Затем анализируя рисунки 2 (в) и (г), можно заметить, что ультразвуковое воздействие в полиэлектролитных системах позволяет увеличить высвобождение вещества примерно на 15%.

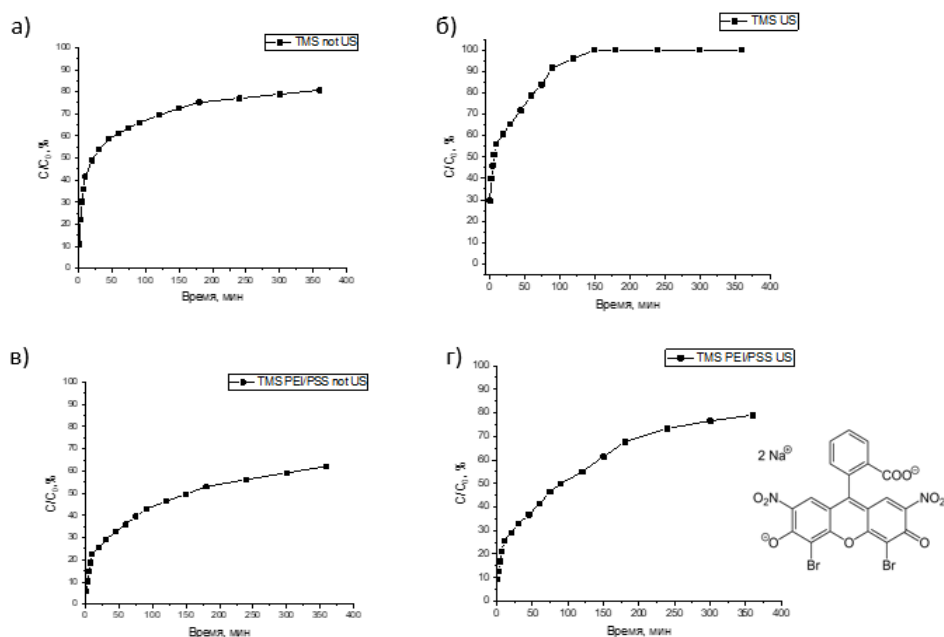


Рис. 2. Кривые высвобождения эозина В: а) без действия ультразвука; б) под действием ультразвука; в) без действия ультразвука со слоями PEI/PSS; г) под действием ультразвука со слоями PEI/PSS

Таким образом, получена мезопористая поверхность диоксида титана. Ряд образцов модифицировали полиэлектролитными слоями. Ультразвук обеспечивает более интенсивное высвобождение эозина В по сравнению с контролем, справедливо и для модифицированных систем. Полиэлектролитные слои позволяют снизить интенсивность высвобождения модельного красителя по сравнению с немодифицированными образцами.

### Список использованных источников

1. Zhukova Y. et al. Ultrasound-driven titanium modification with formation of titania based nanofoam surfaces // *Ultrasonics sonochemistry*. – 2017. – Т. 36. – Pp. 146–154.
2. Variola F. et al. Nanoscale surface modifications of medically relevant metals: state-of-the art and perspectives // *Nanoscale*. – 2011. – Т. 3. – №. 2. – Pp. 335–353.
3. Suslick K.S. Sonochemistry // *Science*. – 1990. – Т. 247. – №. 4949. – Pp. 1439–1445.



УДК 622.244

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В МОДЕЛИ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ**

**Домарева Н.П.** (магистрант, Университет ИТМО), **Петрова М.С.** (магистрант, Университет ИТМО), **Беляев В.Е.** (аспирант, Университет ИТМО), **Семенов А.В.** (магистрант, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.х.н. Масалович М.С.** (Университет ИТМО)

*e-mail: domarevanat@gmail.com*

*В данной работе проведено исследование с целью выбора наиболее эффективного электрода для использования в методе циклической вольтамперометрии. Мы также исследовали возможность использования этого метода для определения концентрации ингибитора коррозии, а именно бензотриазола, в модели пластовой воды.*

**Ключевые слова:** ингибитор коррозии, бензотриазол, модель пластовой воды, электроды.

Металлические компоненты и структуры, используемые в нефтегазовой и нефтеперерабатывающей промышленности, находятся в постоянном контакте с различными агрессивными средами, включая сырую нефть, природный газ, нефтепродукты, топливо, растворители, воду, атмосферный воздух, и почву. Эти взаимодействия имеют место при разнообразных температурных режимах, начиная от экстремальных  $-196^{\circ}\text{C}$  и достигая  $+1400^{\circ}\text{C}$ , а также при различных давлениях, от вакуума до 1000 бар.

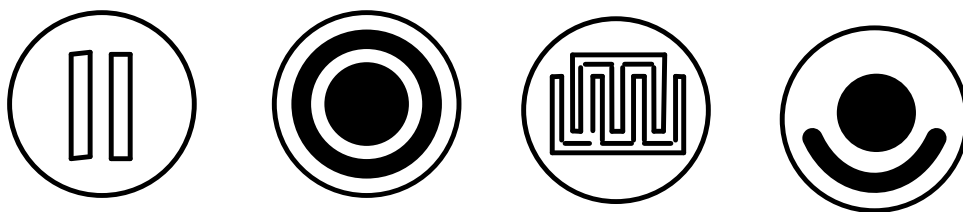
Нефтегазовая и нефтеперерабатывающая индустрии представляют собой высокорискованные секторы, в которых рабочие среды могут быть легковоспламеняющимися, взрывоопасными, токсичными для здоровья человека или наносящими ущерб окружающей среде. Этот контекст обуславливает повышенную уязвимость металлических компонентов и структур к различным проявлениям коррозии, которые, в свою очередь, могут привести к серьезным аварийным ситуациям [1].

Человеческий фактор играет существенную роль в явлениях коррозии, исчисляемых в диапазоне 65–85%. Эффективные методы предотвращения или управления коррозией, такие как выбор материалов, устойчивых к коррозии, правильное проектирование, а также применение антикоррозионных химических веществ, включая, например, бензотриазол, могут значительно снизить частоту и масштаб коррозионных проблем.

Бензотриазол представляет собой специфический ингибитор коррозии, направленный на защиту меди и медных сплавов от деструктивных процессов. В современной промышленности широко используется для минимизации коррозии этих материалов как в атмосферных условиях, так и при контакте с водой. Коррозия меди может вызвать образование поверхностных дефектов, деградацию металлической структуры, разрушение поверхностей труб [2]. Бензотриазол характеризуется высокой стабильностью и растворимостью как в горячих, так и в холодных условиях и не подвергается образованию нерастворимых соединений в результате окисления. Это свойство делает его идеальным для применения как в системах отопления, так и в системах охлаждения, а также для предотвращения замерзания. Механизм ингибирования коррозии до конца не изучен, но существует гипотеза, согласно которой молекулы бензотриазола могут образовывать комплексные соединения на поверхности меди. При определенных условиях эти соединения могут препятствовать перемещению ионов меди в растворе и предотвращать проникновение других веществ, которые могут вызвать окисление меди и ее потускнение.

Для эффективного снижения процесса коррозии в данной работе проводится анализ и изучение бензотриазола в качестве ингибитора коррозии. Эта работа включает в себя несколько этапов, начиная с определения подходящей формы электрода для проведения экспериментов и завершая определением оптимальной рабочей концентрации ингибитора.

Первый этап работы сосредоточен на оценке эффективности различных электродов (рис. 1) Мы оценивали несколько ключевых показателей, таких как сила тока и количество электричества (как положительного, так и отрицательного), используя циклическую вольтамперограмму, и площади поверхности электродов.



## Лайн      Мишень      Щетка      Стандарт

Рис. 1. Серия печатных электродов

Мы обнаружили, что электрод "мишень" имеет самые высокие ток в пластовой воде, что объясняется большей общей площадью поверхности, включая рабочий и вспомогательный электроды (рис. 2). Именно поэтому мы приняли решение сосредоточиться на дальнейших исследованиях с использованием электрода "мишень".

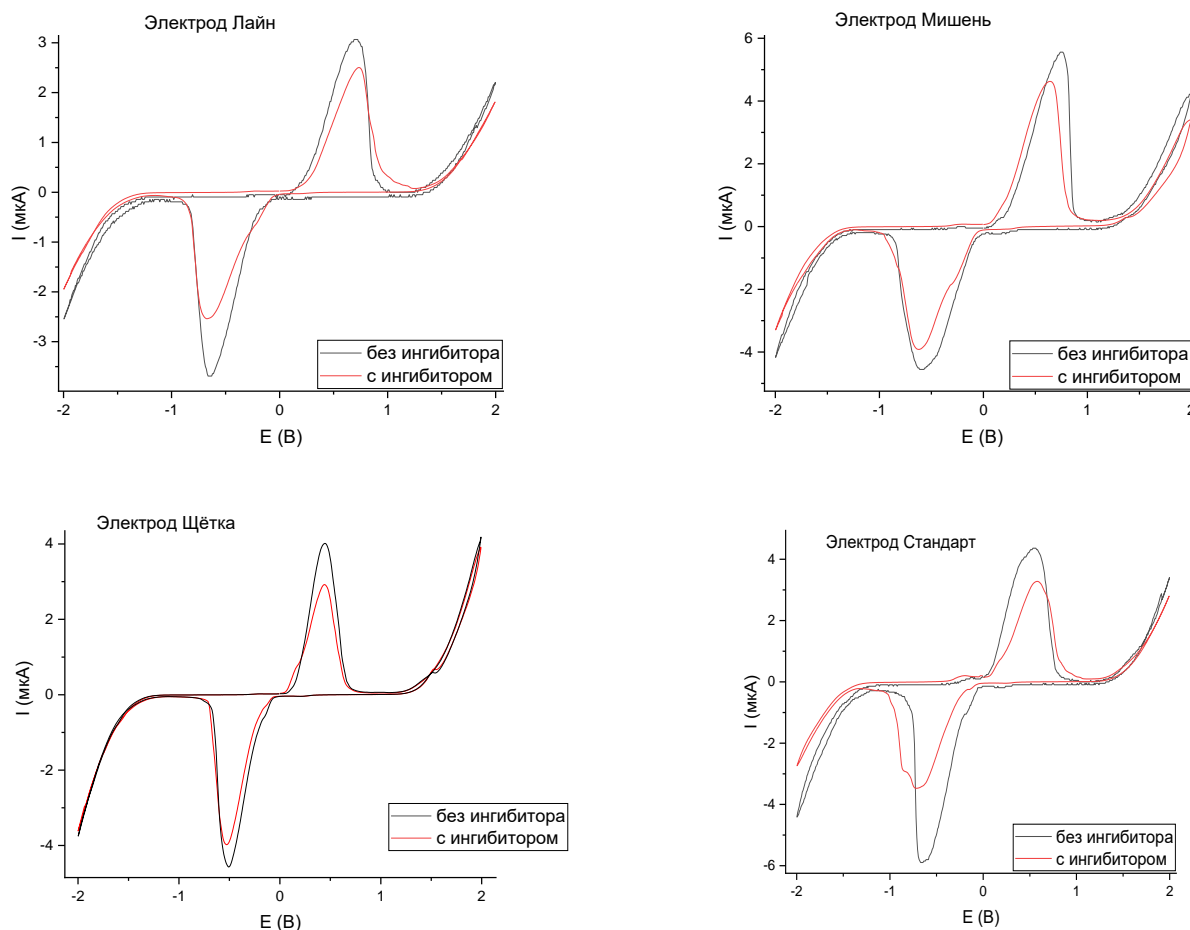


Рис. 2. Циклические вольтамперограммы для различных типов печатных электродов

На втором этапе исследования мы провели эксперименты, изучая как меняется сила электрического тока при различных уровнях концентрации ингибитора бензотриазола (рис. 3, а). Мы использовали полученные данные для создания калибровочных графиков (рис. 3, б) Эти графики показали явную обратную линейную зависимость между концентрацией ингибитора и измеряемыми параметрами, и коэффициент детерминации ( $R^2$ ) для них был высоким: 0,99 для бензотриазола.

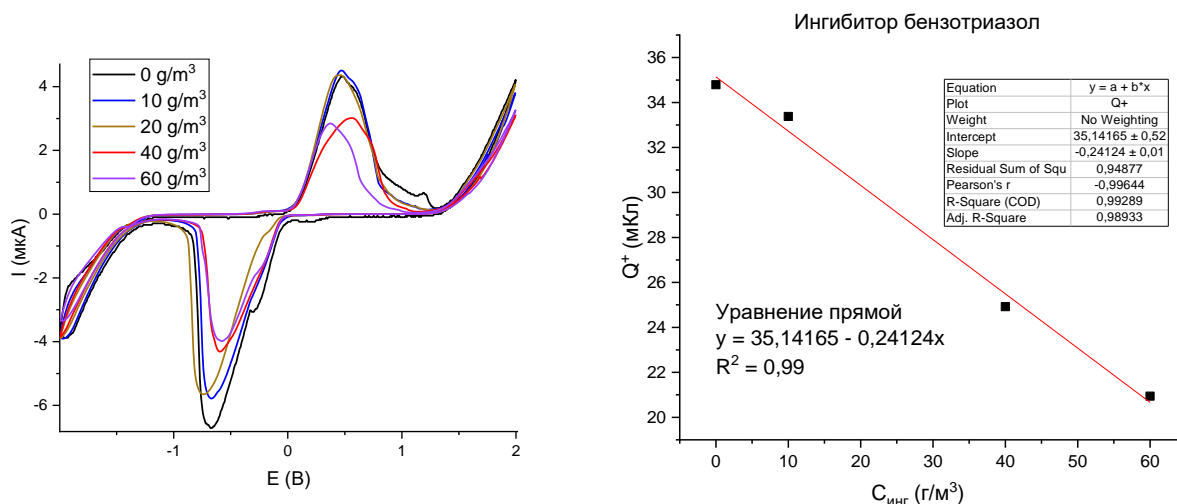


Рис. 3. а) Циклические вольтамперограммы электрода типа "мишень" при различных концентрациях ингибитора бензотриазола; б) Калибровочные прямые

Также проведен анализ погрешности измерений для ингибитора, и в случае бензотриазола эта погрешность составила  $2 \text{ г/м}^3$ . Это значение дало нам возможность установить порог обнаружения, что является минимальной концентрацией, при которой мы можем сделать вывод о том, присутствует ли данный ингибитор в образце или нет. Для расчета этого порога мы использовали формулу:

$$ПО = 3СКО/k,$$

где  $ПО$  – порог обнаружения,  $СКО$  – среднее квадратическое отклонение,  $K$  – угловой коэффициент калибровочной прямой.

В случае ингибитора бензотриазола это значение составило  $2 \text{ г/м}^3$ .

### Список использованных источников

1. Groysman A. Corrosion problems and solutions in oil, gas, refining and petrochemical industry // *KOM–Corrosion and Material Protection Journal*. – 2017. – V. 61. – №. 3. – Pp. 100–117.
2. Walker R. The use of benzotriazole as a corrosion inhibitor for copper // *Anti-corrosion methods and materials*. – 1970. – V. 17. – №. 9. – Pp. 9–15.

УДК 54.057

## ВЛИЯНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОАЦЕРВАТОВ НА РЕАКЦИЮ БАРБИТУРОВОЙ КИСЛОТЫ С НИТРОБЕНЗАЛЬДЕГИДАМИ

Ермолин Д.В. (студент, Университет ИТМО), Небалуева А.С. (аспирант, Университет ИТМО)

Научные руководители: к.х.н., н.с., доцент Муравьев А.А. (Университет ИТМО),

к.х.н. Новиков А.С. (Университет ИТМО)

e-mail: ermolin@infochemistry.ru

В данной работе рассматривается влияние коацерватов из органических полиэлектролитов (РАА и PDADMAC) на реакцию Кнёвенагеля между барбитуровой кислотой и нитробензальдегидами. Эта методика позволяет проводить реакцию в водной среде без нагревания и без использования катализаторов. С помощью DFT-расчётов обосновывается, что применение полиэлектролитов способствует уменьшению свободной энергии реакции, делая ее доступной для протекания в биологических средах.

**Ключевые слова:** полиэлектролитные коацерваты, реакция Кнёвенагеля, нитробензальдегиды, барбитуровая кислота, DFT-расчёты.

В настоящее время активно исследуются коацерватные комплексы в качестве среды для проведения органических реакций. Реакция Кнёвенагеля, широко используемая для формирования углерод-углеродных связей, является основой для синтеза разнообразных органических соединений. Однако, несмотря на широкое применение, реализация этой реакции в биологических и водных средах сталкивается с рядом ограничений. Традиционные методы часто требуют нагревания, кислой или щелочной среды, а также использования специфических растворителей [1, 2], что несовместимо с биологическими макромолекулами. В данной работе рассматривается альтернативная среда для реакции Кнёвенагеля – полиэлектролиты при комнатной температуре и в нейтральной среде.

В рамках работы была изучена реакция Кнёвенагеля с использованием барбитуровой кислоты и 2- и 3-нитробензальдегидов в среде полиэлектролитов [3]. Было обнаружено, что введение РАА и PDADMAC в реакционную смесь позволяет проводить данные реакции в водной среде (схемы 1 и 2), в то время как в отсутствие полиэлектролитов реакция в воде не протекает.

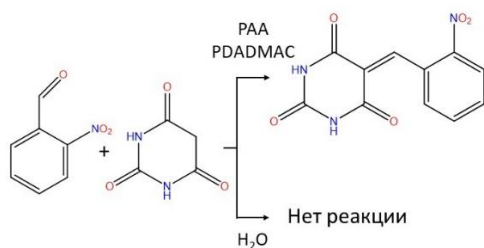


Схема 1

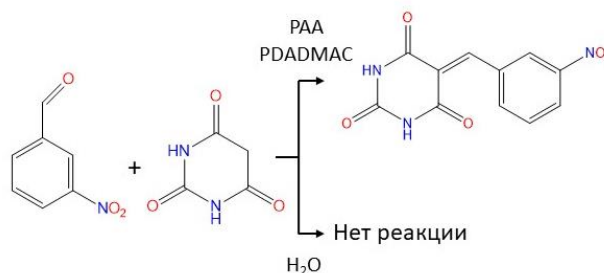


Схема 2

Продукты реакции были охарактеризованы с использованием метода ЯМР-спектроскопии. Анализ спектров выделенных соединений подтвердил, что спектры полностью соответствуют продуктам реакции конденсации.

В ходе исследования были проведены DFT расчеты с использованием функционала B3LYP и базисного набора def2-SVP (Orca 5.0.4). Изначально, расчеты были выполнены для газовой фазы (табл. 1), чтобы получить базовое понимание энергетического профиля реакции без влияния растворителя.

Анализ изменения энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) при добавлении полиэлектролитов в реакционную смесь показывает, что присутствие полиэлектролитов может положительно сказываться на термодинамике процесса. В частности, для реакции барбитуровой кислоты (BA) и 2-нитробензальдегида (2-NBA),  $\Delta G$  в газовой фазе уменьшается на 70.81 ккал/моль.

Таблица 1. Изменение энергии Гиббса реакции с и без добавления полиэлектролитных (PE) коацерватов

Реакция	$\Delta G$ без PE (Газ), ккал/моль	$\Delta G$ с PE (Газ), ккал/моль	$\Delta\Delta G$ (Газ), ккал/моль
BA + 2-NBA	68.43	-2.38	-70.81

Затем, для более точного моделирования условий реакции в растворе, были также проведены расчеты с учетом растворителя - воды, используя два различных подхода: CPCM (Conductor-like Polarizable Continuum Model) и SMD (Solvation Model based on Density). Результаты, полученные с использованием модели CPCM, согласуются как с экспериментальными данными, так и с расчетами для газовой фазы (табл. 2). Стоит отметить, что модель SMD не показала достоверных результатов для моделирования данной реакции.

Таблица 2. Изменение энергии Гиббса реакции с и без добавления полиэлектролитных (PE) коацерватов с учетом влияние растворителя

Реакция	$\Delta G$ без PE (CPCM), ккал/моль	$\Delta G$ с PE (CPCM), ккал/моль	$\Delta\Delta G$ (CPCM), ккал/моль
BA + 2-NBA	18.82	-6.27	-25.09

Аналогичная тенденция наблюдается и для реакции с использованием 3-нитробензальдегида. В частности, в газовой фазе значение энергии Гиббса реакции уменьшается на 57 ккал/моль. При проведении расчетов с учетом растворителя изменение энергии Гиббса составляет 37,65 ккал/моль.

В качестве полиэлектролитов использовались мономерные звенья PAA и PDADMAC, которые были оптимизированы и пространственно-ориентированы вокруг молекул, участвующих в реакции. В будущем количество мономерных звеньев в модели может быть увеличено для более точных расчетов. Тем не менее, даже предварительные данные позволяют наблюдать общие тенденции понижения энергии Гиббса и возможность проведения реакций барбитуровой кислоты с изомерными нитробензальдегидами в водной среде.

Установлено, что реакция Кнёвенагеля барбитуровой кислоты с нитробензальдегидами в присутствии полиэлектролитных коацерватов протекает в мягких условиях – в водной среде при нейтральном pH.

#### Список использованных источников

1. Asiri A.M., Alamry K.A., Jalbout A.F., Zhang, S. 1,3-Diethyl-5-(2-methoxybenzylidene)-2-thioxodihydropyrimidine-4,6(1H,5H)-dione // Molbank. – 2004. – M359.
2. Hu Y., Chen Z.-C., Le Z.-G., Zheng Q.-G. Organic Reactions in Ionic Liquids: Ionic Liquid Promoted Knoevenagel Condensation of Aromatic Aldehydes with (2-Thio)Barbituric Acid // Synthetic Communications. – 2004. – Pp. 4521–4529.
3. Baldina A.A., Pershina L.V., Noskova U.V., Nikitina A.A., Muravev A.A., Skorb E.V., Nikolaev K.G. Uricase Crowding via Polyelectrolyte Layers Coacervation for Carbon Fiber-Based Electrochemical Detection of Uric Acid // Polymers. – 2022. – Pp. 14–23.

УДК 54.04

## МЕЗОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА И СИНТЕЗ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОЛИГОМЕРОВ НА БАЗЕ ПОЛИУРЕТАНОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Небалуева А.С. (аспирант, Университет ИТМО), Ермолин Д.В. (студент, Университет ИТМО)

Научный руководитель: к.х.н., н.с., доцент Муравьев А.А. (Университет ИТМО)

e-mail: nebalueva@infochemistry.ru

*В работе рассмотрено влияние сложных коацерватных комплексов и отдельных полиэлектролитов на реакцию Кнёвенагеля между барбитуровой кислотой и альдегидами. Особый интерес эта реакция представляет за счёт образования окрашенных соединений, из-за чего окончание реакции можно отслеживать по выходу на плато профиля кинетики образования продукта. За счёт простоты синтеза данную реакцию помогают проводить роботизированные манипуляторы, которые обучены открывать и переносить пробирки, а также отбирать пробы.*

**Ключевые слова:** коацерваты, полиэлектролиты, реакция Кнёвенагеля, манипуляторы, спектрофотометрический мониторинг, константа скорости.

Коацерваты показали большой потенциал в качестве моделей для ускорения ферментативных реакций из-за электростатических взаимодействий полиэлектролитов, которые образуют ограниченное пространство, в котором протекают реакции [1]. Примеров органических реакций, проведённых в среде полиэлектролитов крайне мало [2].

Целью нашей работы было установить закономерность в кинетике реакций ароматических альдегидов (2) с барбитуровой кислотой (1) в присутствии и отсутствии полиэлектролитов и коацерватных комплексов в водной среде. В качестве полиэлектролитов, которые могут образовывать коацерваты, используется смесь катионных (в нашем случае PEI-полиэтиленимин или PDADMAC-полидиаллилдиметиламиннохлорид) и анионных (PSS-полистериленсульфонат натрия или PAA-полиакриловая кислота) полиэлектролитов (рис. 1).

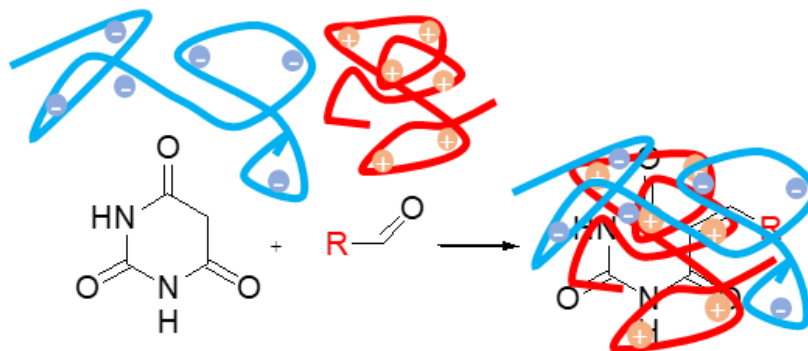


Рис. 1. Реакция барбитуровой кислоты с альдегидами в присутствии коацерватных комплексов

Благодаря появлению окраски продуктов реакции в ходе взаимодействия барбитуровой кислоты с ароматическими альдегидами был использован спектрофотометрический мониторинг реакции. За счёт простоты синтеза пробы могут готовиться за счёт роботизированных манипуляторов, которые могут добавлять определённые добавки полиэлектролитов, как по отдельности, так и в смеси (благодаря чему и образуются коацерваты) (рис. 2). За счёт различной вариативности добавок можно формировать базу данных для подключения в дальнейшем машинного обучения.

Исходя из спектрофотометрических кривых выводился профиль кинетики реакции, далее график перестраивался в зависимость обратной концентрации одного из исходных реагентов от времени реакции, из последнего графика находилась константа скорости реакции, путём определения тангенса угла наклона кривой по первым четырем точкам.

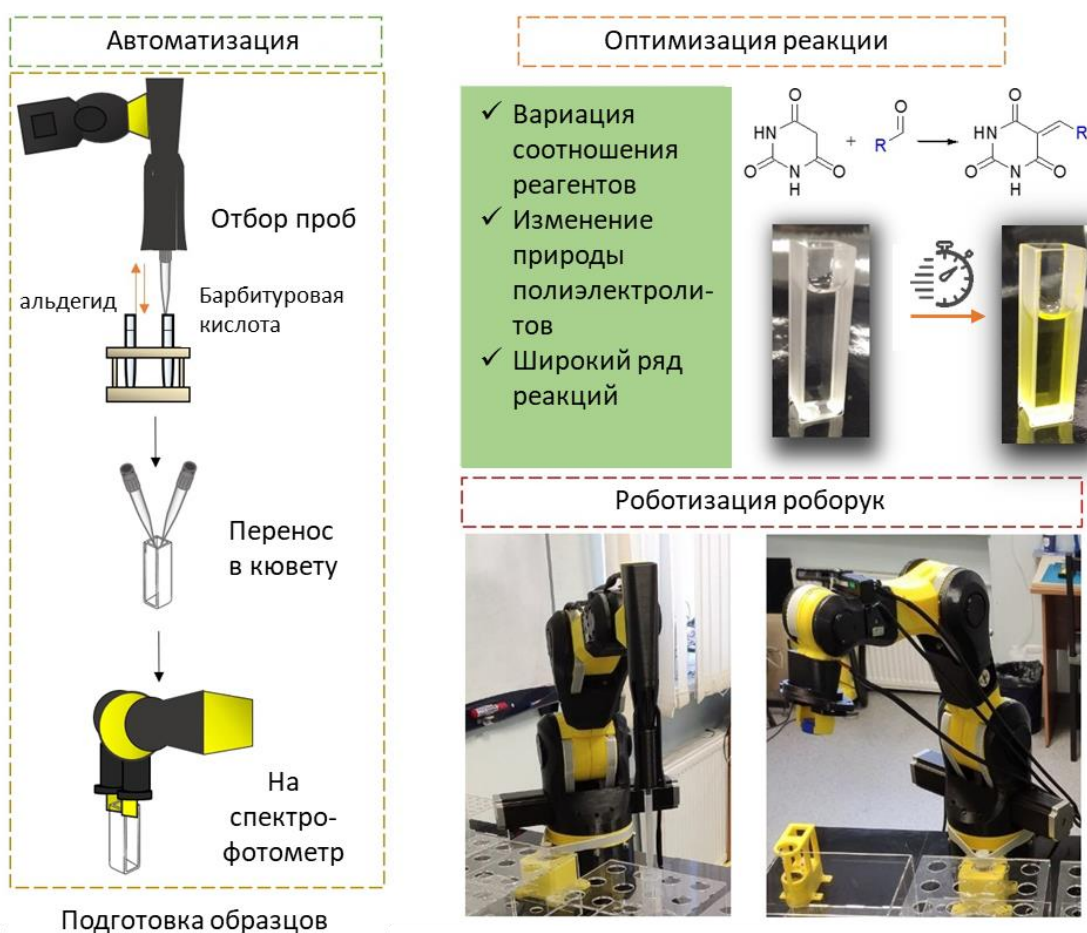


Рис. 2. Схема процесса автоматизации синтеза с использованием роботизированных манипуляторов

Сложность данной работы была в мониторинге не только кинетики, но и pH, так как продукт реакции ванилина и барбитуровой кислоты в щелочной среде изменяет цвет и максимум поглощения смещается в длинноволновую область [3]. Однако путём анализа различных полиэлектролитов и их смесей установили, что наиболее показательное ускорение реакции было в присутствии коацерватного комплекса PDADMAC/PAA. В работе использовались такие альдегиды как ванилин, этилванилин, вератровый альдегид, пиррол-2-карбоксальдегид, фурфурол, из них наиболее показательным оказался фурфурол, реакция с которым оказалась возможна только в среде коацерватов, тогда как без них реакция проходила только в водно-спиртовом растворе за нескольких часов (таблица).

Таблица. Константы скоростей реакции в среде коацерватов

	Альдегид	Соотношение	Коацерваты	С коац, моль/л	Константа скорости реакции, л/(моль*мин)
1	V	1:1	–	0.2+0.2	29.96 ± 2.28
2	V	1:1	<b>PDADMAC+PAA</b>	0.2+0.2	40.61 ± 2.24
3	<b>EV</b>	1:1	<b>PDADMAC+PAA</b>	0.2+0.2	24.52 ± 2.18
4	<b>EV</b>	1:1	–	–	28.29 ± 3.65
5	<b>Ver</b>	1:1	<b>PDADMAC+PAA</b>	0.2+0.2	19.51 ± 2.45
6	<b>Ver</b>	1:1	–	–	19.96 ± 2.11
7	<b>Pyr</b>	1:1	<b>PDADMAC+PAA</b>	0.2+0.2	2.71 ± 0.01
8	<b>Pyr</b>	1:1	–	–	1.10 ± 0.001
9	<b>Fur</b>	1:1	<b>PDADMAC+PAA</b>	0.2+0.2	12.00 ± 2.35
10	<b>Fur</b>	1:1	–	–	Нет реакции

Благодаря включению коацерватного комплекса PDADMAC/ПАА в реакцию Кнёвенагеля, было продемонстрировано многократное сокращение времени реакции с десятков минут или часов до нескольких минут. Таким образом, коацерватные комплексы можно предлагать не только для ускорения ферментативных процессов, но и для проведения реакций конденсации, к примеру, как в данной работе - реакции Кнёвенагеля.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 21–73-10185.*

#### **Список использованных источников**

1. Drobot B., Iglesias-Artola J. Compartmentalised RNA catalysis in membrane-free coacervate protocells // Nature Communication. – 2018. – 9(1). – P. 3643.
2. Gao S., Srivastava S. Comb Polyelectrolytes Stabilize Complex Coacervate Microdroplet Dispersions// ACS Macro Letters. – 2022. – 11. – Pp. 902–909.
3. Небалуева А.С., Скорб Е.В. Разработка pH-чувствительных материалов на основе продуктов реакции конденсации Кнёвенагеля с барбитуровой кислотой // Сборник трудов X Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 14-17 апреля 2021 г.). – 2021. – Т. 1. – С. 362–365.



УДК 338.364.2

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОБИЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ С ПОМОЩЬЮ РОБОТА ROZUM IMPULSE

Николаев А.А. (студент, Университет ИТМО), Семенов А.В. (студент, Университет ИТМО),  
Мешков А.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель: к.т.н. Мешков А.В. (Университет ИТМО)  
e-mail: nikolaev7aleksandr@gmail.com

*В работе рассмотрена разработка систем автоматизации выполнения химических процессов в мобильной лаборатории с использованием робота Rozum Impulse 90. Робот оснащен инструментом типа схват и окружен оборудованием, необходимым для выполнения одной из операций, требующих автоматизации.*

**Ключевые слова:** мобильная лаборатория, автоматизация, робот, манипулятор.

Совершенствование технологий в сфере химических и биологических исследований остается приоритетной задачей в современном мире. Одной из ключевых целей таких исследований является обеспечение максимально стерильных условий, а также поддержание оптимальных показателей температуры и влажности воздуха для проведения экспериментов и анализа образцов. В этом контексте актуальность использования роботов, таких как Rozum Impulse, для автоматизации химических процессов в мобильных лабораториях становится неоспоримой.

Стерильность, оптимальная температура, влажность воздуха и обязательное использование специальных халатов для лаборантов играют важнейшую роль в химических и биологических исследованиях. Любое внешнее загрязнение или отклонение от необходимых условий может привести к искажению результатов исследования. Rozum Impulse представляет собой 6-звенного робота, способного выполнять сложные манипуляции с химическим оборудованием с высокой точностью и в условиях абсолютной стерильности, а также при поддерживаемых оптимальных параметрах температуры и влажности воздуха, необходимых для эксперимента. Это открывает новые горизонты для исследования и создания образцов, позволяя ученым и инженерам более эффективно и надежно проводить эксперименты и получать надежные результаты, освобождая людей от простых повторяемых операций.

Изолированная мобильная лаборатория (рис. 1, а), для которой выполнена работа, представляет собой куб со сторонами 3 метра и необходимым для создания искусственных клеток оборудованием внутри, включая робот-манипулятор Rozum Impulse 90 (рис. 1, б) для частичной автоматизации.



а



б

Рис. 1. а) Изолированная мобильная лаборатория;  
б) Робот-манипулятор Rozum Impulse 90

Химическое оборудование представляет собой различные устройства с дверцами и кнопками, а также емкости для хранения, перемещения химических веществ. Для взаимодействия робота с оборудованием лучше всего подходит инструмент типа схват, поскольку он позволяет работать манипулятору с дверцами и кнопками установок, перемещать емкости. Именно из таких действий состоят решения множества задач в рамках химических экспериментов и, в частности, для данной лаборатории. Алгоритм тестовой задачи в рамках данной работы представлен на рисунке 2.

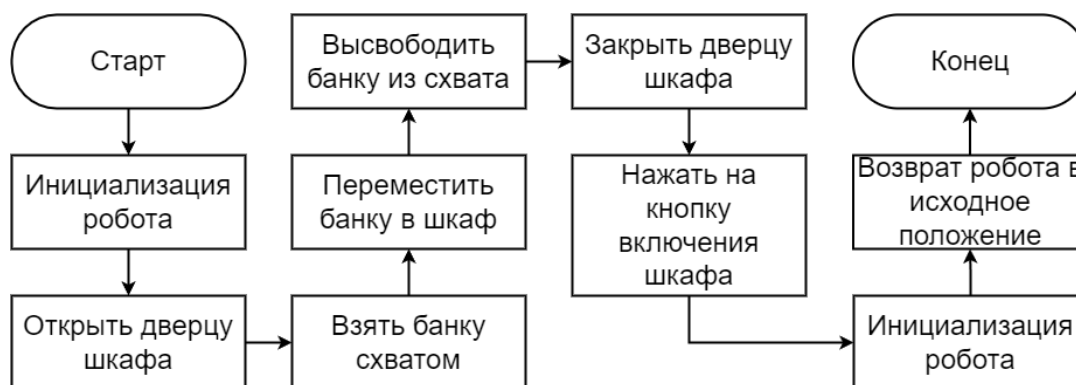


Рис. 2. Алгоритм тестовой задачи

В качестве схвата используется схват TM-CGBD-17-100 и его контроллер TM-CEU-55-ESAT. Робот со схватом представлен на рисунке 3.

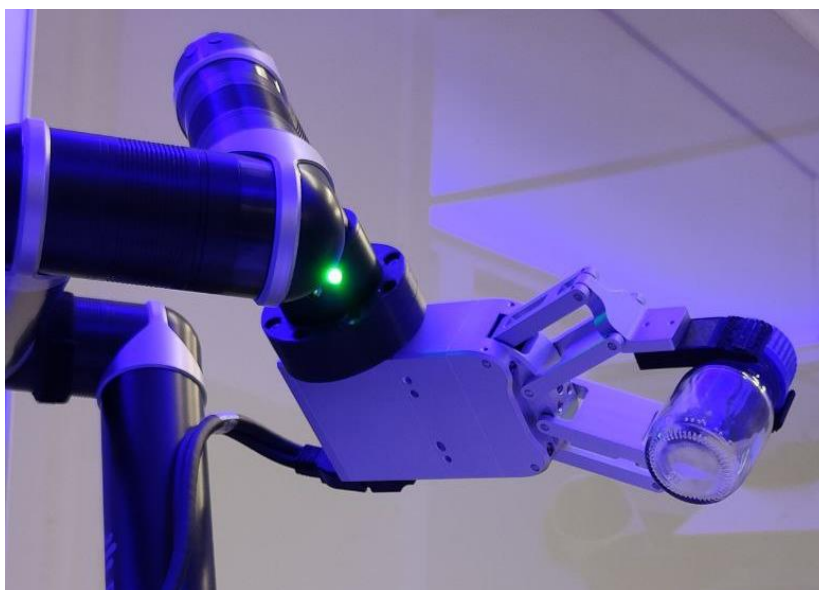


Рис. 3. Робот Rozum Impulse 90 с установленным на нем схватом TM-CGBD-17-100

На схват дополнительно были напечатаны пальцы с вогнутой внутренней поверхностью для обхвата предметов (рис. 4, а) и удерживающий кабель корпус (рис. 4, б).

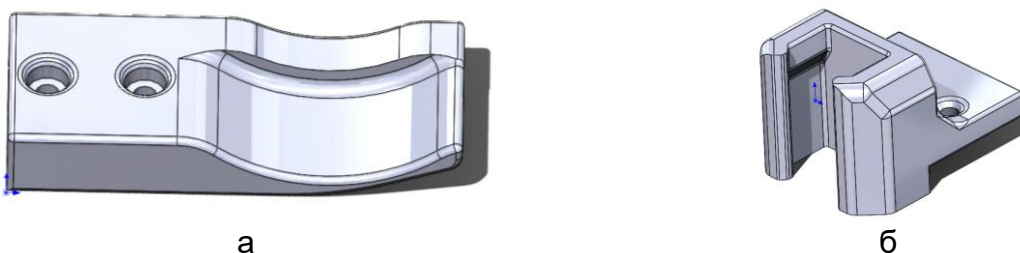


Рис. 4. а) Палец схвата; б) Корпус кабеля

Алгоритм робота создается путем ручной постановки инструмента от точки к точке в рабочей области. Для создания алгоритма используется встроенный инструмент Impulse, который позволяет перемещать инструмент манипулятора в декартовой системе координат и возвращает JSON файл по итогам создания эксперимента. Далее, в этот файл, в списки точек, вручную добавляются записи о положении схвата. Полученный JSON файл становится полным алгоритмом и обрабатывается Python программой на основе API робота Rozum Impulse. Таким образом, запускается полное выполнение тестового эксперимента в соответствии с алгоритмом (рис. 2).

Управление схватом осуществляется с помощью предварительного программирования контроллера схвата на задаваемые ему подпрограммы (последовательность положений, в том числе и из одного элемента). Для запуска подпрограмм контроллер робота отправляет цифровые сигналы, соответствующие номеру подпрограммы, на цифровые порты контроллера схвата.

В результате выполненной работы была разработана система быстрого создания автоматизированных задач для их выполнения роботом с интегрированным сторонним схватом, дополненным разработанными деталями под специфику выполнения химических задач. Далее эту систему планируется использовать для автоматизации максимального возможного количества технологических процессов в изолированной мобильной лаборатории.

#### **Список использованных источников**

1. Chaicharoenaudomrung N., Kunhorm P., Noisa P. Three-dimensional cell culture systems as an in vitro platform for cancer and stem cell modeling // World journal of stem cells. – 2019. – Т. 11. – №. 12. – P. 1065.
2. Lehmann R. et al. Biomek cell workstation: a variable system for automated cell cultivation // Journal of laboratory automation. – 2016. – Т. 21. – №. 3. – Pp. 439–450.
3. Doulgkeroglou M.N. et al. Automation, monitoring, and standardization of cell product manufacturing //Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2020. – Т. 8. – P. 811.
4. dos Santos Cesar D.B. et al. An evaluation of artificial fiducial markers in underwater environments // OCEANS 2015-Genova. – IEEE, 2015. – Pp. 1–6.

УДК 622.244

## **ПОТОЧНЫЙ АНАЛИЗАТОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В НЕФТИ**

**Петрова М.С.** (студент, Университет ИТМО), **Домарева Н.П.** (студент, Университет ИТМО),  
**Алиев Т.А.** (аспирант, Университет ИТМО), **Семенов А.В.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.х.н. Масалович М.С.** (Университет ИТМО)

*e-mail: mary1349@mail.ru*

*В работе рассмотрено применение электрохимического метода циклической вольтамперометрии для нахождения концентрации ингибиторов коррозии в нефти. На основе данной методики разработана модель поточного анализатора, исследованы ключевые ингибиторы коррозии, применяемые на месторождениях нефти.*

**Ключевые слова:** *поточный анализатор, ингибитор коррозии, нефть, пластовая вода, электроды.*

В условиях непрерывной добычи нефтегазовых активов существует потребность сохранять металлические сооружения хранения и транспортировки нефти в пригодном состоянии. Для этой задачи как правило применяется введение в систему различных ингибиторов коррозии, концентрацию которых необходимо контролировать в реальном времени, чтобы избежать поставку некачественного сырья для дальнейшей переработки в топливо, а также выхода из строя дорогостоящего оборудования. В данном проекте предполагается посредством математического моделирования и проведения лабораторных испытаний определить оптимальные параметры, используемые в электрохимической технологии определения концентрации ингибиторов в пластовой воде и водонефтяном флюиде.

Для определения концентрации ингибиторов коррозии в нефти первоначальным этапом пробоподготовки является разделение эмульсии на нефть и пластовую воду, попутно добываемую на месторождении. Это необходимо для исключения загрязнения электродов в процессе измерений, а также получения качественных вольтамперных характеристик с последующей обработкой их методами машинного обучения.

В ходе лабораторных экспериментов была разработана методика приготовления устойчивых водонефтяных эмульсий с различным соотношением вода/нефть. Установлено, что для эффективного разделения наиболее рентабельно вводить деэмульгатор «Денмастер 3030» в концентрации не ниже 30 г/т, либо деэмульгатор «Ипроден П-2» в концентрации не ниже 17 г/т. Эмульсия нагревается до температуры 60°C и выдерживается при данной температуре в течение не менее восьми часов. По истечении восьми часов отделившаяся водная фаза отбирается для проведения электрохимических измерений.

Следующий этап разработки поточного анализатора связан с выбором материалов печатных электродов для электрохимической ячейки, а также формы электродов. Экспериментальным путем установлено, что величина тока зависит от величины электропроводности материала электрода. Как следствие, медь является оптимальным материалом в соотношении цена/качество.

Разработаны эскизы четырех форм электродов: «сектор», «мишень», «полосы» и «щетка». Они представлены на рисунке 1. Наибольшие токи в пластовой воде наблюдаются у электрода «мишень» и «щетка», что обусловлено большей суммарной площадью двух электродов (рабочий и вспомогательный). Однако отклик (уменьшение тока, в том числе интегрального) при добавлении ингибитора у электрода «щетка» значительно ниже, чем у «мишени» (5,75 мКл против 1,99 мКл для «щетки»), что делает «щетки» менее чувствительными к ингибитору. В связи с этим круг электродов был сужен, и впоследствии рассматривалась преимущественно «мишень».

На рисунке 2, который приводится ниже, штрихпунктирными линиями показаны результаты компьютерного моделирования, а сплошными показаны вольтамперные кривые, полученные в ходе эксперимента. В ходе данного опыта было проведено пять циклов ЦВА со скоростью сканирования 50 мВ/с. На рисунке представлены кривые, соответствующие пятому циклу. Пунктирными линиями представлены данные, полученные из модели на основе интерфейса COMSOL Multiphysics Третьичное распределение тока.

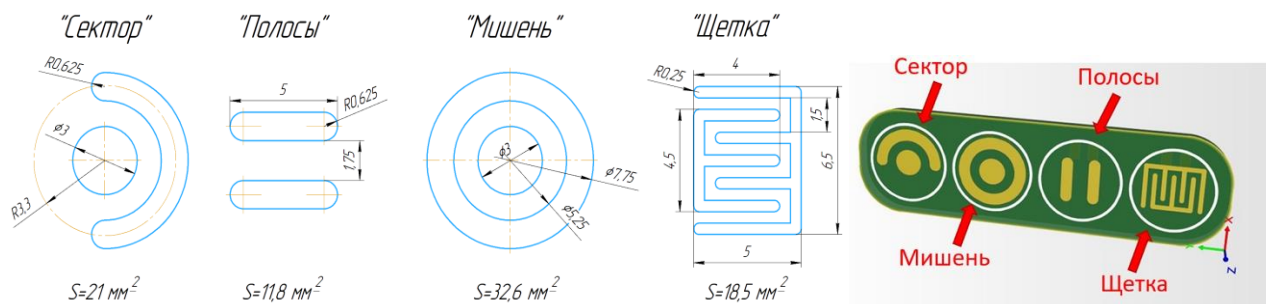


Рис. 1. Эскизы моделей разработанных печатных электродов

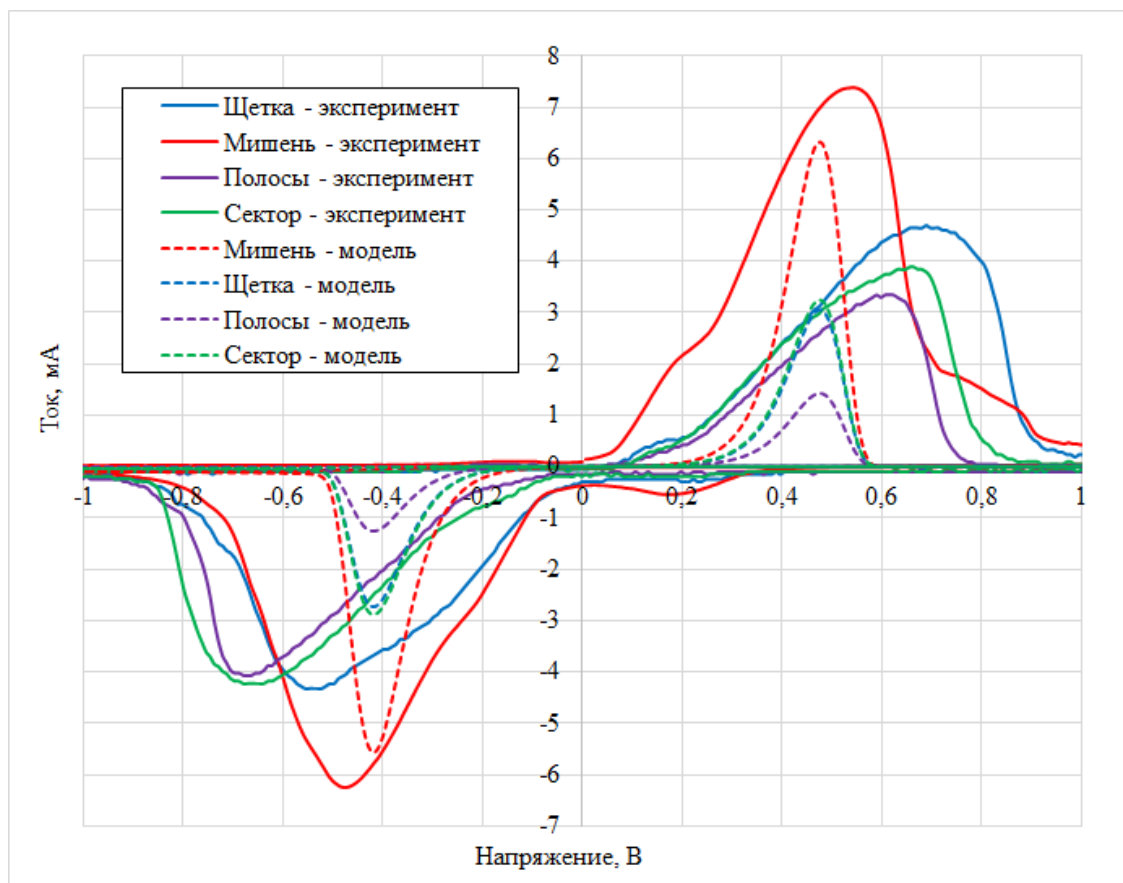


Рис. 2. Вольтамперные характеристики сравнения эксперимента и компьютерного моделирования при различных электродах

Для установления влияния не отделившейся в процессе деэмульгирования нефти на снятие электрохимических характеристик были проведены опыты с «загрязненной нефтью пластовой водой». При взаимодействии с сильнозагрязненной водой и при пропускании электрического тока, происходит осаждение нефти на поверхности электродов. Это приводит к тому, что контакт электродов с токопроводящим соевым раствором значительно ухудшается, происходит пассивация электродов, и, соответственно, падают значения токов на вольтамперограмме.

На рисунке 3 приведено сравнение вольтамперограмм, полученных для слабозагрязненной воды с ингибитором 2-меркаптобензимидазол (ингибитор, применяемый непосредственно нефтедобывающими компаниями).

Сравнение изображений показывает, что вольтамперограммы слабозагрязненной воды достаточно сильно варьируют по форме и величине пиков. Учитывая неконтролируемую пассивацию электродов, подобный разброс представляется оправданным. В то же время, вольтамперограммы с максимальными по величине пиками достаточно близки к вольтамперограммам пластовой воды без загрязнения.

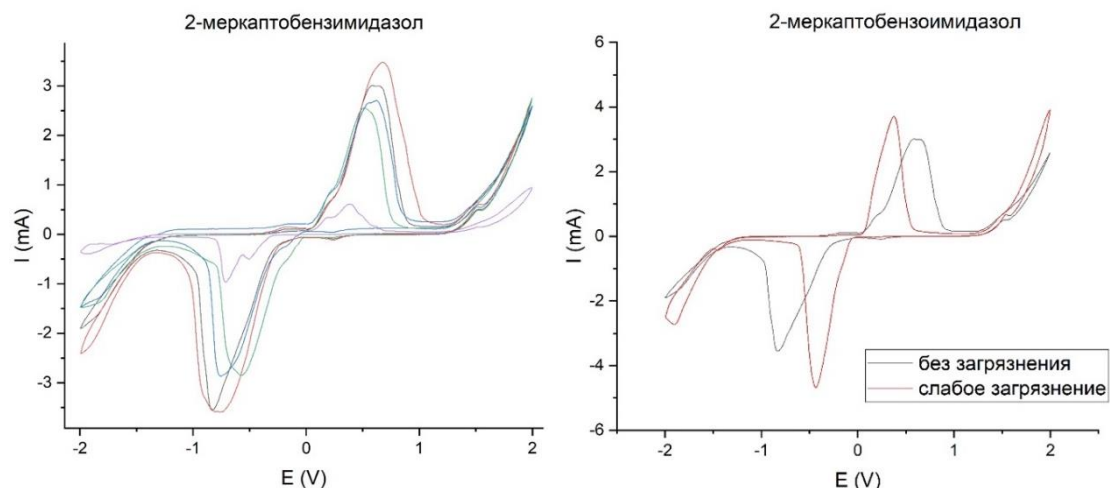


Рис. 3. Вольтамперограммы слабозагрязненной воды, содержащей 40 г/м<sup>3</sup> ингибитора 2-меркаптобензимидазол

В ходе работы установлено, что сила тока в электрохимической ячейке увеличивается с увеличением площади электродов. Медь в качестве материала электродов позволяет соблюсти баланс между силой тока и стабильностью измерений. Сравнение четырех геометрий функциональных электродов показало, что оптимальными электродами являются медные, состоящие из концентрических кругов («мишень»), площадь которых максимально приближена к площади, ограниченной конструкцией сенсора.

Выполнены эксперименты по нагреву водонефтяных эмульсий до температуры 60 и 90°C и выдержке в течение восьми и четырех часов соответственно. Эксперименты показали, что повышение температуры нагрева эмульсий не приводит к значительному увеличению отделения водной фазы.

Нефть, содержащаяся в воде, полученной при разделении водонефтяных эмульсий, может оседать на электродах и приводить к их пассивации.

Вольтамперограммы, полученные в слабо- и сильнозагрязненной воде, характеризуются широким разбросом по форме и величине пиков, что свидетельствует о необходимости эффективно разделять водную и нефтяную фазу отобранной пробы перед измерением.

#### Список использованных источников

1. Jiang Q. et al. A Real-Time Electrochemical Impedance Analysis for Water-In-Oil Emulsions of Bitumen Diluted with Naphtha // *ChemistrySelect*. – 2018. – V. 3. – №. 12. – Pp. 3411–3416.
2. Tian Y., Zhou J., He C., He L., Li X., Sui H. The Formation, Stabilization and Separation of Oil–Water Emulsions // *School of Chemical Engineering and Technology. Tianjin University*. – 2022. – №. 10. – P. 38. DOI: 10.3390/pr10040738.
3. Ковалева М.А., Виниченко Т.Н., Слащинин Д.Г., Лунова Т.А. Разделение водонефтяных эмульсий. // *Южно-Сибирский научный вестник*. – №. 5. – С. 68–71. DOI: 10.25699//SSSB.2021.39.5.012.

УДК 541.135.7/.88

## СИСТЕМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Рудакова М.Д. (студент, Университет ИТМО), Алиев Т.А. (аспирант, Университет ИТМО),

Семенов А.В. (студент, Университет ИТМО), Потапов В.В. (студент, Университет ИТМО)

Научный руководитель: к.т.н. Мешков А.В. (Университет ИТМО)

e-mail: mdrudakova@itmo.ru

В работе поднята проблема поиска параметров проведения электрокатализа: природы реагентов, температуры и времени синтеза, параметров и типа тока, при которых выход целевого продукта будет наибольшим. Применены регрессионные методы машинного обучения, такие как линейная регрессия, случайный лес и градиентный бустинг для предсказания выхода электрохимической реакции.

**Ключевые слова:** машинное обучение, электроорганический синтез, электрокатализ, линейная регрессия, градиентный бустинг.

Электроорганический синтез на основе переменного тока является одним из наиболее активно развивающихся направлений современной электрохимии. Этот метод по сравнению со своими аналогами демонстрирует повышенную эффективность в проведении окислительно-восстановительных реакций и повышение их селективности [1]. Использование переменного тока и никелевых катализаторов может значительно упростить и удешевить процесс синтеза молекул с гетероатомной связью, производные которых применяются в качестве лекарственных средств [2]. К ним относятся, например, разнообразные антибиотики, анальгетики, транквилизаторы, противовирусные препараты и т. д. Сложность заключается в том, что на выход целевого продукта таких реакций влияет множество параметров (рис. 1): природа субстратов, их количество, параметры и тип тока, температура и время синтеза.

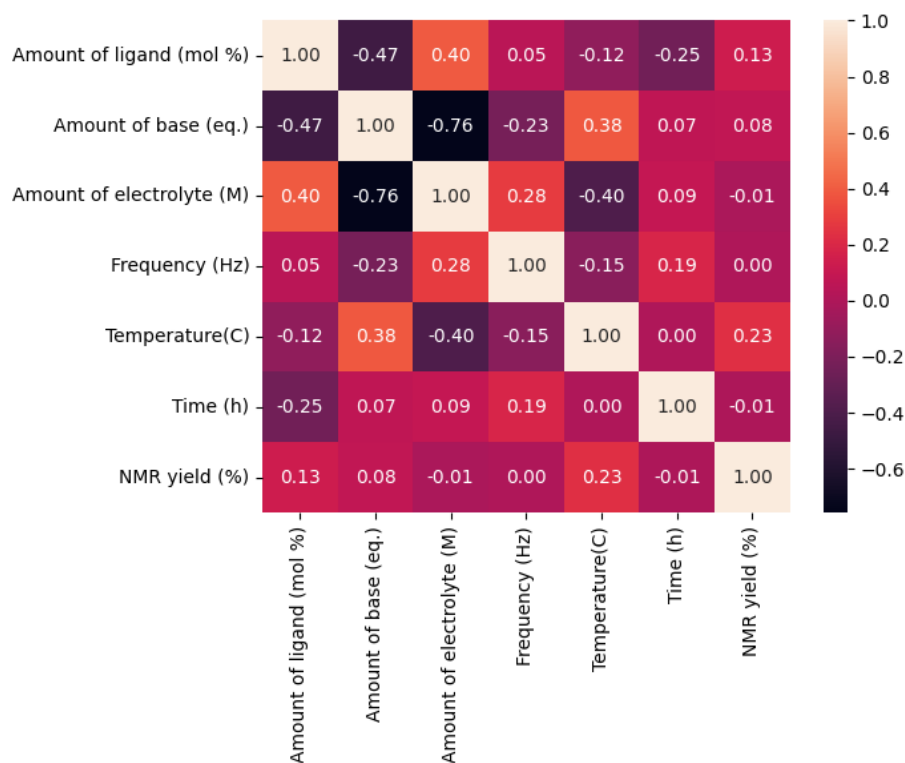


Рис. 1. Матрица корреляций для данных по электрокатализу

Традиционный подход к поиску оптимальных параметров экспериментальным путем требует много времени. Интеграция машинного обучения может значительно ускорить этот процесс, став при этом мощным инструментом для планирования экспериментов с целью оптимизации условий синтеза [3].

Для прогнозирования выхода целевого продукта по входным параметрам было построено несколько регрессионных моделей, базирующихся на библиотеке Scikit-learn. Для оценки точности результатов моделирования использовались следующие метрики: средняя квадратичная ошибка (англ. Mean Squared Error, MSE), средняя абсолютная ошибка (англ. Mean Absolute Error, MAE), коэффициент детерминации. Среди них среднеквадратическая ошибка (MSE) — это степень изменения данных оценки, которая представляет собой ожидание между прогнозируемым и целевым значением [4]. Чем меньше значения MAE и MSE, тем выше точность модели. Коэффициент детерминации может принимать значения от -1 до 1, и чем ближе значение к единице, тем лучше модель объясняет данные.

Линейная регрессия — один из самых простых методов регрессионного анализа, основанный на линейной зависимости одной переменной  $y$  от другой или нескольких других переменных  $x$ . Преимущество линейной регрессии заключается в простоте интерпретации моделируемых взаимосвязей между независимыми и зависимыми переменными. Однако этот метод не подходит, когда связь между зависимой и независимой переменными является нелинейной [5]. Как видно из графика (рис. 2), модель линейной регрессии имеет низкую точность для обрабатываемых данных.

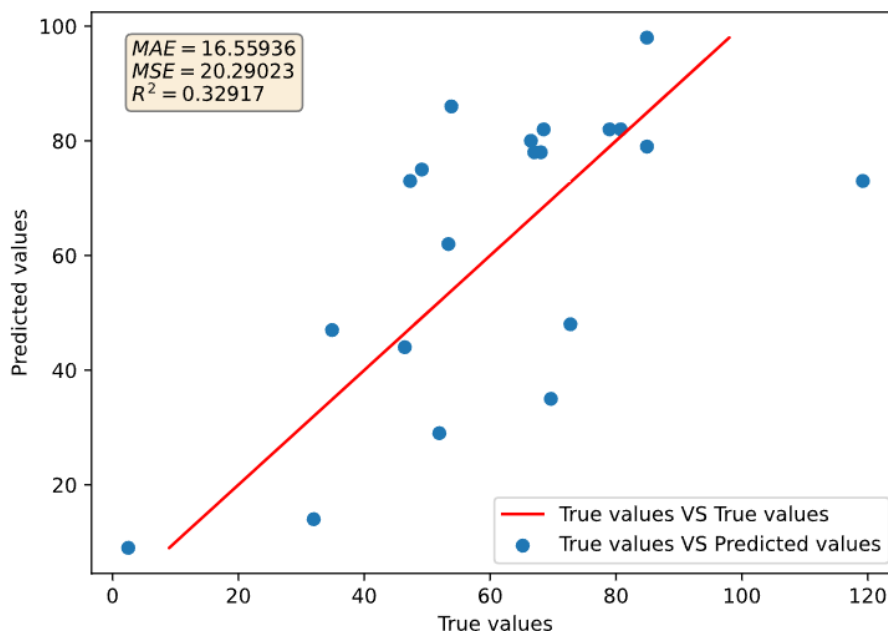


Рис. 2. Линейная регрессия

Ансамблевые методы сочетают в себе сразу несколько моделей, которые одновременно обучаются для решения одной и той же задачи. За счет объединения нескольких прогнозов, точность и надежность модели увеличиваются. В этой работе были использованы два ансамблевых метода: случайный лес (Random Forest) и градиентный бустинг (Gradient Boosting). Оба метода представляют собой ансамбли деревьев решений, однако отличаются процессом обучения. В Random Forest деревья строятся независимо друг от друга, в то время как в Gradient Boosting деревья строятся последовательно: каждое последующее исправляет ошибки предыдущего. Протестировав оба метода, был выбран Gradient Boosting как более точный.

Для увеличения предсказательной эффективности была произведена оптимизация гиперпараметров методом GridSearch. В результате модель показала высокую точность (рис. 3). Оптимальными гиперпараметрами были выбраны следующие: скорость обучения ( $learning\_rate = 0.4$ ), количество деревьев в лесу ( $n\_estimators = 1000$ ), минимальное количество выборок, необходимое для разделения внутреннего узла ( $min\_samples\_split = 6$ ), минимальное количество выборок, которое должно находиться в узле ( $min\_samples\_leaf = 1$ ).



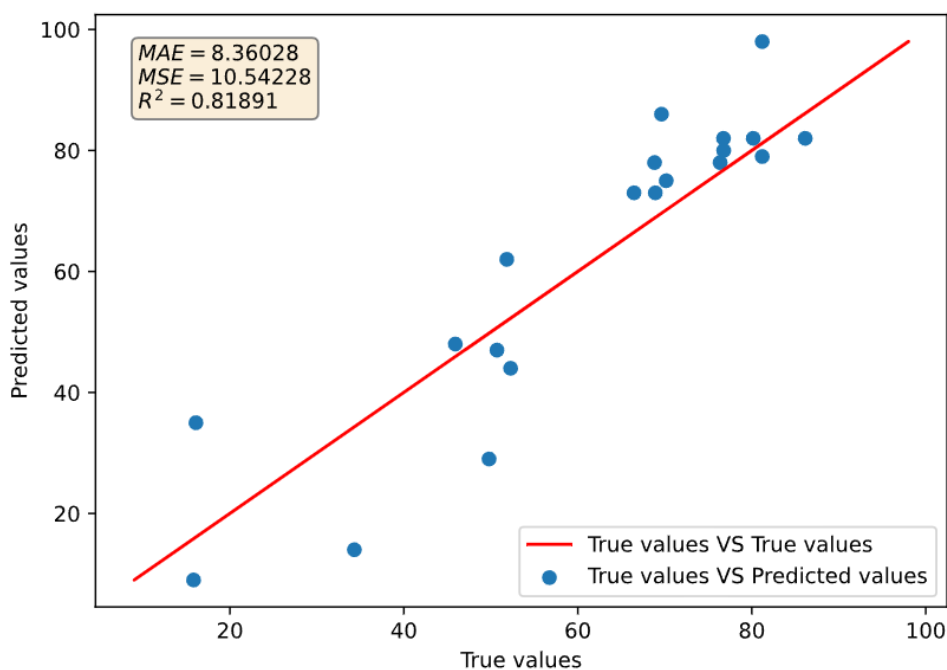


Рис. 3. Градиентный бустинг

Таким образом, обученная модель машинного обучения способна предсказывать выход электрохимических реакций с высокой эффективностью. Это может быть использовано напрямую для оценки предполагаемого выхода до начала эксперимента, либо для поиска наилучших условий реакции, при которых выход будет наибольший. В дальнейшем эта модель может быть использована в качестве отправной точки для автоматизированного выполнения электрокатализа и дополнена новыми данными.

#### Список использованных источников

1. Zeng L., Wang J., Wang D. et al. Comprehensive Comparisons between Directing and Alternating Current Electrolysis in Organic Synthesis // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2023. DOI: 10.1002/anie.202309620.
2. Bortnikov E.O., Semenov S.N. Coupling of Alternating Current to Transition-Metal Catalysis: Examples of Nickel-Catalyzed Cross-Coupling // *The Journal of Organic Chemistry*. – 2021. – V. 86. – №. 1. – Pp. 782–793. DOI: 10.1021/acs.joc.0c02350.
3. Steinmann S.N., Wang Q., She Z.W. How machine learning can accelerate electrocatalysis discovery and optimization // *Materials Horizons*. – 2023. – V. 10. – Pp. 393–406. DOI: 10.1039/D2MH01279K.
4. Huang J.C., Ko K.M., Shu M.H. et al. Application and comparison of several machine learning algorithms and their integration models in regression problems // *Neural Computing and Applications*. – 2020. – V. 32. – Pp. 5461–5469. DOI: 10.1007/s00521-019-04644-5.
5. Ray S. A Quick Review of Machine Learning Algorithms // 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon). – 2019. – Pp. 35–39. DOI:10.1109/COMITCon.2019.8862451.

УДК 544.15

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУПЕРЩЕЛОЧНЫХ КЛАСТЕРОВ $NLi_3M$ ( $M = Li, Na, K$ ) С МОЛЕКУЛОЙ $CO_2$

Свинкин Н.А. (студент, СПбАУ), Петрушенко И.К. (ИРНТУ), Большаков А.Д. (СПБАУ)  
e-mail: nik-svinkin@mail.ru

В данной работе представлены результаты теоретического исследования взаимодействия суперщелочных кластеров  $NLi_3M$  ( $M=Li,Na,K$ ) с молекулами  $CO_2$ . Представлены рассчитанные равновесные атомные конфигурации комплексов  $NLi_3M+CO_2$ , геометрия  $CO_2$  в которых соответствует анионной. Показан переход электронной и спиновой плотности с  $NLi_3M$  на  $CO_2$ . Также при помощи методов IGM и SAPTO была определена энергия взаимодействия суперщелочей с углекислым газом. На основании полученных результатов были сделаны выводы о высокой степени активации молекул  $CO_2$  суперщелочными кластерами типа  $NLi_3M$ .

**Ключевые слова:** суперщелочи, углекислый газ, квантово-химическое моделирование, теория функционала плотности, активация  $CO_2$ , первый потенциал ионизации.

Суперщелочами называют соединения, первый потенциал ионизации ( $PI^1$ ) которых ниже, чем  $PI^1$  атомов щелочных металлов (т. е.  $PI^1 < 3,89$  эВ). Термин был введен в 1982 году Г.Л. Гуцевым и А.И. Болдыревым [1]. Благодаря своим восстанавливающим свойствам суперщелочи могут быть использованы для ионизации молекул  $CO_2$  [2] и  $N_2$ , хранения  $H_2$  и захвата инертных газов [3].

Стабильность и электронная структура исследуемых в данной работе суперщелочей была изучена в работе [4]. Активация молекул  $CO_2$  при помощи гомолигандных суперщелочей исследовалась в работе [5]. Также уже проводилось изучение взаимодействия суперщелочей вида  $NM_4$  ( $M = Li, Na, K$ ) с молекулой углекислого газа [6]. В данной работе приведены результаты исследования взаимодействия суперщелочных кластеров вида  $NM_3M$  ( $M = Li, Na, K$ ) с молекулами  $CO_2$ .

Поиск равновесной геометрической конфигурации изучаемых комплексов осуществлялся при помощи открытого программного обеспечения ORCA 4.2.1 [7] методами DFT (wB97X-D3/6-311+G(d,p)). Анализ распределения зарядовой и спиновой плотности проводился по методу Хиршфельда (HPA). Визуализация структуры комплексов была осуществлена при помощи Chemcraft 1.8 [8]. Силы взаимодействия изучаемых суперщелочных кластеров с  $CO_2$  были сопоставлены с прочностью связей внутри кластеров при помощи анализа IGMH [9], в реализации MultiWFN [10]. Также был проведен анализ SAPTO в базисе 6-311++G\*\* для определения энергии взаимодействия соединений и ее компонент.

В таблице 1 сведены результаты оптимизации геометрии, а также расчета распределения зарядовой и спиновой плотности исследуемых суперщелочей, их катионов, молекулы  $CO_2$  и аниона  $CO_2^-$ . Обозначениям в таблице 1 соответствуют величины, отмеченные на рисунке 1.

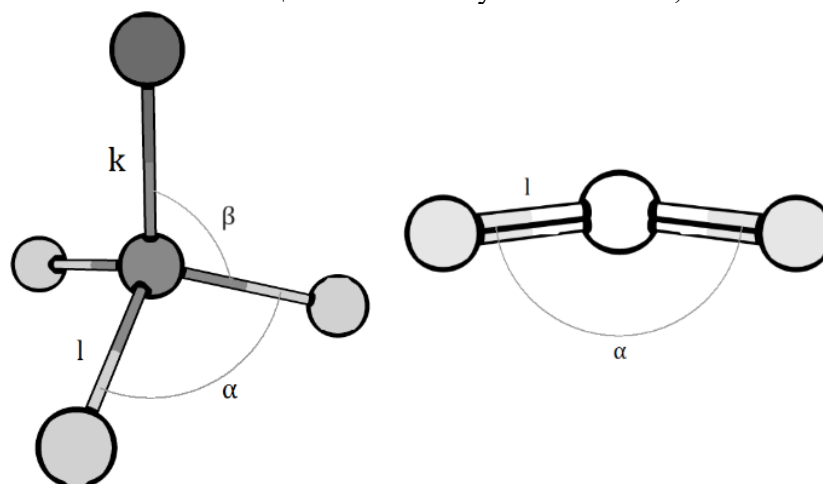


Рис. 1. Равновесная геометрическая конфигурация суперщелочей  $NLi_3M$

Таблица 1. Геометрические характеристики суперщелочей  $NLi_3M$  и результаты анализа распределения электронной и спиновой плотности в них

Соединение	Межатомное расстояние, Å		Валентный угол, °		Электронная и спиновая плотность		
					Атом	НРА, а. е.	
						Заряд	Спин
$NLi_4$	l	1,8	$\alpha$	109	N	-0,88	0,01
					Li	0,22	0,25
$NLi_4^+$	l	1,8	$\alpha$	109	N	-0,92	0,00
					Li	0,48	0,00
$NLi_3Na$	l	1,8	$\alpha$	113	N	-0,87	0,02
					Li	0,24	0,19
	k	2,2	$\beta$	105	Na	0,15	0,41
$NLi_3Na^+$	l	1,8	$\alpha$	110	N	-0,91	0,00
					Li	0,45	0,00
	k	2,2	$\beta$	109	Na	0,57	0,00
$NLi_3K$	l	1,8	$\alpha$	109	N	-0,88	-0,01
					Li	0,20	0,20
	k	2,6	$\beta$	110	K	0,28	0,40
$NLi_3K^+$	l	1,8	$\alpha$	108	N	-0,92	0,00
					Li	0,41	0,00
	k	2,6	$\beta$	111	K	0,68	0,00
$CO_2$	l	1,16	$\alpha$	180,0	C	0,36	0,00
					O	-0,18	0,00
$CO_2^-$	l	1,23	$\alpha$	136,8	C	-0,10	0,60
					O	-0,45	0,20

Из данных таблицы 1 в сопоставлении с рисунком 1 можно видеть, что исследуемые соединения обладают пирамидальной структурой. Основная часть электронной плотности в нейтральном состоянии сосредоточена на центральном атоме азота, а спиновая плотность распределена по щелочным лигандам. Такая картина соответствует наличию распределенной по лигандам молекулярной орбитали с одним неспаренным электроном. Также стоит отметить, что геометрическая конфигурация суперщелочных комплексов практически не изменяется при их ионизации. Отрицательный заряд в катионах суперщелочей также сконцентрирован на центральном атоме азота, магнитный момент в катионах отсутствует.

Степень активации молекулы диоксида углерода в данной работе оценивается по следующим критериям:

1. Суммарный заряд на  $CO_2 \approx -1$ .
2. Валентный угол  $O - C - O \approx 136,8^\circ$ .
3. Длина связи  $C - O \approx 1,23 \text{ \AA}$ .

В таблице 2 сведены геометрические характеристики изучаемых суперщелочных кластеров в комплексах с молекулой  $CO_2$ . Обозначения в таблице 2 соответствуют отмеченным на рисунке 2 величинам.

Таблица 2. Геометрические характеристики комплексов суперщелочей  $NLi_3M$  с  $CO_2$

Комплекс	Расстояния, Å					Углы, °		
	l	x	k	m	N	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
$NLi_4 + CO_2$	1,87	1,75	1,87	1,94	1,24	84,3	111,9	132,9
$NLi_3Na + CO_2$	1,85	1,76	2,13	1,93	1,24	86,5	108,9	133,3
$NLi_3K + CO_2$	1,87	1,75	2,49	1,96	1,24	82,5	109,2	132,9

В таблице 3 представлены результаты расчета распределения электронной и спиновой плотности в комплексах изучаемых суперщелочей с молекулой углекислого газа. Все обозначения в таблице 3 соответствуют обозначениям на рисунке 2.

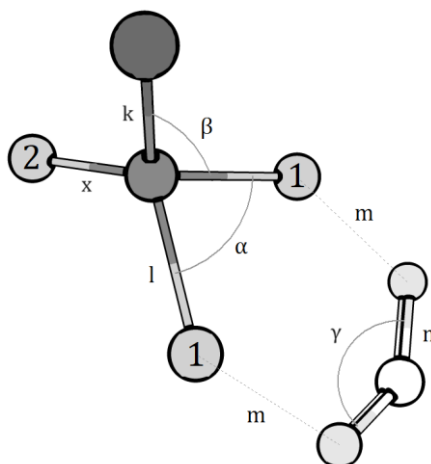


Рис. 2. Равновесная геометрическая конфигурация комплексов суперщелочей  $NLi_3M$  с молекулой  $CO_2$

Таблица 3. Результаты анализа распределения электронной и спиновой плотности в комплексах суперщелочей  $NLi_3M$  с молекулой  $CO_2$

Комплекс	Атом	НРА, а. е.	
		Заряд	Спин
$NLi_4 + CO_2$	N	-0,89	0,01
	Li – 1	0,28	0,02
	Li – 2	0,40	0,00
	C	0,13	0,62
	O	-0,31	0,16
	$CO_2$	-0,48	0,94
$NLi_3Na + CO_2$	N	-0,86	0,01
	Li – 1	0,26	0,02
	Li – 2	0,36	0,00
	Na	0,47	0,00
	C	0,12	0,62
	$CO_2$	-0,48	0,94
$NLi_3K + CO_2$	N	-0,89	0,01
	Li – 1	0,23	0,02
	Li – 2	0,32	0,00
	K	0,58	0,00
	C	0,12	0,62
	$CO_2$	-0,49	0,94

Из данных таблиц 2 и 3 можно заключить, что геометрические критерии активации молекулы  $CO_2$  полностью выполняются, в то время как заряд переносится лишь на ~50%. Также можно заметить, что все представленные суперщелочи активируют  $CO_2$  в одинаковой степени. Это можно объяснить сходной степенью делокализации электрона на внешней МО в изучаемых суперщелочах из-за похожих размеров кластеров.

На рисунке 3 изображены результаты анализа IGMH. Положительные значения по оси абсцисс характеризуют отталкивание, отрицательные – притяжение. Красными точками отмечены данные о взаимодействии между суперщелочью и молекулой  $CO_2$ , черными – о взаимодействии атомов внутри суперщелочи и молекулы  $CO_2$ . Относительно большие по модулю величины по оси абсцисс характеризуют химическое взаимодействие, значения около нуля – электростатическое и Ван-дер-Ваальсово взаимодействие. Таким образом, «парус» в левой части графиков а, в, д на рисунке 3 ассоциируется со связью атомов в молекуле  $CO_2$ , а черный пик вблизи нуля характеризует энергию связи атомов в суперщелочи.

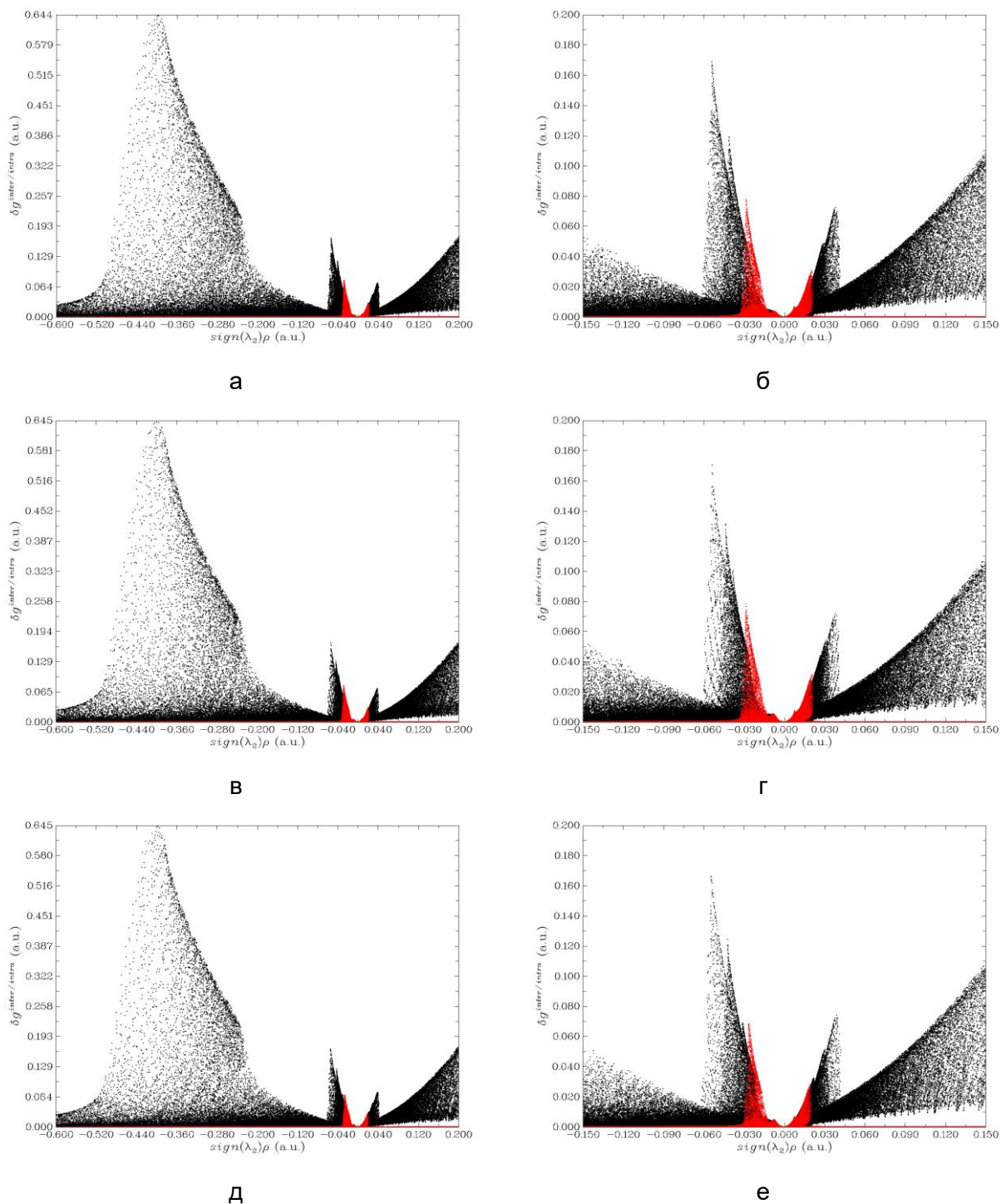


Рис. 3. Результаты анализа IGMH: а, б –  $\text{NLi}_4 + \text{CO}_2$ ; в, г –  $\text{NLi}_3\text{Na} + \text{CO}_2$ ;  
д, е –  $\text{NLi}_3\text{K} + \text{CO}_2$

Из графиков на рисунке 3 можно сделать вывод, что все изучаемые суперщелочи взаимодействуют с молекулой  $\text{CO}_2$  по сходным механизмам, что согласуется с одинаковой степенью активации  $\text{CO}_2$ . Также можно сказать, что притяжение между суперщелочью и молекулой углекислого газа слабее, чем связь атомов суперщелочи, что позволяет судить о стабильности последней и её применимости для активации молекул углекислого газа.

Анализ при помощи SAPTO позволяет количественно оценить силу взаимодействия между исследуемыми суперщелочами и молекулой углекислого газа. Результаты данного анализа сведены в таблице 4.

Таблица 4. Энергии взаимодействия суперщелочей  $NLi_3M$  с молекулой  $CO_2$ .  
В скобках приведены доли каждой компоненты в притяжении

Вид взаимодействия	Энергия, кДж/моль		
	$NLi_4 + CO_2$	$NLi_3Na + CO_2$	$NLi_3K + CO_2$
Электростатическое	-309,32 (36,78%)	-425,06 (42,31%)	-228,71 (31,73%)
Обменное	412,58	587,13	322,22
Индукционное	-478,83 (56,93%)	-506,84 (50,45%)	-448,74 (62,27%)
Дисперсионное	-52,95 (6,30%)	-72,67 (7,23%)	-43,24 (6,00%)
Суммарное	-428,52	-417,44	-398,47

В данной работе показано, что суперщелочи вида  $NM_3M$  ( $M = Li, Na, K$ ) при взаимодействии с молекулой  $CO_2$  осуществляют ее ионизацию, что проявляется в перераспределении заряда в комплексе и изменением геометрии молекулы углекислого газа. Активация  $CO_2$  всеми тремя рассмотренными суперщелочами происходит в сходной степени. По геометрическим критериям (длина связи и валентный угол) активация происходит в полной мере, в то время как перенос заряда осуществляется частично (~50%).

Оценка энергии взаимодействия между суперщелочами и молекулой  $CO_2$  позволяет судить о том, что при разведении зарядов, например, приложением электрического поля, могут быть получены анион  $CO_2^-$  и катион суперщелочи без деструктивных эффектов для самой суперщелочи. Это может быть полезным на практике, так как для следующего цикла активации нет нужды синтезировать суперщелочь заново. Также установлено, что взаимодействия между суперщелочами и молекулой диоксида углерода в основе своей имеют электростатическую природу, что также указывает на возможность их разведения при помощи электрического поля.

#### Список использованных источников

1. Гуцев Г.Л., Болдырев А.И. Электронная структура супергалогенов и суперщелочей // Успехи химии. – 1987. – Т. 56. – №. 6. – С. 889–910.
2. Srivastava H., Srivastava A.K. Superalkalis for the Activation of Carbon Dioxide: A Review // *Frontiers in Physics*. – 2022. – P. 244.
3. Sun W.M., Wu D. Recent progress on the design, characterization, and application of superalkalis // *Chemistry–A European Journal*. – 2019. – V. 25. – N. 41. – Pp. 9568–9579.
4. Zhang Z., Chen H. Superalkali  $NM_4$  ( $M = Li, Na, K$ ): stabilities and electronic structures // *Physics Letters A*. – 2019. – Т. 383. – №. 33. – P. 125952.
5. Srivastava A.K. Single-and double-electron reductions of  $CO_2$  by using superalkalis: An ab initio study // *International Journal of Quantum Chemistry*. – 2018. – Т. 118. – №. 14. – P. e25598.
6. Свинкин Н.А. Взаимодействие молекул  $CO_2$  и кластеров  $NLi_4$ ,  $NNa_4$ ,  $NK_4$ : теоретическое исследование // *Молодежный Вестник ИРГТУ*. – 2023. – №. 2. – С. 576–582.
7. Neese F. Software update: the ORCA program system, version 4.0 // *Wiley Interdisciplinary Reviews-Computational Molecular Science*. – 2017. – V. 8. – N. 1. – Pp. 73–78.
8. Zhurko G.A. Chemcraft - graphical program for visualization of quantum chemistry computations. Ivanovo, Russia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chemcraftprog.com> (дата обращения: 05.09.2023).
9. Lu Tian, Chen Qinxue Independent gradient model based on Hirshfeld partition: A new method for visual study of interactions in chemical systems // *Journal of Computational Chemistry*. – 2022. – Vol. 43. – №. 8. – Pp. 539–555.
10. Lu Tian, Chen Feiwu Multiwfn: a multifunctional wavefunction analyzer // *Journal of computational chemistry*. – 2012. – Vol. 33. – №. 5. – Pp. 580–592.
11. Hohenstein E.G., Sherrill C.D. Density fitting and Cholesky decomposition approximations in symmetry-adapted perturbation theory: Implementation and application to probe the nature of  $\pi$ - $\pi$  interactions in linear acenes // *The Journal of Chemical Physics*. – 2010. – Т. 132. – №. 18. – P. 184111.
12. Hohenstein E.G., Parrish R.M., Sherrill D.C., Turney J.M., Schaefer H.F. Large-scale symmetry-adapted perturbation theory computations via density fitting and Laplace transformation techniques: Investigating the fundamental forces of DNA-intercalator interactions // *The Journal of chemical physics*. – 2011. – Т. 135. – №. 17. – P. 174107.
13. Gonthier J.F., Sherrill C.D. Density-fitted open-shell symmetry-adapted perturbation theory and application to  $\pi$ -stacking in benzene dimer cation and ionized DNA base pair steps // *The Journal of Chemical Physics*. – 2016. – Т. 145. – №. 13. – P. 134106.

УДК 338.364.2

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КЛЕТОК

Семенов А.В. (студент, Университет ИТМО), Рудакова М.Д. (студент, Университет ИТМО),

Петрова М.С. (студент, Университет ИТМО)

Научный руководитель: к.т.н. Мешков А.В. (Университет ИТМО)

e-mail: 19.sasha.2000@gmail.com

*В работе рассмотрен процесс автоматизации культивирования клеток и разработка стационарной изолированной лаборатории для контроля клеточных и бактериальных систем. Для достижения автономности химических экспериментов установлен манипулятор, позволяющий выполнять перенос химических веществ в сосудах, их дозирование и другие важнейшие операции.*

**Ключевые слова:** мобильная лаборатория, культивирование клеток, автоматизация, анализ данных, манипулятор.

Культивация клеток – это процесс выращивания отдельных клеток (или одной клетки) прокариот и эукариот при строго контролируемых условиях. Работа с культурами клеток тканей и органов или микроорганизмами требует соблюдения особых условий в помещении: необходимо поддерживать стерильность и определенную температуру, необходимо очищение воздуха и использование специализированной одежды для лаборантов. Для автоматизации этого процесса нами используется сборно-разборная мини-лаборатория, которая имеет форму куба. В ней расположено оборудование для выращивания клеток: ламинарный бокс (лабораторный шкаф для работы с биологическими объектами в стерильных условиях), сушижаровая печь, термостат, CO<sub>2</sub>-инкубатор, микроскоп, холодильник, водяная баня, центрифуга.

Процесс автоматизации необходим для работы с двумя типами клеток: эукариотическими (ядерными) и бактериальными (безъядерными). Клетки культивируют на биополимерных изделиях, изучается их реакция и совместимость с материалами. Это позволяет оптимизировать клеточные реакции при помощи управления структурой материалов и найти новые решения для регенеративной медицины. Актуальность таких исследований состоит в изучении того, каким образом кардиомиоциты (мышечные клетки сердца) приживаются на различных полимерах и создании в будущем кардиоимплантов.

Изолированная лаборатория представлена на рисунке 1, а. В лаборатории была установлена роботизированная платформа для анализа материалов с помощью атомно-силовой микроскопии, представленная на рисунке 1, б.



Рис. 1. а) Мобильная куб-лаборатория; б) Роботизированная платформа

«Куб» – это система для визуального обучения и комплексного анализа данных, в которой будет проводиться культивирование, имеющая характеристики «стерильного прозрачного куба», то есть ограниченного прозрачными стенами чистого пространства, имеющего индивидуальную HEPA-вентиляцию, укомплектованного культуральным оборудованием и фото-видео выходами. Культивирование клеток при непосредственном контакте с полимерными образцами будет фото-фиксироваться в режиме реального времени, для получения больших массивов данных о функциональном состоянии культур при контакте с материалами.

Rozum PULSE 90 – это линейка манипуляторов, предназначенных для автоматизации коммерческих и промышленных рабочих процессов, а также исследовательских и образовательных проектов. Импульсные роботы имеют модульную конструкцию и шесть степеней свободы. При этом роботы PULSE достигают повторяемости движений с 0,01 мм погрешностью.

Работа с манипулятором возможна двумя способами:

1. Через встроенный интерфейс, позволяющий задать: тип движения, скорость и ускорение, нагрузку. Данный способ управления оказался урезанным, без возможности задавать одну из важнейших и основных операций – состояние захвата, а также без возможности включить цикл. По этой причине данный способ является лишь демонстрацией некоторых основных возможностей робота, соответственно, как основной способ управления не подходит, поэтому был использован второй вариант.
2. Через код, написанный на языке программирования Python 3, стало возможным задавать и редактировать координаты для каждой отдельной точки, углы поворота, тип передвижения, скорость, ускорение, циклы и состояние захвата.

Для того чтобы не выйти за рабочие пределы какого-либо звена, а также удостовериться в том, что манипулятор может прийти во все точки, работы по задаванию производились в рабочей оболочке, затем файл с ними был сохранен в формате json.

Так, для полноценной работы и автоматизации культивирования, в процессе исследования был написан скрипт, который получает на вход файл в формате json сгенерированный в интерфейсе манипулятора. Далее идет считывание файла, в ходе которого происходит поиск необходимых списков, ключей, значений и словарей. Затем происходит создание новых списков и словарей и по окончании выполнения, манипулятор принимает на вход уже новый код с циклами, а также с добавленными состояниями захвата в определенные моменты, например, в момент опускания захвата к банке – положение захвата должно быть «открыт».

```
speed = 15
acceleration = 1.5
addr = "192.168.31.174" # "10.10.10.32" "192.168.250.21" "localhost"

if __name__ == '__main__':
    algorithmList = jsonRead.algorithmList
    algorithmListReverse = []
    rr = RobotAPI(ip=addr)
    rr.init_robot()
    rr.hold()

    rr.set_payload(1.6, [0.1, 0.05, 0.0])
    rr.set_tool([0, 0, 0, 0, 0, 0])

    for cmd in algorithmList:
        for point in cmd["points"]:
            if(point.get("gripper")!=None):
                gripperInputs=[0,0,0]
                gripperInputs[point["gripper"]] = 1
                for i in range(3):
                    rr.write_dig_output(i, gripperInputs[i])
                time.sleep(0.5)
            if(point.get("pose")!=None):
                rr.add_wp(t = 0, des_q = point["pose"], vmax_j=speed, amax_j=acceleration, rblend=0)
                rr.run_wps()
                rr.await_motion()
                print(point["name"]," ", point["id"])
                time.sleep(0.5)
```

Рис. 2. Фрагмент кода



Захват имеет возможность раскрыть схват вплоть до 130 мм, что позволяет работать с объектами разных габаритов, таким образом, банку с раствором можно взять любым способом: как за крышку, так и за основную часть. Для начальных задач были спроектированы «пальцы», показанные на рисунке 3, а, позволяющие открывать и закрывать шкаф, брать банку с раствором и перемещать в необходимое место.



Рис. 3. а) Модель пальца; б) Захват с установленными пальцами

В дальнейшем необходимо обеспечить взаимодействие манипулятора с другими устройствами "куба", разместить тензометрические датчики на пальцах для удостоверения захвата и отпускания объектов. Разрабатывается добавление машинного зрения для более точного позиционирования с помощью использования квадратных бинарных опорных маркеров. Главное преимущество таких меток – один маркер содержит достаточно информации (положение четырёх его углов) для определения положения камеры. Кроме того, внутренняя бинарная кодификация увеличивает надёжность их определения, позволяя применять алгоритмы поиска и коррекции ошибок. Один из таких вариантов – Aruco-маркер – это квадрат, с широкой чёрной границей, содержащий внутри бинарную квадратную матрицу, которая определяет его идентификатор (id). Граница обеспечивает его быстрый поиск на изображении, а бинарная кодификация – позволяет идентифицировать с применением алгоритмов поиска и коррекции ошибок. Планируется проводить фотофиксацию клеток в культуральных сосудах в течение продолжительного времени через одинаковые временные интервалы в одних и тех же точках, при помощи камеры инвертированного флуоресцентного микроскопа. Изображения с такой камеры поступают в компьютеры снаружи куба, демонстрируются на экранах на внешних стенках куба и обрабатываются с использованием специализированного программного обеспечения типа ImageJ для дальнейшего цифрового анализа взаимодействий «клетки-материал» с целью эффективного управления процессами витализации полимерных образцов.

#### Список использованных источников

1. Chaicharoenaudomrung N., Kunhorm P., Noisa P. Three-dimensional cell culture systems as an in vitro platform for cancer and stem cell modeling // *World journal of stem cells*. – 2019. – Т. 11. – №. 12. – P. 1065.
2. Lehmann R. et al. Biomek cell workstation: a variable system for automated cell cultivation // *Journal of laboratory automation*. – 2016. – Т. 21. – №. 3. – Pp. 439–450.
3. Doulgkeroglou M.N. et al. Automation, monitoring, and standardization of cell product manufacturing // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2020. – Т. 8. – P. 811.
4. dos Santos Cesar D.B. et al. An evaluation of artificial fiducial markers in underwater environments // *OCEANS 2015-Genova*. – IEEE, 2015. – Pp. 1–6.

## Практико-ориентированное молодежное научно-техническое творчество

---

УДК 621.313.332

### **ПРОБЛЕМЫ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОБМОТКИ СТАТОРА АВТОНОМНЫХ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ**

**Бурдуков И.Д.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Лукичев Д.В.** (Университет ИТМО)

*e-mail: mr.ivanburdukov@gmail.com*

*В работе рассмотрены решения по выполнению релейной защиты обмотки статора асинхронных генераторов автономных электроэнергетических установок, приведены несовершенства существующих решений, приведены режимы, требующие особого внимания при проектировании релейной защиты асинхронного генератора, предложены способы выполнения защит.*

**Ключевые слова:** автономный асинхронный генератор, неисправности обмотки статора, релейная защита, надежность, снижение последствий аварий, разработка релейной защиты.

Автономные электроэнергетические установки с асинхронными генераторами состоят из трех элементов — источника механической мощности, асинхронной машины и источника реактивной мощности. В качестве источника механической мощности возможно использование как природных источников энергии (силы ветра, напора вода и др.), так и двигателей внутреннего сгорания.

Асинхронные генераторы выполняются с короткозамкнутым, фазным или полным ротором. Простота и надёжность конструкции являются основными достоинствами асинхронных генераторов, позволяющими использовать их в установках, работающих без обслуживающего персонала. Потребление реактивной мощности является основным недостатком асинхронного генератора, препятствующим его широкому распространению [1]. Источниками необходимой реактивной мощности являются статические конденсаторы или вентильные преобразователи с искусственной коммутацией вентилей [2].

Известно, что отказы асинхронных генераторов в большинстве случаев (85–95%) происходят по причине повреждения статорной обмотки. Межвитковые замыкания являются самым распространенным видом повреждений и составляют более 90% всех повреждений [3].

У обмотки статора возникают следующие дефекты: явные — трещины, истирание, забоина, смятие, высокая разрядная активность, электрическая эрозия, высокая влажность, перегрев; скрытые — микротрещины, складчатость слоев, расслоенность, недостаточная степень полимеризации связующего состава терморезистивной изоляции, обугливание, малый радиус ребра пазовой части стержня, ромбовидность поперечного сечения пазовой части стержня, радиационное повреждение диэлектрического барьера. Конечная точка развития ключевого дефекта: пробой на землю, междуфазное короткое замыкание (КЗ) либо через изоляционный промежуток, либо через активную сталь [4].

Обнаружение неисправности во время работы машины возможно при наличии теплового контроля, контроля напряжения нулевой последовательности, измерения сопротивления изоляции методом наложения постоянного тока или с помощью контроля продуктов пиролиза изоляции [4].

Ранее считалось, что асинхронные генераторы не требуют защиты от КЗ, так как при КЗ эти машины развозбуждаются [5]. Однако, со временем были проведены исследования, обнаружившие, что при условиях межвитковых замыканий витков в количестве менее 15% асинхронный генератор не теряет самовозбуждения, а ток КЗ в обмотке статора вырастает до значений 4–10 раз к номинальным значениям. Потеря возбуждения происходит при значениях выше 15% замкнутых витков. Поэтому для безопасной эксплуатации и своевременного отключения асинхронных генераторов в гибридных энергоустановках им требуется иметь надежную защиту от различных неисправностей, возникающих в их обмотках [6].

В настоящее время подход к выполнению защиты от замыканий обмотки статора электрических машин сводится к трем ключевым проблемам: трудность обеспечения чувствительности, отсутствие согласованной стратегии в вопросах их разработки и изготовления и сложность исполнения. Считается, что защиты, контролирующие симметрию магнитного поля внутри самой машины, обладают высокой чувствительностью, поскольку на внешнюю несимметрию они не реагируют. Наиболее простой из них является защита с кольцевым преобразователем, реализуемая на встраиваемом в электрическую машину кольцевом измерительном преобразователе (КИП), представляющим собой катушку индуктивности, которая размещается в торцевой зоне асинхронной машины соосно с валом. Такой КИП применяется в мощных асинхронных электрических машинах. В защитах электрических машин концы катушки многовиткового КИП и вторичной обмотки согласующего трансформатора подключается к реагирующему органу. Впрочем, существует ограничение — защита не обладает должной чувствительностью на машинах с числом пар полюсов  $p = 1$  [7].

Существует решение [7] по выполнению поперечной дифференциальной токовой защиты асинхронного генератора (рис. 1). Трансформатор тока ТА через фильтр ZF подключается к токовому реле КА.

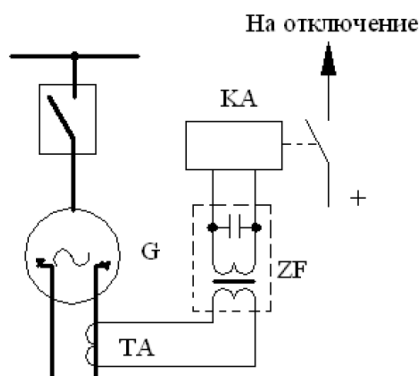


Рис. 1. Поперечная дифференциальная токовая защита генератора

В работе [8] было представлено решение по выполнению устройства защиты ААГ по типу электромеханического реле дифференциальной защиты, эффективное в выявлении межфазных замыканий и замыканий более 15% витков обмотки статора. На рисунке 2 показана комплектация устройства. Трансреакторы 1, 2, 3 подключаются к трансформаторам тока 4, 5, 6, которые установлены в одноименные фазы соответственно со стороны фазных выводов, нулевых выводов и выводов емкостей возбуждения. Благодаря элементам 7-14 производятся необходимые преобразования измеряемых величин, а элемент 15 реагирует при изменении направленности тока по типу дифференциального реле РНТ [9].

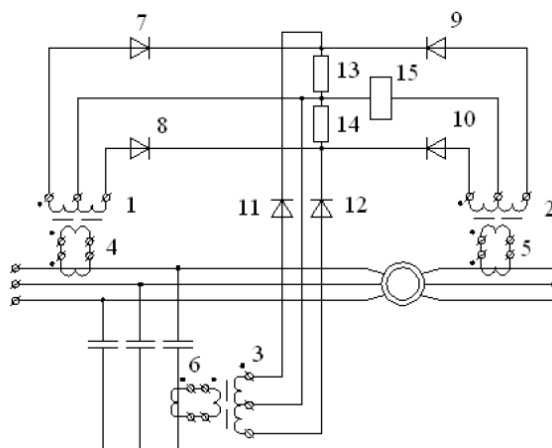


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема устройства для дифференциально-фазной защиты автономного асинхронного генератора

От внутренних междуфазных КЗ и КЗ вблизи нулевых выводов было разработано устройство дифференциальной защиты ААГ (рис. 3), которое состоит из трансформаторов тока 1, 2, 3, установленных соответственно со стороны фазных выводов, нулевых выводов и выводов со стороны емкостей самовозбуждения ААГ. Реле 4, 5, 6 реагируют на изменение направления тока при КЗ внутри области, ограниченной данными трансформаторами тока [10].

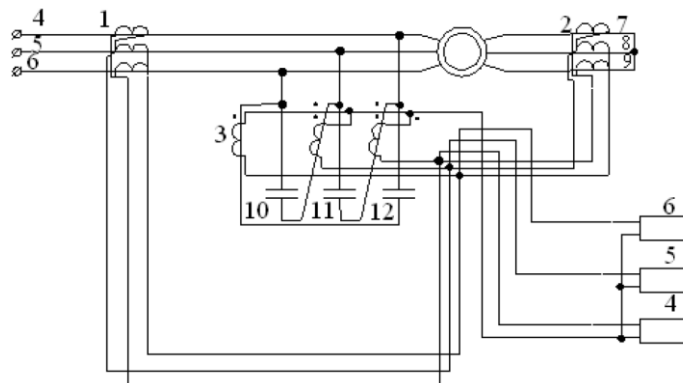


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема устройства для дифференциальной защиты ААГ

Перечисленные решения обеспечивают защиту от междуфазных коротких замыканий в обмотке статора и защиту вблизи нулевых выводов. Однако в любом из перечисленных предлагаемых защит не упоминается о способе отключения оборудования.

Помимо вопроса реализации защит существуют режимы, к которым данные защиты будут нечувствительны. Например, межвитковые замыкания в обмотке статора 3–15% витков (т. к. самовозбуждение не прекратится), замыкания на землю обмотки статора генератора, а также несимметричные КЗ и перегрузка генератора токами обратной последовательности. Как было сказано ранее, не все режимы ведут к потере самовозбуждения, а это значит, что незначительное межвитковое замыкание в обмотке статора продолжается до тех пор, пока не достигнет более серьезного замыкания в 15–30% витков — только тогда достигается чувствительность дифференциальной защиты. Исходя из исследований, только при 15–30% витковых замыканиях генератор теряет самовозбуждение [11]. Следовательно, использование одной лишь «грубой» дифференциальной защиты ААГ приводит всегда к переходу незначительного разрушения в серьезное, в моменте, когда такая защита уже не нужна — когда ААГ теряет самовозбуждение. Последствия и ущерб от такого метода защиты всегда серьезные, а время и стоимость послеаварийного ремонта высокие.

Возникает необходимость выполнения устройств защиты ААГ с должными показателями чувствительности и способностью автоматически выводить оборудование из работы. Для решения задачи по обеспечению полного комплекса требуемых защит, учитывающих аварийные и ненормальные режимы работы ААГ для начала следует обратиться к опыту выполнения защит синхронных генераторов электростанций. Синхронные генераторы являются достаточно изученными машинами, существует масса рабочих решений по выполнению защит, проверенных экспериментально и опытом эксплуатации.

Защита от замыканий на землю обмотки статора по току высших гармоник, используемая в терминалах релейной защиты и автоматики (РЗА), позволяет выявлять аварийные режимы исходя из уровня высших гармонических составляющих в токе нулевой последовательности. Подключение данной защиты организовывается к трансформатору тока нулевой последовательности или к выходу фильтра тока нулевой последовательности со стороны линейных выводов генератора — по своей сути защиту достаточно подключить к тороидальному трансформатору тока, внутри которого проходят линейные выводы генератора. Орган защиты реагирует на среднеквадратичное значение 3, 5, 7, 9 и 11 гармоник. В ходе проведения экспериментальных исследований установлено, что при 15%

короткозамкнутых витков наблюдается уменьшение 1, 5 и 7 гармоник фазных и емкостных токов в поврежденной фазе соответственно в 1,15, 2,15 и 2,9 раз, а также рост 3 гармоники в 1,9 раз. Идентичные особенности наблюдаются в изменениях гармонических составляющих в неповрежденных фазах. Гармонические составляющие токов и напряжений в случае трехфазных и двухфазных несимметричных КЗ соответствуют изменению при витковых КЗ. При симметричном трехфазном КЗ наблюдается рост 1 гармоники фазных и емкостных токов в 1,25 раз. 3, 5 и 7 гармоники уменьшаются в 2,8, 1,5 и 1,1 раз [3].

При выполнении защиты от замыкания на землю обмотки статора существует возможность реализовать механизм предотвращения неправильной работы защиты при повторно-кратковременных однофазных замыканиях на землю в обмотке статора, поэтому защита отстраивается от одиночных кратковременных самоликвидирующихся замыканий и бросков емкостного тока.

Для ветрогенераторов, являющихся частью ветроэлектростанции, существует ряд препятствий при выполнении защиты от замыкания на землю обмотки статора по причине искажений гармонических составляющих токов, распространяющихся по распределительной сети. Хотя не все эти факторы актуальны для ААГ, при моделировании режимов работы асинхронного генератора и выполнении защиты следует учитывать всевозможные аспекты.

Форма волны напряжения может быть искажена введением гармонических токов, которые могут распространяться по распределительной сети. Кроме того, небольшие искажения напряжения могут вызвать большие гармонические токи из-за условий последовательного резонанса между емкостью кабеля и индуктивностью питания (утечка трансформатора и индуктивность кабеля). Гармонические токи, возникающие в результате взаимодействия между ветрогенератором и сетью, могут со временем усиливаться из-за нескольких факторов:

- ветряные электростанции становятся больше, и поэтому сопротивление источника может увеличиться;
- эквивалентная емкость увеличивается из-за использования длинных кабелей сверхвысокого напряжения;
- использование в сети крупных ветроэнергетических трансформаторов;
- использование переключаемых конденсаторов и реакторов в сети;
- увеличение гармонических искажений напряжения с течением времени;
- очень низкие резистивные потери при проектировании объекта для оптимизации выработки электроэнергии.

Все эти факторы вместе представляют собой общее снижение резонансной частоты в областях, где для ее возбуждения существуют гармонические токи сети и ветрогенератора (с 5-го по 15-й порядок гармоник). Кроме того, небольшой гармонический ток может создать высокий уровень искажений напряжения, а низкое последовательное сопротивление может привести к очень высокому коэффициенту увеличения. Наконец, сопротивление источника будет меняться, поскольку ветряная электростанция представляет собой комбинацию многих отдельных ветрогенераторов, что приводит к сдвигу этих резонансных частот в определенном диапазоне по мере подключения и отключения ветрогенератора. Следовательно, выявление и устранение возможных резонансных условий при первоначальном проектировании ветряной электростанции стало очень важным.

Спектр гармонических токов представляет собой проблему, поскольку он может увеличивать уровни гармоник напряжения на многих гармонических и интергармонических частотах и фазовых углах. Иногда разница между расчетными значениями гармоник, использованными при планировании и проектировании, и фактическими значениями, наблюдаемыми в полевых условиях, не становится очевидной до тех пор, пока не возникнут непредвиденные проблемы с гармониками после ввода ветряной электростанции в эксплуатацию. Уровни гармоник в большинстве случаев могут быть нормальными, но в некоторых случаях они могут превышать согласованные стандарты. В этих случаях некоторые или все ветрогенераторы могут автоматически отключиться от работы своих внутренних схем

защиты от гармоник. Желательно по возможности избегать такой операции, поскольку для перезапуска ветрогенераторов требуется ручное вмешательство, что приводит к высоким уровням потерь продукции [11].

Защита от несимметричных КЗ и перегрузок токами обратной последовательности применяется в различных электроустановках для защиты генераторов, трансформаторов, линий и прочего оборудования. В генераторах перегрузка токами обратной последовательности возникает при несимметрии нагрузки, внешних несимметричных КЗ и неполнофазном режиме работы. В микропроцессорных устройствах РЗА используются различные исполнения этой защиты. Существует возможность использовать комбинированные органы: одновременно выставить требуемую уставку на сигнал и на отключение, при этом на отключение задать как интегрально-зависимую характеристику, так и уставку отсечки. Уставку защиты необходимо отстроить от допустимых перегрузок токами обратной последовательности асинхронного генератора.

Использовать алгоритмы релейной защиты синхронных генераторов для ААГ не совсем корректно, не учитывая отличительные особенности ААГ. В асинхронном генераторе, в отличие от синхронного генератора, отсутствует источник постоянного напряжения в обмотке ротора, который поддерживал бы токи КЗ и обусловил бы их жесткую, заранее заданную периодичность. Ударные пики токов КЗ в асинхронном генераторе в сравнении с номинальными амплитудами токов машин имеют примерно в 5 раз меньшую кратность, чем в синхронном генераторе [12]. Поэтому перед тем, как разрабатывать алгоритмы релейной защиты ААГ, необходимо осуществить моделирование переходных аварийных режимов ААГ, произвести анализ полученных результатов и убедиться в возможности и необходимости выполнения той или иной защиты.

Исходя из предоставленной информации можно прийти к выводу, что в настоящее время для своевременного выявления неисправностей в обмотке статора ААГ необходима разработка устройства или комплекса устройств РЗА. Так как при выполнении защит ААГ нет возможности получить питание устройств РЗА от оперативного тока, то реализация предложенных защит возможна в микропроцессорном терминале РЗА с питанием от токовых цепей. Такие терминалы РЗА устроены следующим образом: при подключении трансформаторов тока к аналоговым входам часть мощности, получаемой от трансформаторов тока, используется для измерения защитами, а часть мощности отбирается блоком питания терминала РЗА. Подобные терминалы РЗА в настоящее время применяются на электроподстанциях и распределительных сетях 6–20 кВ без систем оперативного тока. Недостатком такого терминала является работоспособность только при достижении определенной нагрузочной величины по току, однако при перерывах питания данное устройство не срабатывает ложно и не повреждается. Подключение защиты от замыканий на землю, как было указано выше, предлагается к трансформатору тока нулевой последовательности тороидальной формы, который устанавливается на выводах обмотки статора ААГ. Подключение защиты от несимметричных КЗ и перегрузок токами обратной последовательности возможно выполнить присоединением к трансформаторам тока, установленным исходя из представленных вариантов на схемах (рис. 2 и 3). От этих же трансформаторов тока предлагается выполнять питание устройства РЗА.

Помимо выполнения РЗА, существует возможность оснастить терминал функционалом мониторинга состояния параметров ААГ, например: диагностикой выключателя и цепей управления, самодиагностикой устройства, регистрацией событий устройства и защищаемого объекта, учетом выработанной электроэнергии ААГ, удаленным мониторингом состояния устройства с помощью сотовой сети и т. д.

Успешная разработка устройства РЗА ААГ позволит применять более мощные ААГ в удаленных от энергетической системы районах. Появляется возможность не создавать сложные комплексы ветроэлектростанций со сложной инфраструктурой, если нет на то необходимости. Обслуживание устройства РЗА в виде терминала РЗА не предусматривает частого вывода оборудования в ремонт, а сигнализация в терминале РЗА позволяет

отслеживать происходящие неисправности в процессе эксплуатации. Терминал РЗА с функционалом мониторинга позволит отслеживать характеристики ААГ, обеспечить требуемую надежность и быстродействие при авариях и неисправностях, снизятся риски серьезных разрушений ААГ и стоимость ремонта. Осциллографирование при авариях и неисправностях поможет подробнее изучить характерные неисправности ААГ, чтобы в дальнейшем адаптировать защиты к неучтенным особенностям ненормальных режимов. Впрочем, требуется комплексная оценка применения разрабатываемых устройств, они должны не нуждаться в климатических и эксплуатационных условиях отличных от условий, в которых находятся ААГ, а также быть экономически выгодными для установки с быстрой окупаемостью.

### Список использованных источников

1. Усольцев А.А. Электрические машины: учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО. – 2013. – 416 с.
2. Торопцев Н.Д. Асинхронные генераторы для автономных электроэнергетических установок // Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». – М.: НТФ «Энергопрогресс». – 2004. – Вып. 7(67). – 88 с.
3. Богдан А.В., Соболев А.Н. Информационные признаки повреждения обмотки статора для построения релейной защиты автономного асинхронного генератора // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова. – 2017. – Вып. 6. – С. 72–76.
4. Самородов Ю.Н. Риски повреждения турбогенераторов (Часть 1) // Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». – М.: НТФ «Энергопрогресс». – 2011. – Вып. 3(147). – 80 с.
5. Радин В.И., Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины: Асинхронные машины: учебник для электромеханических специальностей вузов / Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высш. шк. – 1988. – 328 с.
6. Соболев А.Н. Андреева А.А. Повреждения статорной обмотки асинхронного генератора // The scientific heritage. – 2022. – №. 84. – С. 58–61.
7. Соболев А.Н. Андреева А.А. Анализ существующих устройств диагностики и защиты автономных асинхронных генераторов ветроэлектрических установок // The scientific heritage. – 2020. – №. 56. – С. 40–44.
8. Соболев А.Н. Андреева А.А. Разработка устройств защиты автономного асинхронного генератора от повреждений в обмотке статора // The scientific heritage. – 2020. – №. 48. – С. 32–35.
9. Пат. RU 2313890 (C1) Российская Федерация, МПК51 Н 02 М 7/08, Н 02 Н 3/28. Устройство для дифференциально-фазной защиты / Богдан А.В., Соболев А.Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет. – № 2006124282; заявл. 06.07.2006; опубл. 27.12.2007, Бюл. №. 36. – 5 с.
10. Пат. RU 66127 (U1) Российская Федерация, МПК51 Н 02 К 11/00, Н 02 Н 7/08. Устройство для дифференциальной защиты асинхронного генератора / Соболев А.Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет. – № 2006147115/22; заявл. 27.12.06; опубл. 27.08.07, Бюл. №. 24. – 4 с.
11. Power System Relaying and Control Committee. Report of Working Group C25 of the System Protection Subcommittee. – 2022. – 75 p.
12. Кицис С.И. Расчеты характеристик асинхронных самовозбуждающихся генераторов: учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2009. – 276 с.

УДК 528.8.04

## **ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АКВАТОРИЙ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ И АЛГОРИТМОВ**

**Емельянова М.А.** (студент, Университет ИТМО), **Кравцов П.А.** (аспирант, Университет ИТМО),  
**Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

*e-mail: platonex@bk.ru*

*В работе представлены результаты аналитического обзора релевантных информационных источников по гиперспектральным системам и алгоритмам, используемым для формирования гиперспектральных изображений в ходе зондирования акваторий. Обсуждаются методы сканирования, оптические системы, процессы формирования изображений. Предложен разработанный алгоритм технологии формирования гиперспектрального изображения.*

**Ключевые слова:** гиперспектральное изображение, гиперкуб, оптический метод, спектральный диапазон, дистанционное зондирование акваторий, беспилотный летательный аппарат, технология.

Акватории являются важными компонентами экосистемы Земли и играют ключевую роль в обеспечении жизни и устойчивого развития человечества. Однако они подвержены различным угрозам, таким как загрязнение, изменение климата, разрушение экосистем и другим антропогенным воздействиям [1]. Помимо этого, изучение акваторий и их состояния представляет существенные трудности из-за их сложной и динамичной природы. В настоящее время возможности оперативного мониторинга водных систем ограничены, и данные о качестве воды и биоразнообразии еще не получили массового распространения и использования специалистами по охране окружающей среды в связи с алгоритмической и аппаратной сложностью. Традиционные методы мониторинга и исследования акваторий не всегда обеспечивают достаточно полную информацию о состоянии их экосистем. В связи с этим, актуальным представляется исследование методов мониторинга состояния акваторий для более эффективного контроля и управления акваториями, а также для принятия мер по сохранению и охране их экосистем.

Гиперспектральная съемка является одной из современных технологий в области дистанционного зондирования Земли [2]. В контексте статьи гиперспектральная съемка представляет собой мощный инструмент для изучения водных поверхностей, поскольку она позволяет получать изображения, содержащие до нескольких сотен узких спектральных каналов, что отличает ее от традиционной мультиспектральной съемки, обычно подразумевающую небольшое количество каналов (более трех). Гиперспектральные изображения в сравнении с мультиспектральными позволяют более точно и детально анализировать оптические свойства и состав водных масс, а также выявлять и исследовать различные физические и биологические процессы, происходящие в акваториях.

Гиперспектральные изображения акваторий могут быть использованы для определения концентрации различных веществ в воде, таких как хлорофилл, органические и неорганические вещества [3–5], а также для идентификации и классификации различных водных объектов, таких как водоросли, коралловые рифы [6–8] и др. Это позволяет более эффективно контролировать и управлять акваториями, а также принимать меры по сохранению и охране их экосистем.

Целью данной статьи является разработка алгоритма технологического процесса по получению гиперспектральных изображений с учетом специфики дистанционного зондирования акваторий. Для достижения цели будут рассмотрены процесс формирования гиперспектрального изображения, принцип построения гиперкуба, а также методы гиперспектрального сканирования и типовые оптические системы гиперспектрального визуализатора.

### **Формирование гиперспектрального изображения**

Гиперспектральные изображения предоставляют не только спектральную характеристику, но и пространственную информацию о каждом пикселе изображения. Это означает, что



каждому пикселю изображения присущ свой спектральный профиль, который определяет интенсивность света в различных спектральных диапазонах; и что пространственное расположение каждого пикселя на изображении дает возможность извлекать информацию о форме, размере и расположении объектов. Полученная таким способом пространственная информация позволяет проводить анализ и классификацию объектов, а также изучать их взаимодействие и динамику. В свою очередь, спектральные характеристики объекта предоставляют информацию о составе и свойствах поверхности Земли. Таким образом, гиперспектральная съемка открывает широкий спектр возможностей для исследований.

Для получения гиперспектральных изображений используют гиперспектральные камеры или визуализаторы на основе схем спектрометров. Гиперспектральный визуализатор представляет собой оптико-электронное устройство, обладающее постоянной частотой кадров и способностью регистрировать спектральную информацию в ходе зондирования.

В гиперспектральных устройствах изображения формируются путем щелевого сканирования местности, при котором регистрируются спектральные характеристики каждого пикселя изображения в виде строки с длиной  $l$ . Схема формирования изображения представлена на рисунке 1. Щелевое сканирование получило свое название из-за использования щелевой структуры в оптической системе камеры [9]. Щелевое сканирование осуществляется следующим образом: оптико-электронная камера с фокусным расстоянием  $f$  и с поперечным углом поля зрения  $2\omega$  устанавливается на некоторой высоте над местностью  $H$  и перемещается вдоль полосы сканирования с определенной скоростью  $v$  вдоль направления полета  $y$ . Поперечный угол зрения камеры (или угол поля зрения) определяет ширину области местности, которую камера может захватить в каждый момент времени. Он измеряется в градусах и определяет угловой размер объектов, которые могут быть видны на изображении. Поперечный угол зрения камеры определяется оптической системой камеры и зависит от фокусного расстояния объектива и размера изображения на фокальной плоскости. Чем меньше фокусное расстояние и/или больше размер изображения, тем больший поперечный угол зрения  $\omega$  камеры. В свою очередь, каждый пиксель строки гиперспектрального изображения может иметь различный поперечный угол поля зрения ( $\Delta\omega$ ), который соответствует углу обзора, охватываемому данным пикселем. Этот угол не только определяет ширину области местности, которую данный пиксель может «увидеть» на изображении, но и зависит от позиции пикселя в строке и оптических характеристик камеры. Поперечный угол поля зрения обычно имеет «большое» значение в центре пикселя строки и уменьшается по мере приближения к краям пикселя – это обусловлено наличием искажений.

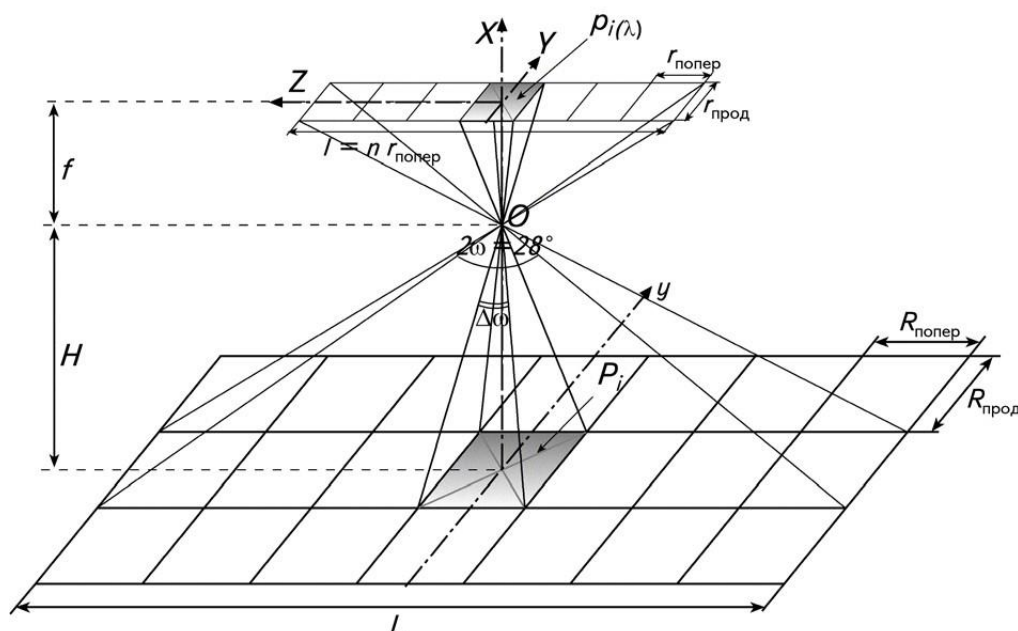


Рис. 1. Схема формирования гиперспектрального изображения на базе гиперспектрального визуализатора [10]

Во время сканирования камера регистрирует спектральные составляющие каждого пикселя строки изображения  $p_{i(\lambda)}$  с фиксированными продольными и поперечными размерами  $r_{\parallel}$  ( $r_{\text{прод}}$ ) и  $r_{\perp}$  ( $r_{\text{попер}}$ ) (рис. 1). Количество пикселей в строке  $n$  так же, как и  $r_{\text{прод}}$ ,  $r_{\text{попер}}$ , определяется физическими характеристиками датчика изображения. Щель позволяет зарегистрировать заданную узкую полосу местности в каждый момент времени. При движении камеры всякая новая полоса местности регистрируется и добавляется к предыдущим результатам сканирования, что приводит к формированию строки гиперспектрального изображения.

На рисунке 1 величина  $L$  представляет ширину полосы местности. Проекция пикселя строки на местность  $P_i$  позволяет установить соответствие между пикселем на изображении и местоположением соответствующей ему области на местности. Продольное разрешение пикселя на местности  $R_{\text{прод}}$  и поперечное разрешение пикселя  $R_{\text{попер}}$  определяют минимальное пространственное разделение между двумя объектами на местности, которые могут быть различены на изображении по горизонтали. Они измеряются в единицах длины (например, в метрах на пиксель) и зависят от физических характеристик камеры (фокусное расстояние объектива и размер датчика изображения). Продольное и поперечное разрешение пикселя на местности связаны с поперечным углом поля зрения камеры и размером пикселя. Чем меньше размер пикселя и/или больше поперечный угол поля зрения, тем выше разрешение пикселя на местности и возможность различения деталей объектов.

После съемки данных гиперспектральный визуализатор формирует гиперкуб, где каждый спектральный канал представлен третьим измерением.

Затем начинается этап обработки данных. Данные обрабатываются и интерпретируются с помощью специализированного программного обеспечения. Используя различные алгоритмы и методы обработки данных для изучения и классификации объектов сканирования, анализа состава и свойств оптических сред.

Как правило, гиперспектральная съемка акваторий осуществляется с определенной высоты, при некоторой скорости и изменениях направления полета носителя. Указанные факторы влияют на формирование гиперспектрального изображения и должны быть учтены при расчете и выборе элементов структуры камеры, а также при разработке алгоритма обработки изображений.

Во-первых, важными факторами, влияющими на разрешающую способность системы, являются параметры съемки: высота полета, скорость и угол наклона камеры. Эти параметры должны быть подобраны таким образом, чтобы они могли обеспечивать желаемое пространственное разрешение.

Во-вторых, искажения, которые могут возникать из-за наклона камеры, вызванного поворотом беспилотного летательного аппарата (далее – БПЛА) вокруг его продольной оси, могут привести к изменению проекции пикселей на местность. Искажения гиперспектрального изображения могут также возникать из-за изменения продольного масштаба строк, связанного с движением БПЛА под углом относительно оси инерции, а также из-за движений БПЛА относительно вертикальной оси и изменений направления движения влево/вправо, обусловленных вращением камеры вокруг оптической оси [11].

В-третьих, важным является обеспечение стабильности параметров съемки, поскольку нестабильность высоты полета, скорости и угла наклона камеры, может приводить к изменениям проекций пикселей на местность.

### **Концепция визуализации гиперспектральных изображений**

Конечная форма представления гиперспектральных изображений – гиперкуб, который состоит из двух пространственных областей, характеризующихся координатами  $x$  и  $y$ , и одной спектральной области, характеризующейся длиной волны  $\lambda$ . То есть данные, образующие трехмерный куб, имеют следующую организацию: первое и второе измерения представляют пространственные координаты (обычно строки и столбцы изображения соответственно), а третье измерение представляет спектральные каналы.

В гиперспектральных данных каждый элемент изображения, представляющий  $I(x, y, \lambda)$ , называется вокселем [12], а в двумерных изображениях с фиксированной длиной волны  $I(x, y)$  – пикселем.

Экосистемы акваторий обладают уникальным химическим составом и физической структурой. По значению коэффициента отражения или поглощения света можно идентифицировать тот или иной объект [13]. Спектральная сигнатура представляет собой набор значений коэффициента отражения или поглощения света для исследуемого материала в зависимости от длины волны, тем самым формируя его уникальные спектральные характеристики.

На рисунке 2 спектральная сигнатура гиперспектральных данных в местоположении  $(X_i, Y_j)$  представляет собой график, показывающий изменение интенсивности света в зависимости от длины волны для конкретного пикселя на изображении.

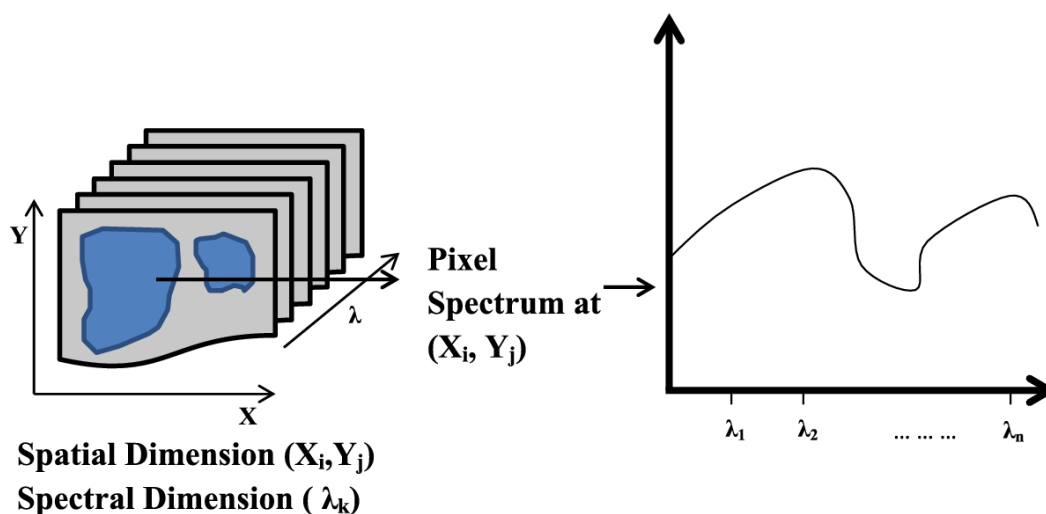


Рис. 2. Концепция визуализации гиперспектральных изображений: представление гиперспектральных данных – слева, спектральная сигнатура в заданной точке  $(X_i, Y_j)$  в заданном диапазоне спектра – справа [14]

Спектральная сигнатура позволяет анализировать спектральные характеристики объектов в конкретном местоположении посредством анализа пиков и локальных минимумов интенсивности света в разных спектральных каналах.

### Методы гиперспектрального сканирования

Получение гиперспектральных данных зависит от механизма сканирования поверхности. Наглядное представление различных методов можно увидеть на рисунке 3.

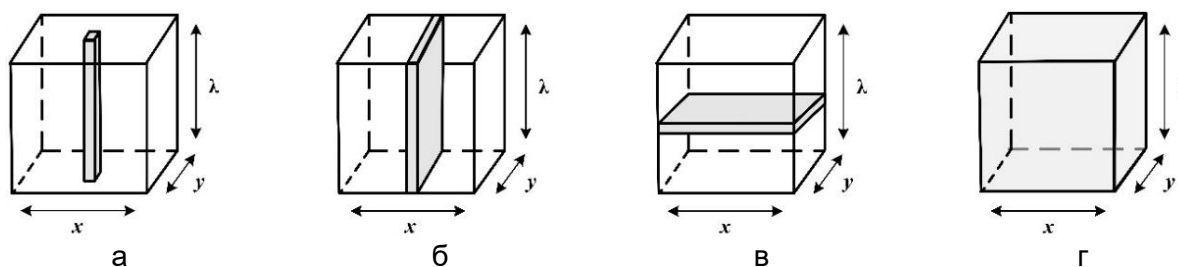


Рис. 3. Методы сканирования поверхности: а) точечное сканирование; б) линейное сканирование; в) сканирование площади; г) одиночный снимок [17]

В методе точечного сканирования используется точечный спектрометр, который измеряет спектральные сигнатуры для каждой отдельной точки в двумерном пространстве. Здесь первоочередным шагом является определение сетки пространственного положения точки, в которой будет производиться измерение спектральных данных. Система в нем поочередно сканирует каждую точку по одной за один проход сканирования, обычно с

помощью механического устройства, которое перемещает датчик или образец. Собранные данные представляются в формате VIP (Band Interleaved by Pixel), где значения пикселей для каждой длины волны (спектрального канала) чередуются. Иными словами, сначала следуют значения всех пикселей для первого спектрального канала, затем – для второго, и т.д. Такая организация данных означает, что данные для каждого пикселя хранятся последовательно вдоль третьего измерения. Точечное сканирование обеспечивает высокую точность и разрешение, но может быть медленным для получения данных на больших площадях поверхности. Однако, эти данные удобны для программной обработки.

Метод линейного сканирования позволяет регистрировать спектральные данные вдоль линии в пространстве. Система сканирует линию путем перемещения датчика или образца вдоль нее. Линейное сканирование позволяет получить данные для больших областей более быстро, чем точечное сканирование, но с некоторой потерей разрешения. Данные конвертируются в формат BIL (Band Interleaved by Line), в котором значения пикселей для каждой длины волны чередуются по строкам. Таким образом, сначала идут значения пикселей для первой строки и первого спектрального канала, затем значения для второй строки и первого канала, и т.д. После этого идут значения для первой строки и второго канала, затем для второй строки и второго канала и т.д. Поскольку формат BIL позволяет представить изображение для каждого спектрального канала отдельно, то он удобен для графической визуализации данных [14].

В методе сканирования площади происходит захват изображения поверхности за одну экспозицию. Размеры (высота и ширина) полученного кадра определяются количеством пикселей на датчике. Данные хранятся в формате BSQ (Band SeQuential) таким образом, что значения пикселей для каждого спектрального канала записываются последовательно вдоль третьего измерения. Данный формат наиболее часто встречаемый, так как широко используется в различных приложениях обработки и анализа гиперспектральных данных, а также в геоинформационных системах и дистанционном зондировании Земли для хранения и передачи данных [15, 16].

Если искать ключевые различия между рассмотренными методами сканирования, то следует отметить, что точечный и линейный методы последовательно фиксируют исследуемую поверхность (ее площадь), но дают цельное представление спектральных данных. В то время как метод сканирования площади исследует поверхность одним кадром, поочередно собирая спектральные данные. Однако существуют системы, способные собирать и спектральную, и пространственную информацию с помощью единственной экспозиции. Их именуют системами одиночного снимка (Snapshot Systems или Single Shot) [18]. Таким образом, если стоит задача исследовать небольшой участок (возможно, на микроуровне), то следует использовать формат VIP. Для изучения же сцены поверхности во всех спектральных диапазонах – BIL и BSQ [19].

#### **Оптические системы гиперспектрального визуализатора**

Как ранее было сказано, гиперкуб состоит из трех измерений. Причем для формирования спектрального изображения существует потребность в блоке спектрального разделения, позволяющего осуществлять фильтрацию по заданной длине волны.

Схематичное представление дисперсионной гиперспектральной визуализации изображено на рисунке 4. Схема включает в себя оптические элементы для формирования изображения, щель для ограничения диаметра падающего света, элементы дисперсионной оптики для разделения света на спектральные компоненты и устранения aberrаций, а также фотодетектор. Эта комбинация составляющих позволяет получать спектральную информацию о каждом пикселе изображения и создавать гиперспектральное изображение объекта.

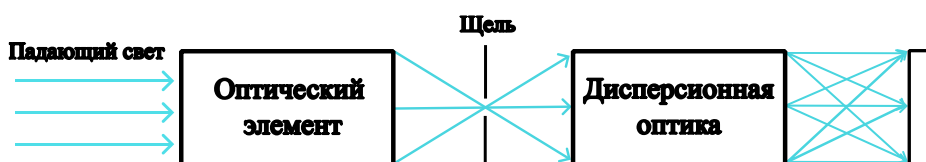


Рис. 4. Схематичное представление гиперспектральной оптической системы

Далее рассмотрим две классические оптические системы, включающие призму и дифракционную решетку. Эти системы являются базовыми диспергирующими элементами, но тем не менее в наши дни они позволяют получать высококачественные гиперспектральные изображения [20, 21].

Призма является одним из старейших и наиболее распространенных компонентов, используемых для отражения и преломления света с целью его разложения на различные спектральные компоненты и получения спектральной информации о каждом пикселе изображения. Дисперсия является следствием изменения показателя преломления от его длины волны при прохождении света через грани призмы. В типовой схеме с призмой (рис. 5) входящий свет от источника фокусируется в плоскости щели.

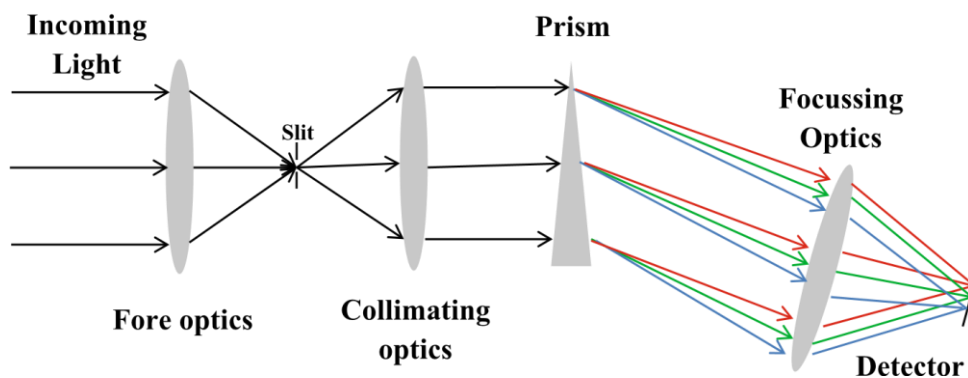


Рис. 5. Схема типичной гиперспектральной оптической системы на основе призмы [14]

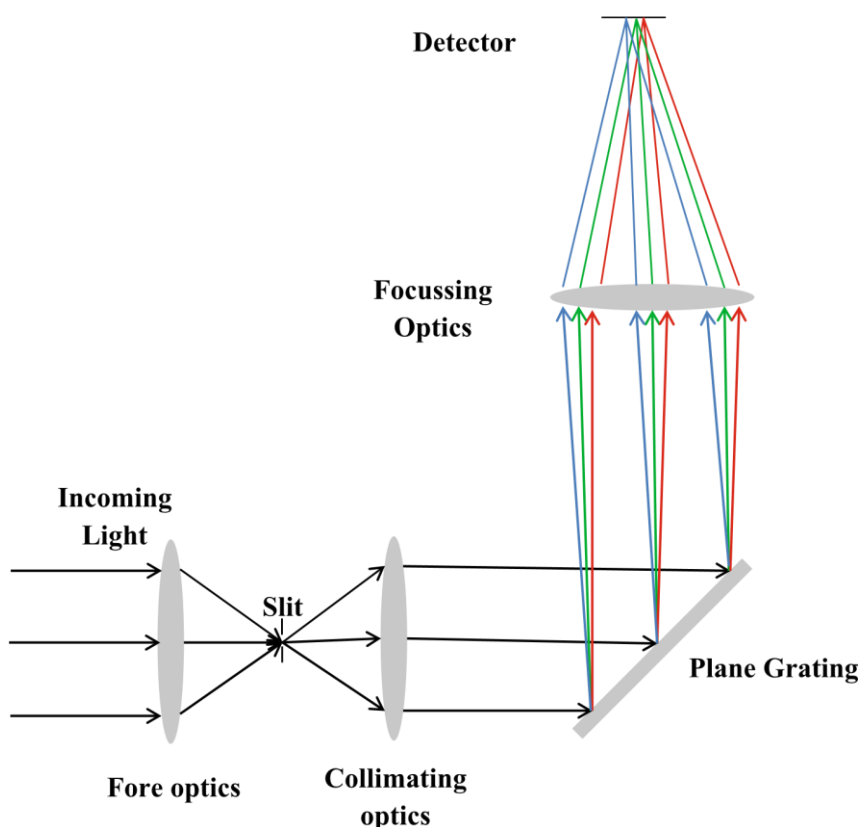


Рис. 6. Схема типичной гиперспектральной оптической системы на основе плоской дифракционной решетки [14]

Затем свет от щели коллимируется и проходит через призму. Преломление света происходит на передней и задней гранях призмы, что приводит к его рассеянию под разными углами и на различные спектральные компоненты. После этого свет фокусируется и попадает на матричный элемент, который регистрирует интенсивность в каждом спектральном канале.

В типовой схеме гиперспектральной системы на основе плоской дифракционной решетки (рис. 6), свет от объекта собирается оптической системой и направляется на решетку. При прохождении через плоскую дифракционную решетку свет распространяется под разными углами в соответствии с принципами дифракции и фокусируется оптическими элементами в плоскости детектора, где спектральные компоненты формируют спектр. Преимуществами такой оптической системы является высокое спектральное разрешение, широкий спектральный диапазон. Однако, она чувствительна к углу падения света и требует точной калибровки для достижения совершенного изготовления дифракционной решетки (в противном случае будет наблюдаться уменьшение спектральной частоты).

Гиперспектральные изображения, получаемые с помощью рассмотренных оптических систем, позволяют исследовать спектральные характеристики воды, что дает возможность осуществлять мониторинг экологического состояния акваторий. Также стоит отметить, что от выбора параметров рассмотренных схем зависит качество получаемых изображений, а следовательно, и алгоритм их обработки.

### Алгоритм формирования гиперспектрального изображения

Далее будет представлен алгоритм, который в общих чертах представляет процесс формирования гиперспектрального изображения и адаптирован для исследования акваторий. Данный алгоритм разработан на основе типового алгоритма формирования гиперспектрального изображения [22]. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 7.

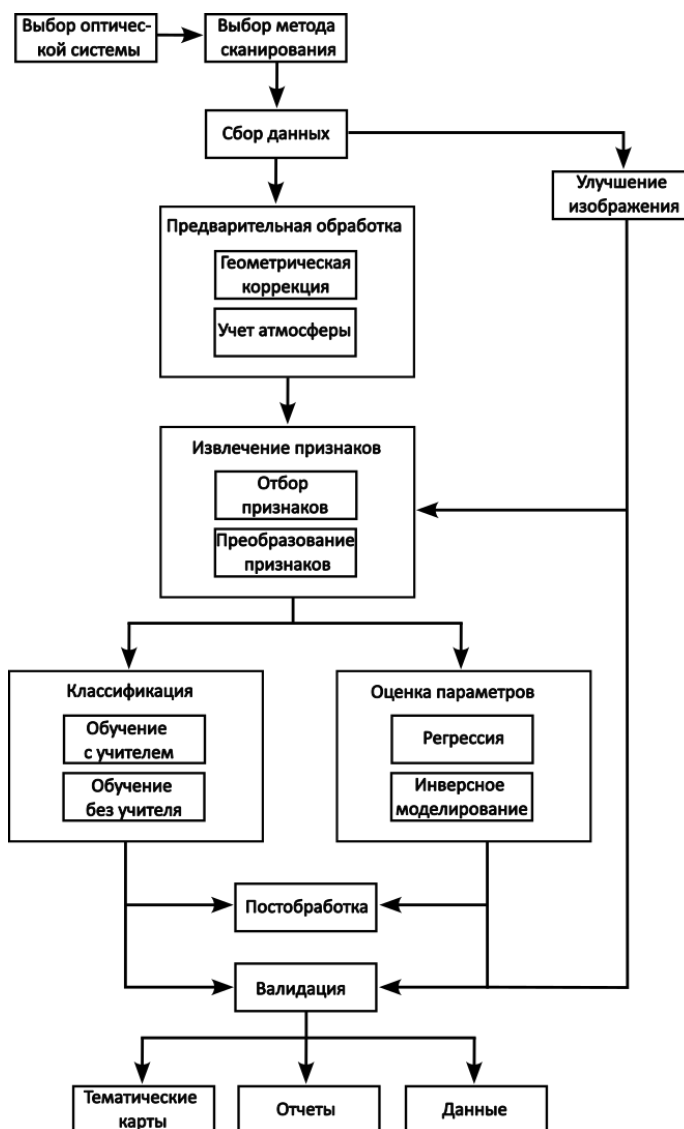


Рис. 7. Блок-схема, описывающая алгоритм получения гиперспектральных изображений с помощью дистанционного зондирования

Мы посчитали необходимым добавить еще два этапа, которые вносят весомый вклад и зависят от специфики объекта исследования: выбор оптической системы и выбор метода сканирования. В случае акваторий могут существовать типовые решения для выбора оптической системы и метода сканирования, учитывающие особенности и требования данной области исследования. Разработанный алгоритм предполагает использование сверточной нейронной сети, широко применяющейся в области обработки изображений и позволяющей эффективно обрабатывать гиперспектральные данные и извлекать характерные признаки объектов. Использование сверточной нейронной сети обусловлено высокой точностью и производительностью при анализе большого объема гиперспектральных данных.

После выбора оптической системы и метода сканирования следует сбор данных в ходе дистанционного зондирования акваторий. Полученные данные подвергаются предварительной обработке, например, геометрической коррекции и учета неоднородности атмосферы с целью увеличения пространственного разрешения изображения. Эти данные также формируют тренировочный набор данных, на основе которого нейронная сеть будет обучаться таким образом, чтобы она могла извлекать и сопоставлять характерные признаки объектов из гиперспектральных данных и использовать их для классификации или оценки параметров акваторий.

Для обучения нейронной сети требуется создание размеченного набора данных, в котором на данных из тренировочной выборки производится извлечение признаков: предварительно задаются правильные классы или значения параметров. Эти размеченные данные служат основой для обучения нейронной сети и позволяют ей извлекать характерные для акваторий признаки.

После определения признаков, свойственных объекту исследования, в зависимости от поставленной задачи можно начать либо этап обучения модели с учителем или без, либо производить оценку параметров. После обучения нейронная сеть может быть использована для предсказания классов или оценки параметров для новых, неизвестных данных. Она будет принимать векторы интенсивности света в качестве входных данных и выдавать соответствующие предсказания. По окончании любого из этапов следует проверка качества обучения модели на тестовой выборке или сравнение полученных параметров с эталонными. В случае необходимости предусмотрен этап постобработки. Если результат обладает необходимым качеством и достоверностью, то можно переходить к заключительному этапу, к формированию отчетности, построению различных визуализаций. В случае, если результат не удовлетворяет, возможны варианты повторного извлечения признаков, видоизменяя их: увеличивая количество признаков или группируя их на более общие. Также возможно повторение этапов, позволяющих улучшить изображения. В случае, если предобработки на имеющихся данных недостаточно, имеется возможность использования ранее незадействованных данных или получение новых. Таким образом, в алгоритме представлены общие этапы, которые формируют процесс создания гиперспектрального изображения.

Подводя итоги статьи, стоит отметить, что процесс создания гиперспектрального изображения посредством целевого сканирования не является тривиальным и имеет свои нюансы. Наиболее полезную информацию в визуализации гиперспектральных измерений объекта предоставляет третье измерение, которое отображает спектральные каналы и, как следствие, позволяет формировать спектральные сигнатуры, являющиеся характеристиками объектов и позволяющие их различать и анализировать. Гиперкуб создается с помощью ранее описанных методов гиперспектрального сканирования (линейный, точечный, сканирование площади или по системе одного снимка) по спектральным характеристикам исследуемых объектов. Рассмотренные типовые оптические системы гиперспектрального визуализатора могут быть использованы для разработки схем дистанционного зондирования акваторий. Кроме того, представленный алгоритм формирования гиперспектрального изображения является основой для нейросетевого подхода к обработке и анализу гиперспектральных данных и позволяет решать различные задачи: классификации, оценки параметров и формирования гиперкубов.

## Список использованных источников

1. Stenger-Kovács C., Béres V.B., Buczkó K. et al. Diatom community response to inland water salinization: a review // *Hydrobiologia* 850. – 2023. – Pp. 4627–4663. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05167-w>.
2. Laignel B., Vignudelli S., Almar R. et al. Observation of the Coastal Areas, Estuaries and Deltas from Space // *Surv Geophys* 44. – 2023. – Pp. 1309–1356. <https://doi.org/10.1007/s10712-022-09757-6>.
3. Gege P. Improving phytoplankton classification from hyperspectral measurements taking the SNR into account // *Ocean Optics XXV Conference*. – 2022. – 9 p.
4. Pahlevan N., Smith B., Binding C., Gurlin D., Li L., Bresciani M., Giardino C. Hyperspectral retrievals of phytoplankton absorption and chlorophyll-a in inland and nearshore coastal waters // *Remote Sens. Environ.* – 2021. – №. 253. – P. 112200.
5. Martinez-Vega B., Leon R., Fabelo H., Ortega S., Callico G.M., Suarez-Vega D., Clavo B. Oxygen Saturation Measurement Using Hyperspectral Imaging Targeting Real-Time Monitoring // *Proceedings of the 2021 24th Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), Palermo, Italy*. 2021. – Pp. 480–487.
6. Zhang H., Ge Y., Xie X. et al. High throughput analysis of leaf chlorophyll content in sorghum using RGB, hyperspectral, and fluorescence imaging and sensor fusion // *Plant Methods* 18. – 2022. <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00892-0>.
7. Vishnu Prasanth B.R., Sivakumar R., Ramaraj M. A Study on Algae Bloom Pigment in the Eutrophic Lake Using Bio-Optical Modelling: Hyperspectral Remote Sensing Approach // *Bull Environ Contam Toxicol* 109. – 2022. – Pp. 962–968. <https://doi.org/10.1007/s00128-022-03511-9>.
8. Lesser M.P., Mobley C.D. Bathymetry, water optical properties, and benthic classification of coral reefs using hyperspectral remote sensing imagery // *Coral Reefs* 26. – 2007. – Pp. 819–829. <https://doi.org/10.1007/s00338-007-0271-5>.
9. Cao Q., Yu G., Qiao Z. Application and recent progress of inland water monitoring using remote sensing techniques // *Environ Monit Assess* 195. – 2023. – №. 125. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10690-9>.
10. Никишин Ю.А. Разработка и исследование методов геометрической коррекции и фотограмметрической обработки материалов воздушной нестабилизированной гиперспектральной съемки // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.34, Москва. 2011. – с. 8.
11. Shipko V.V. Algorithm for Correction of Geometric Distortions of Hyperspectral Images Formed during Angular Oscillations of an Unmanned Aerial Vehicle. *Optoelectron.Instrument.Proc.* – 2023. – №. 59. – Pp. 200–206. <https://doi.org/10.3103/S8756699023020127>.
12. Elmasry G., Kamruzzaman M., Sun D.W., Allen P. Principles and applications of hyperspectral imaging in quality evaluation of agro-food products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2012. – №. 52(11). – Pp. 999–1023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.543495>.
13. Woodgate W., van Gorsel E., Hughes D. et al. THEMS: an automated thermal and hyperspectral proximal sensing system for canopy reflectance, radiance and temperature. *Plant Methods* 16. – 2020. – №. 105. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00646-w>.
14. Lodhi V., Chakravarty D., Mitra P. Hyperspectral Imaging System: Development Aspects and Recent Trends. *Sens Imaging* 20. – 2019. – №. 35. <https://doi.org/10.1007/s11220-019-0257-8>.
15. Vibhute A.D., Kale K.V., Gaikwad S.V. et al. Classification of complex environments using pixel level fusion of satellite data. *Multimed Tools Appl* 79. – 2020. – Pp. 34737–34769. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-08978-4>.
16. Singh R. Remote Sensing and GIS Applications in Soil Conservation. In: *Soil and Water Conservation Structures Design*. Water Science and Technology Library. – 2023. – Vol 123. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-8665-9\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-19-8665-9_13).
17. Lu Y., Huang Y., Lu R. Innovative hyperspectral imaging-based techniques for quality evaluation of fruits and vegetables: A review. *Appl. Sci.* – 2017. – №.7. <https://doi.org/10.3390/app7020189>.
18. Meng Z., Yuan X., Jalali S. Deep Unfolding for Snapshot Compressive Imaging. *Int J Comput Vis* 131. – 2023. – Pp. 2933–2958. <https://doi.org/10.1007/s11263-023-01844-4>.
19. Воробьева А.А. Дистанционное зондирование земли // Учебно-методическое пособие. – Санкт-Петербург. – 2012. – 168 с.
20. Feng J., Fang X.J., Cao X., Ma C.G., Dai Q.H., Zhu H.B., Wang Y.J. Advanced hyperspectral video imaging system using Amici prism. *Opt. Express*. – 2014. – №. 22. – Pp. 19348–19356. DOI:10.1364/OE.22.019348.
21. Borguet B., Moreau V., Renotte E., Lousberg G., Vandoolaeghe R., Di Paola R., Maresi L. The dual-blazed diffraction grating of the CHIME Hyperspectral instrument: design, modelling and breadboarding // *Proc. SPIE ICSO 2022*. DOI:10.1117/12.2689988.
22. Campbell J.B., Wynne R.H. *Introduction to Remote Sensing*; Guilford Press: New York, NY, USA. – 2011. – 662 p.



УДК 004.09

## **ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ МОЗГ-КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА ИНТЕГРАЦИЮ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ**

**Игнатченко Д.А.** (студент, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова),

**Логунова Т.В.** (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова),

**Щербакова Л.В.** (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Логунова Т.В.** (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

*e-mail: 712b08@voentmeh.ru*

*Одним из наиболее актуальных направлений, внедряемых на стыке науки и технологии, является МКИ (мозг-компьютерный интерфейс). Рассматриваемая технология позволяет человеческому мозгу непосредственно взаимодействовать с компьютерными системами. Для обеспечения наиболее продуктивного использования Brain-Computer Interface (BCI) необходимо проанализировать эффективность ее внедрения в различные отрасли посредством анализа как результатов интеграции, так и этических аспектов применения МКИ.*

**Ключевые слова:** *BCI, мозг-компьютерный интерфейс, МКИ, Brain-Computer Interface, интерфейс мозг-компьютер, ИМК, эффективность взаимодействия мозга и электронных устройств, этические аспекты применения BCI.*

Использование мозг-компьютерных интерфейсов (МКИ) может привести к изменению способа взаимодействия пользователя с техникой и сделать возможным устранение или минимизацию ранее считавшихся неизлечимыми недугов. МКИ представляет собой альтернативную связь между мозгом и компьютерами, заменяющую собой традиционный пользовательский интерфейс, работающий посредством взаимодействия периферийных устройств, программного и аппаратного обеспечения. МКИ предоставляет уникальную возможность внедрения результатов научных исследований и технологических инноваций для расширения и приобретения возможностей и/или улучшения качества жизни. Brain-Computer Interface (BCI) уже нашли свое применение во внедрении данной технологии в медицинскую сферу в ряде таких процедур как управление протезами и аппаратами для реабилитации [1]. Мозг-компьютерные интерфейсы также используются в исследованиях нейрологии и психологии [2].

Существует несколько компаний, работающих в области BCI. Одним из флагманов является компания Neuralink, которая первая успешно провела тестирование разработанного инвазивного интерфейса на приматах и получила разрешение на тестирование своей технологии на людях [3]. Neuralink стремится создать мозг-компьютерные интерфейсы для лечения неврологических заболеваний, восстановления утраченных функций и улучшения когнитивных способностей человека, а также для обогащения человеческого опыта и установления интерфейсов для взаимодействия с машинами и искусственным интеллектом.

Еще одной компанией, занимающейся BCI, является Kernel. Она специализируется на разработке и продаже устройств для изучения сложной мозговой активности, лежащей в основе нейробиологических функций, таких как возбуждение, эмоции, внимание, память и обучение [2]. Собранные данные будут способствовать более глубокому исследованию мозга и его функций, расширяя наши знания в этой области.

CTRL-Labs также работает в этой области и разрабатывает технологию, которая может переводить мозговые сигналы в движения на экране, даже если пользователь сам физически не двигается. Данный стартап был приобретен [4] компанией Meta (ранее Facebook) в 2019 году, но официальная информация о дальнейшей деятельности по данному направлению отсутствует.

BrainCo разработал устройство под названием "Focus 1", предназначенное для мониторинга и улучшения концентрации и внимания студентов и учащихся [5]. Устройство использует BCI-технологии для анализа электроэнцефалограммы, на основе которого предоставляет обратную связь. Это позволяет регулировать внимание обучающихся в режиме реального времени, тем

самым улучшая когнитивные способности пользователей, оценивая мозговую деятельность в процессе использования. Также устройство адаптируется к индивидуальным потребностям человека, что приводит к более продуктивному взаимодействию пользователя и интерфейса.

Компания Emotiv специализируется на разработке устройств и алгоритмов машинного обучения, которые преобразуют мозговые волны в цифровые сигналы [6]. Эти сигналы можно использовать для контроля и управления различными устройствами и системами, позволяя эксплуатировать все приборы, подключенные к единой системе.

BrainGate предлагает новый подход к неинвазивным ВСИ, предполагающий использование беспроводных технологий [1]. Это устройство позволяет людям, утратившим мобильность, восстанавливать ряд функций, взаимодействуя с используемой аппаратурой не физически, а посредством воздействия мозговых импульсов, что открывает новые возможности для использования подобных систем.

Разработчики ВСИ активно работают над усовершенствованием технологий и их внедрением в различные сферы жизни. При анализе деятельности компаний, занимающихся разработкой МКИ, были выделены ключевые продукты, на которые они ориентированные. Данные исследования приведены в таблице.

**Таблица. Компании в области ВСИ и их деятельность [1, 2, 5, 6, 7]**

<b>Компания</b>	<b>Основной вид деятельности</b>	<b>Продукт</b>
Neuralink	Разработка имплантов и интерфейсов для мозга	инвазивный нейроинтерфейс, Neuralink
Kernel	Разработка технологий для медицинских исследований	Шлем Flow и Flux
CTRL-Labs	Создание интерфейсов для взаимодействия с виртуальной реальностью и управления компьютерами с помощью мозговой активности	Браслет, который крепится на руку и позволяющий считывать сигналы мозга
BrainCo	Разработка ВСИ для образования и тренировки мозга	Устройство Focus 1, предназначено для мониторинга и улучшения концентрации и внимания студентов и учащихся
Emotiv	Создание ВСИ-гарнитур для различных приложений	Устройство мысленного управления играми и приложениями с помощью ВСИ
BrainGate	Разработка ВСИ-систем для восстановления мобильности и коммуникации	Система управления протезами с помощью импульсов мозга

Рассматривая возможности использования МКИ, были выделены многообещающие направления [8] для внедрения данной технологии. Это может позволить в перспективе применять МКИ для расширения человеческих возможностей:

- ВСИ используются для восстановления функционирования поврежденных после инсультов и тяжелых травм головного мозга конечностей, улучшая двигательные навыки и речь пациентов;
- ВСИ используются для изучения активности мозга в научных исследованиях в области нейрологии, психологии и нейробиологии, и полученные данные могут применяться для разработки новых способов лечения неврологических заболеваний, а также могут привести к более глубокому пониманию механизмов работы мозга и его связи с физиологическими и психологическими процессами [9];
- в области компьютерных технологий применение ВСИ позволит обеспечить наиболее интуитивное и реалистичное взаимодействие с программами и приложениями виртуальной реальности;
- внедрение технологии ВСИ в управление компьютерами и другими устройствами предоставит возможность взаимодействовать с ними посредством мозговой активности любым пользователям, в первую очередь, людям с физическими ограничениями [10];

- в сфере образования ВСИ-технологии могут использоваться для ускорения усвоения материала и повышения концентрации, помогая обучающимся [11];
- технология ВСИ может обеспечить средства связи для людей, которые не имеют возможности взаимодействовать привычными методами связи из-за физических ограничений [10];
- ВСИ могут использоваться в искусстве и развлечениях для создания интерактивных искусственных инсталляций и выступлений (например, выставки с погружением в виртуальное пространство).

Как видно из проведенного исследования, ВСИ становится все более важной частью современных технологий, и его внедрение открывает новые перспективы для интеграции науки и технологии. Однако вместе с ростом интереса к МКИ, исследователями анализируются и важные этические вопросы [12]:

1. Как обеспечить гарантию того, что пользователи ВСИ будут обладать всей полнотой информации о том, как их мозговая активность будет использоваться, и как обеспечить возможность осознанного выбора относительно эксплуатации технологии?
2. Как сделать технологии ВСИ более доступными, чтобы избежать неравенства доступа к ним на основе финансовых возможностей или других факторов?
3. Как оценить влияние технологии МКИ на функционирование мозга подопытных и пользователей или развитие побочных психологических эффектов?

В настоящее время не выявлено однозначного ответа на поставленные вопросы. При внедрении технологии МКИ необходимо учесть эмоциональные и психологические аспекты ее использования и предложить решения для предотвращения возможных рисков.

Разработка и использование ВСИ предоставляет возможность улучшения качества жизни, расширения человеческих возможностей и решения множества глобальных проблем. Однако важно также уделять внимание этическим и правовым аспектам этой технологии, чтобы обеспечить ее безопасное и ответственное использование.

#### Список использованных источников

1. Официальный сайт BrainGate. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.braingate.org/> (дата обращения: 23.09.2023).
2. Официальный сайт Kernel. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kernel.com/> (дата обращения: 23.09.2023).
3. Ashley Capoot [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cnn.com/2023/05/25/elon-musks-neuralink-gets-fda-approval-for-in-human-study.html> (дата обращения: 23.09.2023).
4. Юшков М. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.rbc.ru/technology\\_and\\_media/24/09/2019/5d89790b9a794723446ab660](https://www.rbc.ru/technology_and_media/24/09/2019/5d89790b9a794723446ab660) (дата обращения: 23.09.2023).
5. Официальный сайт BrainCo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brainco.tech/> (дата обращения: 23.09.2023).
6. Официальный сайт Emotiv. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emotiv.com/> (дата обращения: 23.09.2023).
7. Официальный сайт Neuralink. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neuralink.com/> (дата обращения: 23.09.2023).
8. Кардонов Ю.С. Области применения нейротехнологий в реальном секторе экономики // Инновации и инвестиции. – 2020. – №. 8. – С. 191–193.
9. Christoph Guger, Marc Sebastián-Romagosa, Woosang Cho, Tim Von Oertzen, Kyousuke Kamada, Brendan Z. Allison, Rupert Ortner. How Can We Train The Brain To Help Stroke Patients? // Frontiers For Young Minds. – 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2021.613374> (дата обращения: 23.09.2023).
10. Лебедев М.А. Интерфейс мозг–компьютер: будущее в настоящем // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2016. – №. 2. – С. 4–16.
11. Никитин М. Применение нейрокомпьютерных интерфейсов стандарта ВСИ для оценки когнитивных способностей сотрудников в системе критериев Hard & Soft Skills // Директор по безопасности. – 2020. – №. 9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.s-director.ru/magazine/archive/viewnumber/2020/9.html> (дата обращения: 23.09.2023).
12. Portillo-Lara R., Tahirbegi B., Chapman C.A.R., Goding J.A., Green R.A. Mind the gap. State-of-the-art technologies and applications for EEG-based brain–computer interfaces // APL Bioeng. – 2021. – №. 5. <https://doi.org/10.1063/5.0047237>.

УДК 528.8.04

## **РАЗРАБОТКА ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ**

**Кравцов П.А.** (аспирант, Университет ИТМО), **Емельянова М.А.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

*e-mail: platonex@bk.ru*

*В работе рассмотрены вопросы разработки и проектирования гиперспектральных комплексов с автоматической системой обработки и анализа данных с применением нейросетей и метода фотограмметрии. Представлены результаты создания алгоритмов обнаружения зон интереса и построения карт высот. Предложено использовать геопривязку зарегистрированных гиперспектральных изображений для повышения точности формирования фотограмметрической модели и определения пространственных координат объекта поиска.*

**Ключевые слова:** гиперспектральный анализ, гиперкуб, дистанционное зондирование, фотограмметрия, сверточная нейросеть.

Развитие технологий гиперспектрального анализа привело к расширению областей применения компактных устройств на основе этих технологий. На сегодняшний день малогабаритные камеры, способные получать данные об объекте в различных спектральных диапазонах, широко применяются в таких областях как, геологоразведка, аграрная промышленность, картография [1–5]. Съёмка интересующей местности может вестись как с использованием космического зондирования, так и с беспилотных или пилотируемых летательных аппаратов с относительно небольшой высоты. Как правило, работа устройства ведётся с большим количеством данных.

При космическом гиперспектральном зондировании один снимок представляет собой куб из сотни спектральных каналов, для обработки, сшивки и интерпретации которых предъявляются высокие системные требования к аппаратной части, а передача таких данных в необработанном виде в наземные станции сильно повышают требования к каналам связи [1, 3]. При съёмке с небольших высот, например, для решения задач аграрной промышленности также наличие большого количества снимков (даже при малом количестве спектральных каналов) может приводить к техническим сложностям при обработке данных для поиска зоны интереса (например, засушливых участков) [2, 4].

Использование нейросетей позволяет сформировать процесс автоматической обработки данных, полученных с гиперспектральных камер, а использование в подобных комплексах дополнительных технологий, таких как фотограмметрия, позволяет увеличить точность сшивки изображений при создании гиперкуба, создавать карту высот и вносить правки при обработке информации в автоматическом режиме [4, 5].

Одной из важнейших задач развития гиперспектральной технологии на сегодняшний день является нахождение методики и алгоритмов автоматической обработки полученных данных до их передачи на наземную станцию. На основании этого целью данного исследования является развитие вопросов проектирования гиперспектральных комплексов с системой автоматической обработки данных на основе нейросетей.

### **Обработка данных и поиск зоны интереса**

Нахождение зоны интереса есть основная цель гиперспектрального зондирования. В зависимости от области применения задают основные спектры, в которых должен определяться объект. Так, например, при зондировании аграрных полей, зоной интереса могут являться засушливые области кукурузного поля или заражённые тлей участки. Также можно определить общее состояние и ход развития растений.

Для определения здоровья растений или целых культур на больших участках существует показатель, под названием NDVI (Normalized difference vegetation index, Нормализованный вегетационный индекс) — это числовой показатель качества и количества культуры на участке поля. Нормальным ходом развития растения считается значение NDVI в пределах от 0,3 до 0,5. Он зависит от того, как растения отражают и поглощают световые волны разной длины.

Например, растения в большинстве случаев отражают излучение в зеленом, иногда в синем диапазонах спектра благодаря наличию пигмента хлорофилла и его отражательной способности в диапазоне 447–520 нм. Хлорофилл поглощает волны красной области спектра, за счёт чего происходит фотосинтез. Обнаружение на гиперспектральных изображениях областей с индексом  $NDVI = 0,38$  (рис. 1) показывает, что растение на данном участке поля нормально растёт и развивается.

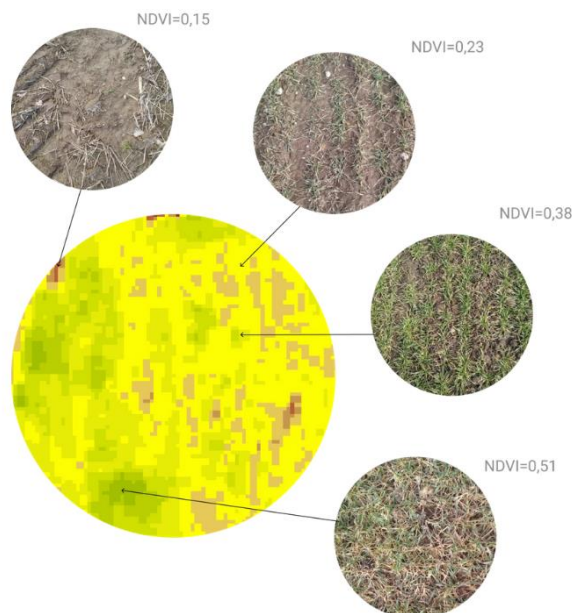


Рис. 1. Соотношение NDVI и реального состояния растения

В зависимости от количества зон интереса и спектральных диапазонов, в которых определяются заданные объекты, в аппаратную часть комплекса закладываются соответствующие параметры, фильтры с конкретными спектральными диапазонами, диспергирующие призмы и т.д. в соответствии со устройством аппаратной части.

Данные гиперспектральной визуализации представляют собой гиперкуб, состоящий из двумерных изображений, полученных при сканировании объектов.

Для создания системы автоматической обработки данных, полученных с аппаратной части комплекса, и классификации гиперспектральных снимков используется метод извлечения признаков на основе глубокого обучения.

Например, при гиперспектральном анализе зон роста растительных культур используются следующие типы нейросетей: сверточная, вероятностная, по методу k-ближайшего соседа, поддержка по опорным векторам [7].

В последнее время набирают популярность свёрточные нейронные сети благодаря их высокой производительности отбора зон интереса при обработке гиперспектральных данных.

В частности, свёрточные нейронные сети успешно используются для решения задач по оперативной обработке данных, полученных при сканировании наземных объектов с управляемых и беспилотных носителей: для сшивки изображений в составе гиперспектрального куба, интеллектуального поиска зоны интереса без участия человека, выделения и упаковки данных с информацией о зоне интереса [2, 3].

Предварительное обучение сверточной сети и формирование классов объектов с определёнными признаками зон интереса выполняются на основе данных, полученных в процессе первичного сканирования для анализа образов тех объектов, или группы объектов, которые могут являться зоной интереса для данной отрасли исследования [8].

Перед введением в эксплуатацию комплекса и началом обработки первичных данных с камеры нейросеть обучается на тестовых объектах.

Одна из важных задач нейросети – распознать зону интереса и указать на неё, таким образом уменьшить объем хранимой или передаваемой информации, а также минимизировать человеческий труд.

### **Анализ гиперспектральных данных на основе метода фотограмметрии**

Использование приемов фотограмметрии может обеспечить следующие расширения возможностей гиперспектральной системы [9, 10]:

1. Дополнение контура зоны интереса для более точного обнаружения объекта.
2. Расчёт площади зоны интереса как на горизонтальных, так и на наклонных участках.
3. Уточнение положения опорных точек для дальнейшей интерпретации данных.

При сканировании неоднородных по высоте поверхностей, например, при создании карт местности, иногда важно понимать, какие перепады высот на данной местности существуют, что позволяет увеличить точность поиска зоны интереса и получить расширенные и дополненные данные о сканируемой местности.

Для определения координат исследуемого объекта строится карта высот с географическими координатами. Например, определив засушливую область каких-либо культур посредством гиперспектрального анализа, можно также определить величину роста или область опадания растений, что увеличит точность определение границ зоны интереса.

Также, при решении задачи обнаружения областей, потенциально подверженных затоплению, реализуется на основе анализа карты высот данной местности. При этом индикатором критического заводнения полей является снижение уровня высоты на данном участке. При необходимости вычислить площадь зоны интереса возможно независимо от рельефа поверхности.

Обязательным условием для оперативного распознавания данных, полученных с аппаратной части комплекса, является реализация алгоритма и программного продукта на его основе, созданного непосредственно для данного комплекса, что позволит работать без подстройки к параметрам системы в режиме реального времени.

При использовании фотограмметрии для обработки изображений с гиперспектральной камеры была разработана трёхмерная карта высот, представленная на рисунке 2.

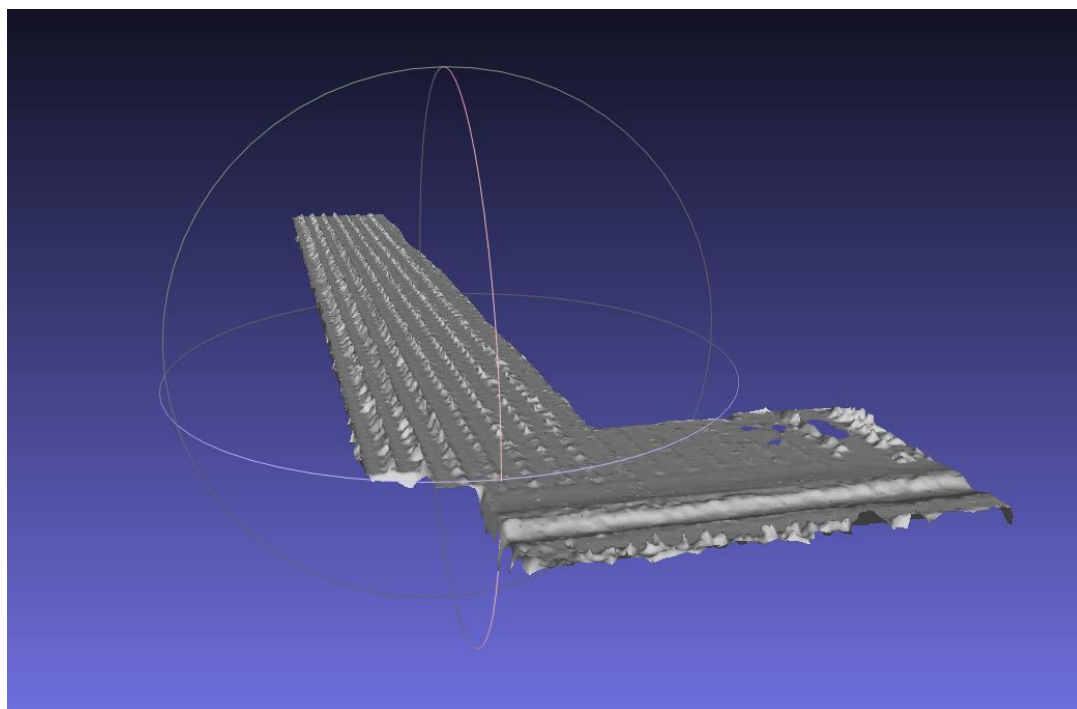


Рис. 2. Формирование 3D модели карты высот до наложения данных гиперспектрального анализа

На полученную карту накладываются данные гиперспектральной съёмки с учётом местоположения опорных точек. В результате формируется карта высот со слоями гиперкуба (рис. 3).

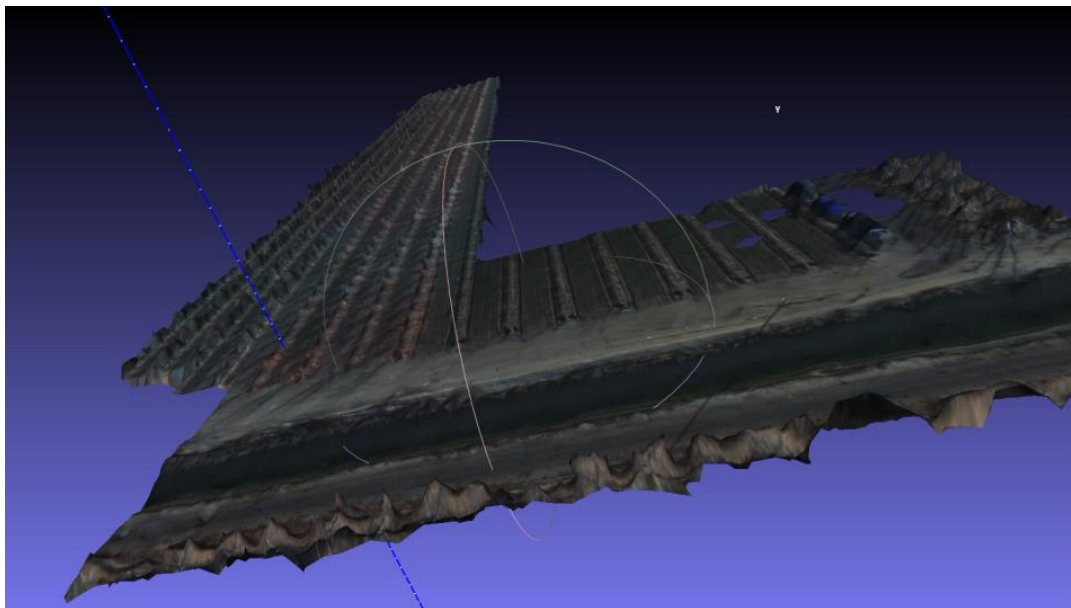


Рис. 3. 3D модель карты высот с наложенным спектральным слоем

Таким образом, в рамках инициативного НИОКРа была проведена работа по поиску и созданию алгоритмов нахождения зон интереса, построена карта высот с использованием нейросетей и технологии фотограмметрии, выполнена привязка полученных данных к геопозиции.

Важным параметром для повышения точности построения фотограмметрической модели карты высот и определения его пространственных координат является наличие информации о геопозиции. Во многом точность определения параметров карты высот такой модели зависит также от качества исполнения аппаратной части системы, например погрешность расположения объективов камеры.

В ходе выполнения работы были выявлены задачи для дальнейшего развития системы программно-аппаратного комплекса. В дальнейшем планируется развитие свёрточной нейросети для полностью автоматической сшивки гиперспектральных изображений и подавления шумов в режиме реального времени.

### Список использованных источников

1. Рыбников П.А., Бузина Д.А. Использование мультиспектральных и гиперспектральных данных авиационных и космических аппаратов для изучения горнопромышленных территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – №. 11-1. – С. 55–70. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_55.
2. Phuong D. Dao, Jianguai Liu, Yuhong He and Jiali Shang. Recent Advances of Hyperspectral Imaging Technology and Applications in Agriculture – 2020.
3. Бочаров А.В. Оценка современного состояния внутреннего водоема на основе методов дистанционного зондирования на примере Иваньковского водохранилища: дис. канд. геог. наук: 25.00.36. – 2022. – 139 с.
4. Farrell M.D., Mersereau R.M. On the impact of PCA dimension reduction for hyperspectral detection of difficult targets. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2005. – С. 192–195.
5. Артюшенко М.В. Методы фрактального анализа данных и управление аэрокосмическими гиперспектральным геомониторингом: дис. канд. физ.-мат. наук: 05.07.12. – 2015. – 333 с.
6. Что такое индекс NDVI и как он делает жизнь фермера проще. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.onesoil.ai/ru/what-is-ndvi> (дата обращения: 20.10.2023).
7. Аббасов И.Б., Дешмух Р.Р. Распознавание изображений сельскохозяйственных культур, растений и лесных массивов // Известия ЮФУ. - Ростов-на-Дону: 2020. – С. 202–212.
8. Мухин А.В., Грибанов Д.Н., Парингер Р.А. Применение нейросетевых алгоритмов для решения задачи семантической сегментации гиперспектральных данных // Информационные технологии и нанотехнологии. – 2022. – С. 1–2.
9. Щербин Г.А. Макет многоцелевой космической гиперспектральной камеры дистанционного зондирования природных экосистем: дис. канд. физ.-мат. наук: 05.07.12. – 2018. – 143 с.
10. Комиссаров А.В., Дедкова В.В. Анализ методик создания макетных снимков для проверки точности фотограмметрических построений // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2021. – Т. 26. – №. 2. – С. 47–55.

УДК 004.021

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Краснов Д.И. (студент, Университет ИТМО)

Научный руководитель: к.т.н., доцент Гусев А.А. (Университет ИТМО)

e-mail: dmitriy\_krasnov@outlook.com

*В данной работе приведено исследование качества работы известных алгоритмов в задаче сегментации малых объектов на сложном фоне. Для исследования использованы четыре архитектуры сверточных нейронных сетей, реализованные с помощью библиотеки Keras: UNet, DeepLabV3, PSPNet и RefineNet. Данные нейронные сети обучены на выборке, составленной из двух наборов изображений с беспилотными летательными аппаратами, самолетами и вертолетами на фоне облачного неба и городской инфраструктуры.*

**Ключевые слова:** семантическая сегментация, обработка изображений, сверточная нейронная сеть, малоразмерный объект, аугментация.

Задача сегментации малоразмерных объектов возникает при сегментации маленьких клеток в анализе биомедицинских изображений или при сегментации летательных аппаратов в системах безопасности. Малые объекты содержат в себе небольшое количество информации, а различные помехи, шумы и посторонние объекты (облака, границы раздела и объекты городской инфраструктуры) усложняют ее выделение. Для решения этой задачи в работах [1–4] предлагается использовать камеру в ближнем инфракрасном диапазоне (ИК), анализируя последовательность кадров с использованием алгоритма вычитания фона или блоков долгой краткосрочной памяти. В работах [5–6] используются архитектуры детекторов YOLO и R-CNN для сегментации малых объектов городской инфраструктуры, однако точность работы таких детекторов может оказаться неудовлетворительной.

Целью данной работы является проверка четырех архитектур сверточных нейронных сетей в задаче сегментации малых летающих объектов (дронов, самолетов и вертолетов) на изображениях видимого диапазона при неблагоприятных внешних условиях. Полученные оценки могут использоваться для выбора наиболее подходящей архитектуры в конкретной задаче при условии ее дальнейшего совершенствования.

**Материалы и методы.** Для исследования выбраны следующие архитектуры: RefineNet [7], PSPNet [8], DeepLabV3 [9] и UNet [10]. Для первых трех в качестве базовой архитектуры извлечения признаков использовалась ResNet50, для UNet использовалась стандартная архитектура энкодер-декодер. В качестве обучающих данных использовались два набора изображений, которые были объединены в один для того, чтобы избежать эффекта переобучения. Первый набор данных – Purdue UAV Dataset [11]. В данном наборе содержатся 50 видеофайлов с беспилотными летательными аппаратами, снятыми во время полета в разрешении 1920x1080. Эти видеофайлы были покадрово преобразованы в изображения, затем каждое изображение разделено на 9 перекрывающихся областей, для каждой из которых созданы маски, содержащие 0 на пикселах фона и 1 на пикселах объекта. Второй набор данных [12] содержит в себе видеофайлы с самолетами, вертолетами и дронами в разрешении 640x512. Видеофайлы были покадрово преобразованы в изображения, к которым были созданы маски аналогично описанному выше принципу (рис. 1).

Итоговый набор данных содержит 64352 изображения с соответствующими масками. Эти данные разделены на обучающую и валидационную выборки в соотношении 4 к 1. Обучение моделей производилось с помощью NVidia Tesla P100 16Gb на платформе Kaggle со следующими параметрами:

- размер пакета 4;
- количество эпох 50;
- количество пакетов за эпоху 1000;
- входная размерность 512x512;
- оптимизатор Adam;
- функция потерь focal loss [13].





Рис. 1. Пример обучающих данных

В качестве тестовых данных использовались 39 изображений, собранных и размеченных вручную с помощью Label Studio. Ввиду небольшого количества изображений было решено провести аугментацию тестовых данных для моделирования неблагоприятных внешних условий. Аугментация проводилась с помощью библиотеки `Imgaug` тремя различными способами (рис. 2). Первый вид аугментации – аффинные преобразования: вертикальное отражение, горизонтальное отражение, поворот на 45 градусов, поворот на минус 45 градусов. Второй вид аугментации – моделирование погодных условий: дождь, снег, туман, закатка. Третий вид аугментации – моделирование помех, вызванных неисправностью или неправильной настройкой камеры: размытие, смазывание, шумы.

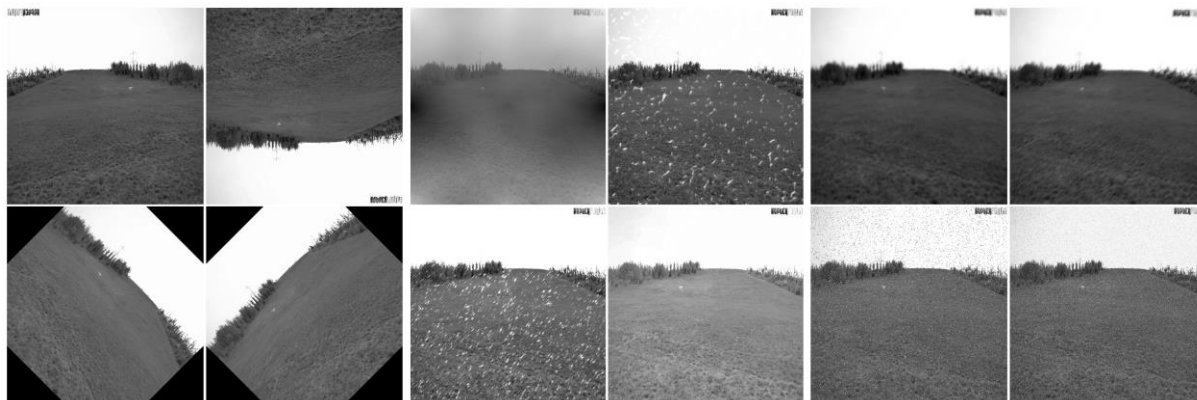


Рис. 2. Примеры аугментированных изображений

**Результаты.** Для реальной оценки обученных моделей на аугментированных тестовых изображениях использовались следующие метрики с порогом 0,7: точность, полнота, F-мера, мера Жаккарда или Intersection-over-Union (IoU). Кроме того, были построены ROC-кривые и Precision-Recall кривые (PR-кривые) для каждого вида аугментации и оценены площади под ними (AUC ROC и Average Precision). Поскольку в данной задаче ярко выражен дисбаланс классов (пикселей объекта намного меньше пикселей фона), то лучшее представление результатов тестирования достигается при использовании описанных выше метрик.

Как видно из анализа Precision-Recall кривых на рисунке 3, на исходных тестовых данных лучший результат показала архитектура UNet. Можно заметить, что наиболее сильное влияние на результат тестирования оказала аугментация аффинными преобразованиями, в то время как аугментация моделированием погоды и помех камеры оказали меньшее влияние. При этом архитектура UNet оказалась наиболее устойчива к моделированию внешних условий.

Остальные метрики, описанные выше, усреднены по всем видам аугментации и представлены для каждой модели в таблице.

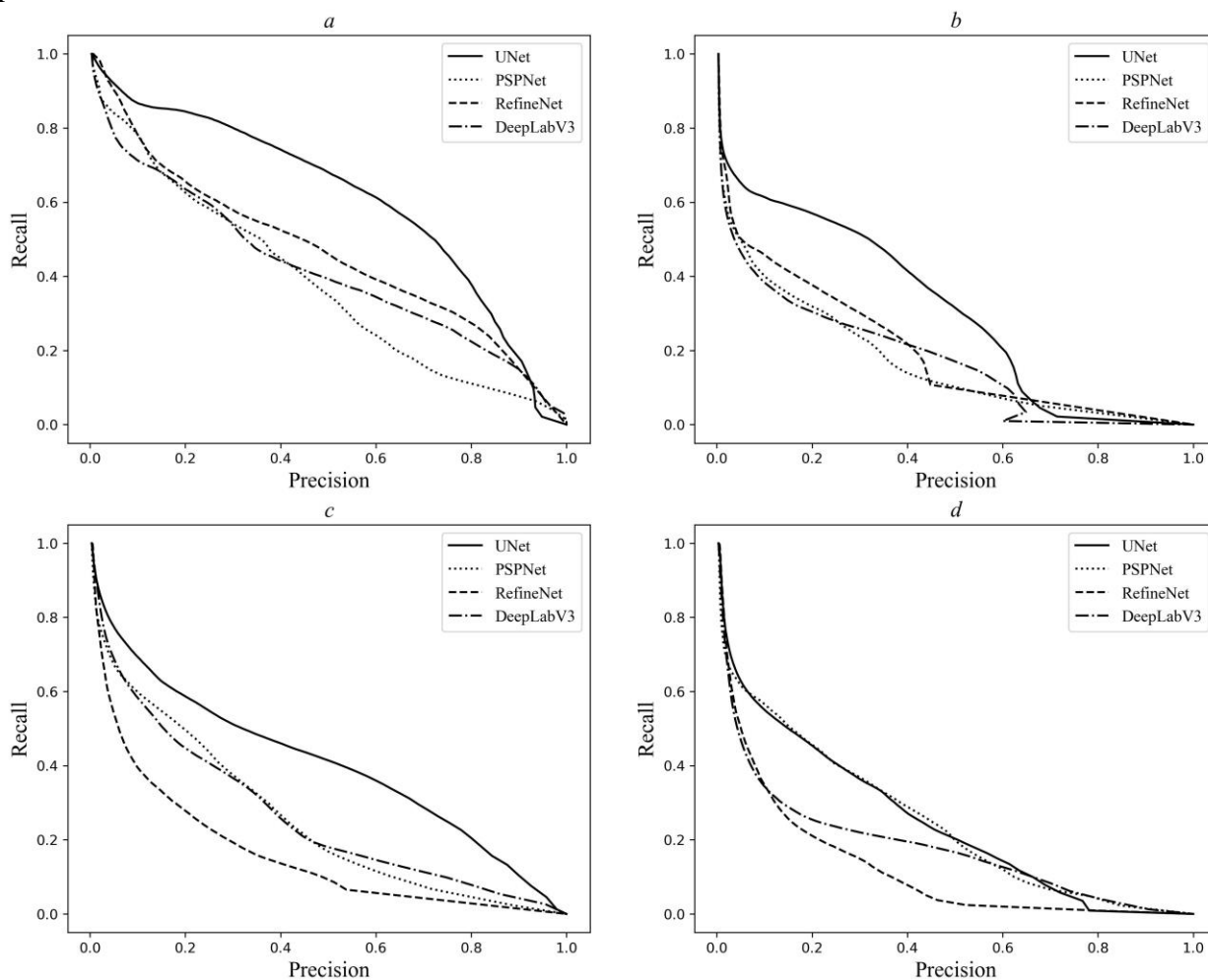


Рис. 3. PR-кривые для различных видов аугментации: а) без аугментации; б) аффинные преобразования; в) моделирование погоды; д) моделирование неисправности камеры

Таблица. Результаты тестирования моделей сегментации

Модель	Метрики, %					
	ROC AUC	AP	Точность	Полнота	F-мера	IoU
UNet	91,36	39,06	71,85	23,63	32,01	20,38
DeepLabV3	88,25	25,92	78,95	9,61	16,21	9,21
RefineNet	90,57	22,41	35,11	27,64	27,21	16,47
PSPNet	87,07	26,32	70,70	8,41	14,57	8,00

В результате проделанной работы были проанализированы и реализованы четыре архитектуры сверточных нейронных сетей для задачи сегментации. Результаты тестирования показали, что модели неудовлетворительно решают задачу сегментации малоразмерных объектов на сложном фоне (F-мера менее 32%, AP менее 40% и IoU менее 21%), а также имеют слабую устойчивость к внешним факторам. При этом лучшие результаты показала архитектура UNet, разработанная для сегментации биомедицинских изображений.

Повысить точность работы моделей в задаче сегментации малоразмерных объектов можно с помощью их усложнения: добавления дополнительных блоков, использование более высокого разрешения карты признаков на выходе ResNet и использование весов для каждого канала, что позволит подавить менее информативные и усилить более информативные. Снизить негативное влияние внешних условий можно путем использования аугментации изображений во время обучения модели. В настоящее время прорабатываются различные варианты усовершенствования архитектуры для повышения точности в данной задаче.

### Список использованных источников

1. Stojnić V., Risojević V., Muštra M., Jovanović V., Filipi J., Kezić N., Babić Z. A Method for Detection of Small Moving Objects in UAV Videos // *Remote Sensing*. – 2021. – V. 13. – T. 4. – P. 653. <https://doi.org/10.3390/rs13040653>.
2. Liu X., Li X., Li L., Su X., Chen F. Dim and Small Target Detection in Multi-Frame Sequence Using Bi-Conv-LSTM and 3D-Conv Structure // *IEEE Access*. – 2021. – V. 9. – Pp. 135845–135855. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110395>.
3. Lin T.-Y., Dollár P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. Feature Pyramid Networks for Object Detection // *arXiv.org*. – 2017. – arXiv: 1612.03144.
4. Betti A. A Lightweight and Accurate YOLO-like Network for Small Target Detection in Aerial Imagery // *arXiv.org*. – 2022. – arXiv: 2204.02325.
5. Coluccia A., Fascista A., Schumann A., Sommer L., Dimou A., Zarpalas D., Méndez M., de la Iglesia D., González I., Mercier J.-P., Gagné G., Mitra A., Rajashekar S. Drone vs. Bird Detection: Deep Learning Algorithms and Results from a Grand Challenge // *Sensors*. – 2021. – V. 21. – P. 2824. <https://doi.org/10.3390/s21082824>.
6. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // *arXiv.org*. – 2015. – arXiv: 1512.03385.
7. Lin G., Milan A., Shen C., Reid I. RefineNet: Multi-Path Refinement Networks for High-Resolution Semantic Segmentation // *arXiv.org*. – 2016. – arXiv:1611.06612.
8. Zhao H., Shi J., Qi X., Wang X., Jia J. Pyramid Scene Parsing Network // *arXiv.org*. – 2017. – arXiv: 1612.01105.
9. Chen L.-C., Papandreou G., Schroff F., Adam H. Rethinking Atrous Convolution for Semantic Image Segmentation // *arXiv.org*. – 2017. – arXiv: 1706.05587.
10. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 2015)*. – 2015. – V. 9351. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4-28>.
11. Ashraf M., Sultani W., Shah M. Dogfight: Detecting Drones from Drones Videos // *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. – 2021. – Pp. 7063–7072. <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00699>.
12. Svanström F., Englund C., Alonso-Fernandez F. Real-Time Drone Detection and Tracking With Visible, Thermal and Acoustic Sensors // *arXiv.org*. – 2020. – arXiv: 2007.07396.
13. Lin T.-Y., Goyal P., Girshick R., He K., Dollár P. Focal Loss for Dense Object Detection // *arXiv.org*. – 2017. – arXiv: 1708.02002.

УДК 331.548

## **ПОВЫШЕНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И МОТИВАЦИИ СТАРШЕКЛАССНИКОВ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЕЙМИФИКАЦИИ ПРОФОРИЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Смирнов Р.В.** (студент, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)

**Научный руководитель: к.с.н., доцент Тагиров А.Р.** (Университет ИТМО)

*e-mail: smirnov101.23@gmail.com*

*В статье представлены результаты исследования актуальных вопросов профориентационной востребованности нефтегазовой отрасли у молодежи. Выдвинута гипотеза о возможности разработки и использования в отрасли нового инструментария (информационного продукта) с целью повышения познавательной активности и мотивации молодежи к трудоустройству в нефтегазовой отрасли. Апробация продукта и впервые предложенная квалиметрическая оценка эффективности метода геймификации в профориентации позволили сделать выводы о востребованности, потенциально значимом экономическом эффекте и получении теоретических и практических результатов.*

**Ключевые слова:** *информационный продукт, геймификация, профориентация, нефтегазовая отрасль, рекрутмент, Python.*

В настоящее время, стратегически важная для экономики России и динамично развивающаяся нефтегазовая отрасль испытывает прогрессирующий дефицит специалистов, о чем свидетельствуют, в т. ч. актуальные данные рекрутинговых компаний. Так, согласно исследованию интернет-рекрутмента HeadHunter: 62% хозяйствующих субъектов испытывают сложности в подборе персонала, а количество вакансий за 2022 год увеличилось на 92% по сравнению с 2021 годом [1]. Среди трудностей при поиске и подборе специалистов работодатели отмечают: низкий уровень подготовки специалистов – 56%, недостаток специалистов на рынке – 53%, отсутствие интереса к отрасли у молодежи – 13%. Сложившийся негативный тренд, по мнению специалистов отрасли по подбору кадров, обусловлен отсутствием эффективных инструментов профориентации и, как следствие, отсутствием познавательной активности и мотивации всех категорий молодежи к профессиональной самореализации в нефтегазовой отрасли.

Для факторного анализа проблем рекрутмента в нефтегазовой отрасли автором в период апреля-мая 2023 года был проведен экспресс-опрос среди учащихся и студентов средних образовательных учреждений, которые находятся в процессе профессионального самоопределения и выбора профиля обучения в высшем или среднем специализированном образовательном учреждении и сферы дальнейшего трудоустройства и профессиональной карьеры, выбранных как наиболее подходящих в качестве целевой аудитории для проведения профориентационных и мотивирующих мероприятий. В анкетированном опросе приняло участие более 120 учеников и студентов различных образовательных учреждений Санкт-Петербурга. Респондентам предлагалось ответить на вопросы, отражающие степень их информированности об актуальных процессах в отрасли, готовность к дальнейшему трудоустройству в ней, достаточность и доступность, по их мнению, инструментов вовлечения и мотивации к профессиональной реализации в нефтегазовой отрасли в настоящий момент. Аргументированные результаты основного вопроса об отсутствии интереса к нефтегазовой отрасли представлены в виде диаграммы (рис. 1). Большинство респондентов отметили неактуальность и бесперспективность отрасли, что в условиях текущего революционного развития, всеобщей цифровизации и перемен в отрасли свидетельствует о слабой информированности о процессах в ней, что и отмечают более 53% опрошенных.

Это коррелирует с ответами на другие вопросы: свыше 63% опрошенных не знают о текущем дефиците специалистов, 60% о активном внедрении в отрасль современных технологических решений, 52% пугают тяжелые условия труда на производствах. Кроме того, автором отмечается, что более 77% опрошиваемых уверены, что не рассматривают отрасль в

качестве профессиональной реализации из-за недостаточности информации и представления о ней среди опрашиваемых, а 85% считают, что необходим информационный ресурс, способный эффективно информировать молодежь о востребованных в нефтегазовом секторе профессиях и происходящих процессах.

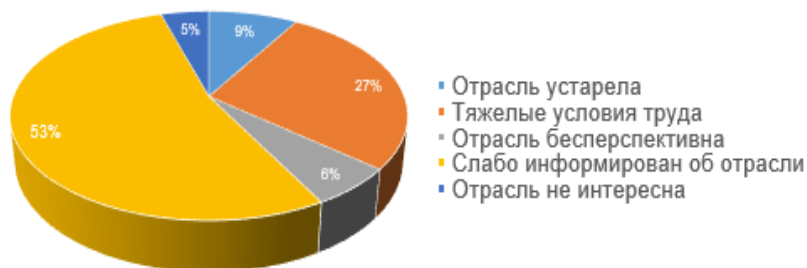


Рис. 1. Диаграмма результатов опроса старшеклассников в 2023 г. о причинах незаинтересованности трудоустройства в нефтегазовой отрасли

Выполненный анализ доступных информационных ресурсов и источников в исследуемой области, результатов опроса, позволил сделать вывод об актуальности темы исследования, сформулировать существующую проблему и выдвинуть гипотезу о возможности разработки и использования в отрасли нового инструментария (информационного продукта) с целью повышения познавательной активности и мотивации молодежи к трудоустройству в нефтегазовой отрасли.

Автором исследования предлагается непрерывный процесс организации профориентационных мероприятий с использованием передового метода геймификации, являющийся предметом актуальных исследований во многих сферах науки и экономики. Геймификация – инновационный инструмент, подразумевающий внедрение элементов игры в неигровые процессы для повышения вовлеченности целевой аудитории. В некоторых исследованиях отмечается, что применение геймификации в профориентационных процессах позволит добиться двух важных целей: повысить увлекательность и вовлеченность участников в процесс [2], повысить мотивацию на обучение и развитие профессиональных навыков, сохраняя низкий уровень стрессовой нагрузки [3]. Повышение вовлеченности пользователей происходит за счет таких преимуществ метода геймификации как: система прогресса, соревновательный элемент, поэтапное выполнение задач, воссоздание реальной или приближенной к реальности обстановки при решении профессиональных задач.

В качестве информационного продукта автор разработал и предлагает уникальную компьютерную видеоигру. Решая различные тематические задания, сопровождаемые информационными сообщениями и указаниями, пользователь в формате игры знакомится с рядом задач, которые стоят перед специалистами отрасли. В продукте с некоторыми упрощениями и условностями смоделирована ситуация освоения нового лицензионного участка, представлены этапы от разведки месторождения и анализа керна, до дистрибуции добытых углеводородов. На протяжении всего профориентационного процесса пользователя сопровождают обучающие материалы, а система прогресса формирует понимание взаимосвязанности и преемственности процессов, а также мотивирует на продолжение изучения, задания формируют навык работы с информацией.

Продукт создан с использованием универсального языка программирования Python и применением набора модулей языка Pygame, также при разработке использовались актуальные нейросетевые технологии. Например, используя общедоступный инструмент работы с визуальным контентом (изображениями) Midjourney, были созданы все элементы игры, окружающие пользователя – изображение в меню, знаки валюты и нефтепродуктов, модели построек, оборудования и окружающих объектов. Для получения практически значимых результатов изменения заинтересованности отраслью конкретных потребителей продукта (пользователей) он прошел апробацию на респондентах опроса, после чего некоторые вопросы

были заданы повторно. Это позволило впервые получить квалитметрическую оценку эффективности применения метода геймификации в профориентации, а также предлагаемого цифрового инструмента достижения цели исследования.

Согласно результатам, 62% опрошенных задумались о карьере в нефтегазовой отрасли, 14% изъявили желание работать и 79% изменили отношение к отрасли. Кроме того, участники опроса отмечали удобство получения информации и обучения в игровом формате. С информационным продуктом и результатами его апробации были ознакомлены специалисты компаний нефтегазового сектора и научно-педагогическое сообщество, которые отметили высокую востребованность продукта в условиях кадрового дефицита, новизну предлагаемых решений, научную теоретическую и практическую значимость [4].

Для определения, экономического эффекта от внедрения продукта в профориентационные мероприятия нефтегазовой отрасли с рядом условностей и упрощений автором был разработан и предлагается следующий способ оценки:

$$f = ((k * c) / o) * (p / e),$$

где  $f$  – экономический эффект,  $k$  – среднее количество выпускников высших учебных заведений в год,  $c$  – средняя величина (в процентах) выпускников, заинтересованных в трудоустройстве в нефтегазовой отрасли после прохождения профориентационных мероприятий,  $o$  – число задействованных в нефтегазовой отрасли специалистов,  $p$  – прибыль отрасли в год,  $e$  – величина, определяющая насколько эффективнее, выполняет свои обязанности мотивированный сотрудник. Выполненные автором на основании экспериментальных данных апробации мультипликативного метода оперативные расчеты позволили предположить, что потенциально ожидаемый экономический эффект для отрасли при реализации продукта в ближайший финансовый год может составить свыше 3,5 млрд. рублей.

Разработка и последующая реализация в нефтегазовой отрасли вновь созданных в процессе выполненного впервые в данных смежных областях знаний научного исследования информационного продукта, аппарата оценки его экономического эффекта, а также полученная квалитметрическая оценка эффективности метода геймификации в профориентационных процессах позволяют сделать вывод о полезности и перспективности полученных в процессе исследования значимых результатов для дальнейшего масштабирования и использования в социальных группах, хозяйствующих субъектах, отраслях экономики с получением существенного экономического эффекта.

### Список использованных источников

1. HR-вызовы в нефтегазовой отрасли: новая реальность рынка труда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hh.ru/article/30889>, свободный (дата обращения: 05.05.2023).
2. Гимельштейн Е.А., Годван Д.Ф. Геймификация в профориентации школьников // Бизнес образование в экономике знаний. – 2020. – №. 1. – С. 12–14.
3. Яковлева Е.В., Гольцова Н.В. Игровые механики геймификации в профориентации и профессиональном самоопределении детей разных возрастных групп в системе образования // Вестник череповецкого государственного университета. – 2022. – №. 1. – С. 188–199.
4. Протокол №1 заседания экспертной комиссии конференции «Школьное научное общество» от 20 мая 2023 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.gubkin.ru/info/enrollee/admission\\_board/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%20%D0%A8%D0%9D%D0%9E\\_20052023.pdf](https://www.gubkin.ru/info/enrollee/admission_board/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%20%D0%A8%D0%9D%D0%9E_20052023.pdf), свободный (дата обращения: 05.10.2023).

УДК 004.89

## A CATBOOST-BASED APPROACH FOR HIGH-ACCURACY BOTNET DETECTION

**Hajjouz A.** (PhD student, ITMO University)

**Научный руководитель: Associate professor, Candidate of Pedagogical Sciences Avksentieva E.**  
(ITMO University)

*e-mail: abdukkaderhajjouz@gmail.com*

*The increasing frequency of botnet attacks on networks is a growing concern for online safety. Networks hijacked by malevolent actors can launch harmful actions, such as distributed denial of service assaults and unauthorized data access. In our research, we present a technique for identifying these botnets through the CatBoostClassifier. By examining network traffic for anomalous behaviors, our model effectively pinpoints possible botnet intrusions. Using the CTU-13 dataset, our system reached a remarkable accuracy of 99.8699%, highlighting the effectiveness of our strategy. This study provides crucial insights into detecting botnet invasions and proposes a solid method for bolstering network defenses.*

**Keywords:** botnet detection, CatBoost Classifier, cybersecurity, machine learning, network security, CTU-13 Dataset, feature selection, intrusion detection, model optimization, classification metrics.

The surge in network botnet attacks underlines the pressing need for superior detection strategies. With botnets being networks of hijacked devices, they are capable of launching harmful actions like Distributed Denial of Service (DoS) attacks and illicit data retrieval. This research leverages machine learning, emphasizing the CatBoostClassifier, to spot such botnet actions using the CTU-13 dataset. The core inquiry revolves around the effectiveness of machine learning in botnet detection and how CatBoost fares in comparison to other models.

### Related Work

Past research offers multiple perspectives on botnet detection:

- feature Selection: Safitri et al. highlighted the importance of selecting the right features for optimal botnet detection, emphasizing that excessive features could hinder accuracy;
- botnet Types: Moorthy provided insights into diverse botnet types and their detection methodologies, flagging certain shortcomings like slow packet classification;
- comparative Analysis: Gong et al. contrasted machine learning algorithms and found some (like LightGBM) outperforming others;
- DDoS Detection: Ahmed proposed a model focusing on DDoS attacks, achieving commendable accuracy;
- ensemble Approaches: Arshad et al. amalgamated machine and deep learning techniques, registering an impressive 99,7% accuracy on the CTU-13 dataset.

### Dataset

The CTU-13 dataset, developed by the Czech Technical University, was chosen for its realistic mix of network traffic - both malicious (botnet attacks) and benign. With 58 features, the dataset has 53,314 benign samples and 38,898 botnet traffic samples, promising balanced model training.

Table 1. Number of samples and network traffic in CTU dataset

Dataset	TrafficType	Number of Samples Remaining
CTU	Benign	53314
	Botnet	38898

### Features and Selection Techniques:

Recognizing the paramount of feature selection, correlations were assessed using the Spearman rank-order, visualized via a heatmap. Hierarchical clustering, based on the Ward linkage method  $\Delta v = \frac{|c_k||c_l|}{|c_k|+|c_l|}d(c_k, c_l)^2$ , was employed to understand the hierarchy of features. A select 25 features, after rigorous filtration, were deemed ideal for model training.

Table 2. Selected features

0	Flow Duration	7	Bwd Pkt Len Min	14	Bwd PSH Flags	21	Down/Up Ratio
1	Tot Fwd Pkts	8	Bwd Pkt Len Mean	15	Bwd Header Len	22	Init Bwd Win Byts
2	Tot Bwd Pkts	9	Flow Byts/s	16	Fwd Pkts/s	23	Active Mean
3	TotLen Fwd Pkts	10	Flow Pkts/s	17	FIN Flag Cnt	24	Active Std
4	TotLen Bwd Pkts	11	Flow IAT Std	18	SYN Flag Cnt		
5	Fwd Pkt Len Min	12	Flow IAT Min	19	RST Flag Cnt		

### Model Development and Optimization Using CatBoost for Botnet Detection:

In our quest to develop a robust botnet detection model, we adopted a systematic method for data preprocessing and segregation. We smartly split the dataset into training and holdout groups, using stratified sampling based on the classes. This ensured that the class distributions remained consistent across the subsets, with 80% designated for training and the remaining 20% set aside for holdout. This holdout was then further bisected, creating evaluation and test subsets, each making up 10% of the total dataset.

During the preprocessing phase, we converted categorical data into a format more amenable to machine learning algorithms. With the help of the `getdum` function from the Pandas library, we performed one-hot encoding on the training, evaluation, and test datasets.

To manage our data effectively, we used the `Pool` function from the CatBoost library, setting up dedicated pools for training, evaluation, and testing purposes. This setup is key for optimizing CatBoost's data handling abilities.

For the model setup, we harnessed the power of the 'CatBoostClassifier', fine-tuning its hyperparameters to our needs. We chose 'Logloss' as our loss function and prioritized 'Recall' as the main metric to enhance the detection of true positives. We also tinkered with the class weights to address any potential class imbalances. To keep track of the training progress, we set the verbosity parameter to true.

We trained the CatBoost model using the training pool and validated it using the evaluation pool. Finally, we optimized the model to 671 iterations, ensuring it was neither overfitting nor underfitting, and thus, would perform reliably on novel data.

### Results and Discussion

The CatBoost Classifier delivered outstanding results for botnet detection. A thorough review shows the model's exceptional ability to identify botnet intrusions. Its performance metrics provide a clear picture of its capabilities in differentiating between regular traffic and botnet activities. The model achieved an AUC value of 0,998597, reflecting its near-perfect classification skills. The Average Precision Score of 0,997784 further emphasizes its accuracy. Both Class 0 (normal traffic) and Class 1 (botnet traffic) displayed high precision, recall, and F1-score values, with Class 1 showing a balanced classification. The model's overall accuracy was approximately 99,8699%, proving its high efficiency.

Table 3. Result analysis

	Precision	Recall	F1-Score	Support
<b>Benign</b>	0,998501	0,999250	0,998875	5332
<b>Botnet</b>	0,998971	0,997943	0,998457	3890
<b>accuracy</b>			0,998699	9222
<b>macro avg</b>	0,998736	0,998597	0,998666	9222
<b>weighted avg</b>	0,998699	0,998699	0,998699	9222



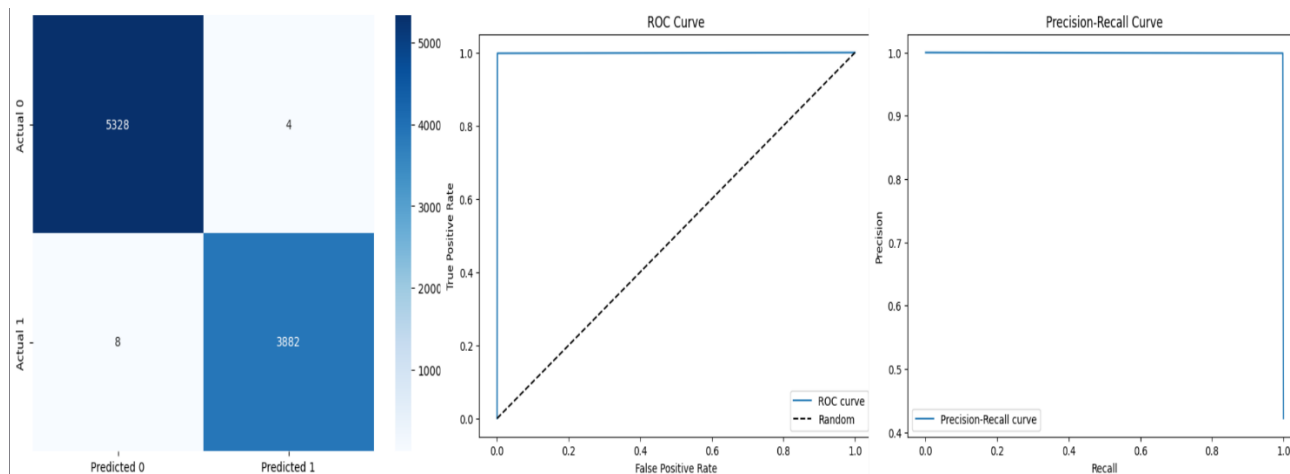


Fig. 1. Confusion Matrix, ROC Curve, Precision-Recall Curve

Table 4. Comparison our result with other studies

Ref	Year	Technique	accuracy
[1]	2022	DT	0,980000
[2]	2023	DT	0,920000
[3]	2023	KNN	0,960000
[4]	2023	Multilayer perceptron	0,980000
[5]	2023	KDR	0,997000
Our study	2023	CatBoost	0,998699

We utilized the CatBoost Classifier to ascertain the significance of each network attribute in detecting botnet activities by employing the model's feature importance attribute. This attribute calculates a score for each feature, indicating its contribution to the model's prediction accuracy. These scores were arranged in descending order to discern the most to least crucial features. A bar chart was plotted to visually represent the relative importance of each feature, guiding future focus and application.

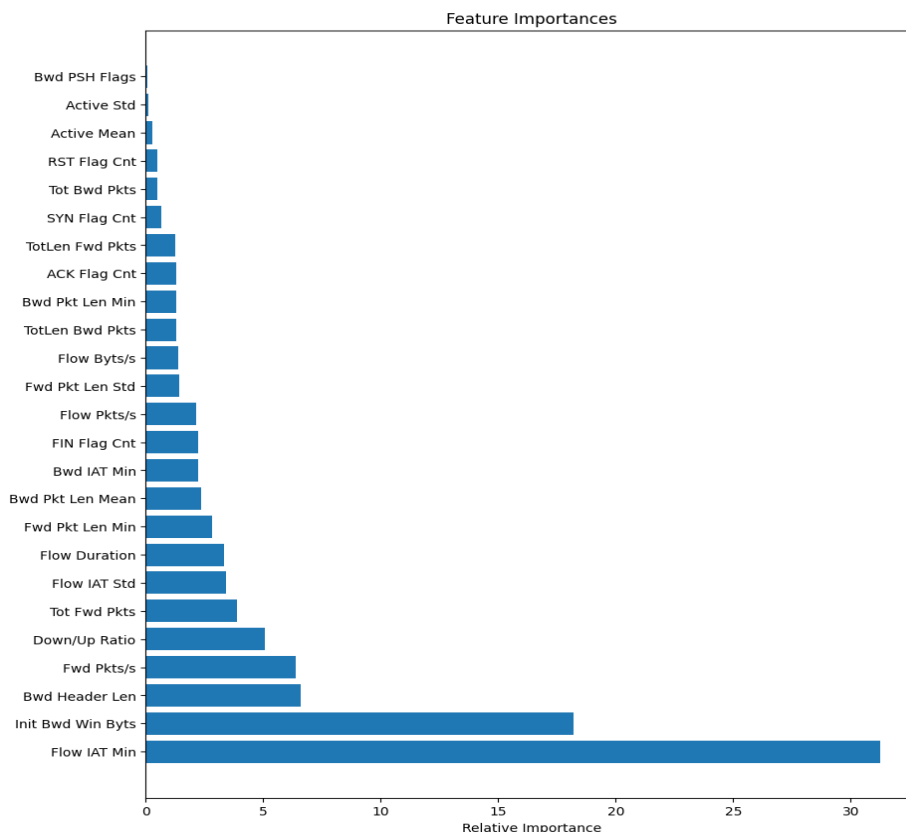


Fig. 2. Feature Importance

In our research, we employed a CatBoost-driven strategy aimed at fortifying defenses against botnet intrusions. The CTU-13 dataset, a recognized standard in network security, served as our evaluation ground. With CatBoost's capabilities, our technique achieved a commendable accuracy rate of 99,8699%, standing tall alongside contemporary best practices in botnet detection.

As the horizon of data analytics and machine learning broadens, the potential for enhancing both accuracy and processing speed grows. Going forward, a pivotal area of exploration will be devising sophisticated data balancing and feature extraction methods. Such advancements will focus on meticulously examining extensive datasets, pinpointing and addressing disparities and irregularities, ultimately enriching the quality of the input data.

## References

1. Safitri W.A., Ahmad T., Hostiadi D.P. Analyzing Machine Learning-based Feature Selection for Botnet Detection // 2022 1st International Conference on Information System & Information Technology (ICISIT). – 2022. – Pp. 386–391.
2. Moorthy R.S.S., Nathiya N. Botnet detection using artificial intelligence // Procedia Computer Science. – 2023. – №. 218. – Pp. 1405–1413.
3. Gong D., Liu Y. A Machine Learning Approach for Botnet Detection Using LightGBM // 2022 3rd International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning & International Conference on Computer Engineering and Applications (CVIDL & ICCEA). – 2022. – Pp. 829–833.
4. Ahmed S., Khan Z.A., Mohsin S.M., Latif S., Aslam S., Mujlid H., Najam Z. Effective and Efficient DDoS Attack Detection Using Deep Learning Algorithm, Multi-Layer Perceptron // Future Internet. – 2023. – №. 15(2). – P. 76.
5. Arshad A., Jabeen M., Ubaid S., Raza A., Abualigah L., Aldiabat K., Jia H. A novel ensemble method for enhancing Internet of Things device security against botnet attacks // Decision Analytics Journal. – 2023. – P. 100307.

УДК 535.361

## **МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ ИЗОБРАЖАЮЩИХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ МОНИТОРИНГА МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ**

**Хлынов Р.Д.** (аспирант, Университет ИТМО), **Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

*e-mail: ruslan384ruslan3@gmail.com*

*В работе рассмотрены теоретические аспекты методов калибровки поляриметров. Определены перспективы и возможности реализации представленных методов калибровки поляризационных систем, используемых в биологии и медицине. На основе сравнительного анализа методов калибровки предложен метод калибровки портативного Стокс-поляриметра для медицинского применения.*

**Ключевые слова:** приборная матрица, матрица Мюллера, поляризация, калибровка поляриметра, портативная система, вектор Стокса.

В настоящее время одной из главных задач мирового медицинского сообщества совместно со всемирной организацией здравоохранения является снижение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний. В их основе лежат патологические изменения параметров крови, в частности такого параметра как гематокрит. Мониторингу гематокрита крови уделяется особое внимание, так как заблаговременное обнаружение его отклонений от нормы позволяет поставить ранний диагноз развития сердечно-сосудистых заболеваний у человека [1, 2]. Для ранней постановки диагноза необходимо развивать бесконтактные, доступные для оперативной реализации методы количественной оценки состояния крови. Наиболее востребованными представляются неинвазивные технологии мониторинга состояния биологических тканей на основе оптико-электронных, в том числе, поляризационных приборов и средств.

В лабораторной медицине до 80% всех количественных исследований могут быть отнесены к измерениям. Поляризационные измерительные приборы состоят из оптически изотропных и анизотропных элементов, неидеальность изготовления и позиционирования которых может внести существенную погрешность в результаты исследования биологических сред. В связи с этим обязательным условием эксплуатации измерительной аппаратуры является проведение метрологических процедур, повышающих точность измерений параметров биологических сред, обеспечивая тем самым достоверность и сопоставимость результатов измерений в лабораторной медицине [3].

Одной из таких процедур является калибровка средства измерений, которая позволяет учесть в качестве поправок влияние на результат систематической погрешности, обусловленной отличием свойств реальных элементов оптического тракта от идеальных.

Ранее нами была разработана схема портативного четырехканального Стокс-поляриметра для неинвазивного мониторинга гематокрита крови [4]. Важным критерием эффективности системы в данном случае является возможность получения информации о биологическом объекте при максимальном исключении влияния элементов приемного канала на значения измеряемых поляризационных параметров выходного излучения. Следующий этап работы заключается в необходимости применения метода калибровки для разработанного многоканального Стокс-поляриметра.

Большинство методов калибровки [5–7] предусматривает оптимизацию конструктивных параметров одного из поляризационных элементов схемы, что неприемлемо для многоканальных поляризационных систем.

Целью данного исследования является аналитический обзор методов калибровки многоканальных поляризационных схем приборов.

При анализе поляриметрических изображений, полученных с помощью Стокс- или Мюллер-поляриметров, важное значение имеют вопросы калибровки поляризационных приборов. Достоверность сообщаемых результатов зависит от задокументированных процедур калибровки. У каждого поляризационного прибора будут свои проблемы с калибровкой, которые невозможно обобщить, а, следовательно, невозможно предположить единой методики калибровки для их решения. В связи с этим необходимо рассмотреть общие вопросы калибровки,

универсальные для поляризационных приборов. Существует три этапа калибровки, которые необходимо выполнять в строгой последовательности: I этап – радиометрическая калибровка, II этап – геометрическая калибровка, III этап – поляриметрическая калибровка [8].

В свою очередь поляриметрическая калибровка может быть выполнена одним из трех методов:

- матричный метод сокращения данных;
- метод калибровки по собственным значениям;
- метод калибровки поляризатора.

#### **Радиометрическая калибровка**

Радиометрическая калибровка связана с особенностями регистрации потока поляризованного излучения на приемнике оптического излучения и необходима для всех поляриметров.

При точностном анализе изображающих поляриметров необходимо принимать во внимание наличие источников неопределенности, включая шум электронной схемы преобразования оптического сигнала. Например, наличие специфических шумов в матричном приемнике оптического излучения приводит к неоднородности его чувствительности по полю анализа.

В этом случае для каждого канала разработанной схемы поляриметра можно записать матричное уравнение с учетом шума матричного приемника оптического излучения [9]:

$$\mathbf{I} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{S}_{\text{вх}} + \mathbf{n}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{I}$  – выходной вектор токовых откликов приемника оптического излучения;  $\mathbf{A}$  – приборная матрица поляриметра;  $\mathbf{S}_{\text{вх}}$  – входной вектор Стокса анализируемого пучка;  $\mathbf{n}$  – вектор шума.

Указанный источник неопределенности может сильно повлиять на результаты измерений при восстановлении полного вектора Стокса через инверсию приборной матрицы (1). Влияние неравномерности чувствительности фотоприемника по полю может быть учтено введением вектора погрешности  $\varepsilon$  измерения параметров вектора Стокса, который определяется формулой [9]:

$$\varepsilon = \widehat{\mathbf{S}}_{\text{вх}} - \mathbf{S}_{\text{вх}} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{n}, \quad (2)$$

где обозначение  $\wedge$  указывает на то, что уравнение (2) позволяет провести оценку входного вектора Стокса.

Если предположить, что шум независим и одинаково распределен от пикселя к пикселю, то вторая норма приборной матрицы показывает максимальную погрешность в восстановленных изображениях вектора Стокса и рассчитывается по формуле [9, 10]:

$$\|\mathbf{A}\|_2 = \|\mathbf{A}^{-1}\|_2 = \sup_{\mathbf{n}} \frac{\|\mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{n}\|_2}{\|\mathbf{n}\|_2} = \frac{\sup \|\varepsilon\|_2}{\sqrt{N \cdot \sigma^2}}, \quad (3)$$

где  $\sigma^2$  – дисперсия элементов вектора шума;  $\sup$  – обозначение супремума (определение наибольшего элемента, который находится внутри множества);  $N$  – количество состояний поляризации входного излучения.

Было показано, что минимизация второй нормы в уравнении (3) обозначает, что входные калибровочные векторы Стокса должны быть выбраны так, чтобы они располагались на максимальном расстоянии друг от друга на сфере Пуанкаре [8, 9] формируя таким образом многогранник максимального объема. Если используется четыре состояния поляризации, то этот многогранник принимает форму тетраэдра, а отношение сигнал/шум будет одинаково в каждом канале схемы поляриметра. При проведении более четырех измерений переопределенная система в уравнении (1) обеспечивает избыточность, которая увеличивает отношение сигнал/шум в  $\sqrt{N}$  раз [9].

#### **Геометрическая калибровка**

При обработке поляриметрических изображений, формируемых на матричных приемниках многоканальных систем, требуется применение геометрической калибровки. Она

позволяет учесть оптические аберрации элементов каждого поляризационного канала и установить попиксельное соответствие между изображениями [8].

Геометрическая калибровка реализуется на основе анализа поляризационных изображений. Информация о пространственном распределении облученности на чувствительных площадках фотоприемников используется для формирования геометрической модели и целевой функции. Геометрический коэффициент калибровки рассчитывается по принципу наименьших квадратов. Точность геометрической калибровки зависит от определения направлений падающего излучения (угла падения  $\theta$  и азимутального угла  $\varphi$ ) и координат центра тяжести каждого изображения [11].

Таким образом, найденные с помощью геометрической калибровки координаты энергетических центров получаемых изображений позволяют с помощью программно-аппаратных решений произвести их совмещение для дальнейшей обработки.

### **Поляриметрическая калибровка**

Целью поляриметрической калибровки является расчет систематической составляющей погрешности измерения на основе учета реальных поляризационных характеристик элементов оптической схемы прибора. Информация о систематической погрешности содержится в приборной матрице поляриметра, которая определяется в результате экспериментального исследования.

Рассмотрим каждый из трех методов калибровки применительно к многоканальным изображающим поляриметрам.

**Матричный метод сокращения данных** заключается в решении матричного уравнения:

$$\mathbf{I}_n = \mathbf{A} \cdot \mathbf{S}_n,$$

где  $\mathbf{S}_n$  – входной вектор Стокса анализируемого пучка для каждого канала.

Предполагая, что генератор состояния поляризации формирует четыре линейно независимых калибровочных состояний поляризации для которых известны векторы Стокса  $\mathbf{S}_n$  ( $n = 1, 2, 3, 4$ ), можно для каждого из них определить вектор интенсивности  $\mathbf{I}_n$  и затем правой псевдоинверсией матрицы  $\mathbf{I} = [\mathbf{I}_1 \ \mathbf{I}_2 \ \mathbf{I}_3 \ \mathbf{I}_4]$  найти интересующую матрицу сокращения данных  $\mathbf{W}$ , где обозначение величины  $\mathbf{W}$  соответствует обратной приборной матрице поляриметра  $\mathbf{A}^{-1}$  [8, 9].

Таким образом, поляриметрическую калибровку Стокс-поляриметра методом сокращения данных можно осуществить с помощью генерации по крайней мере четырех линейно независимых калибровочных поляризационных состояний и измеряя четыре вектора интенсивности, по результатам которых находится матрица сокращения данных, которая затем сравнивается с идеальной. Полученные отклонения реальных значений от идеальных затем можно учесть в качестве «поправок» при проведении реальных экспериментальных измерений.

Чтобы рассчитать требуемую приборную матрицу поляриметра необходимо с помощью генератора состояния поляризации в зондирующем канале поляриметра сформировать набор линейно независимых калибровочных состояний поляризации (векторов Стокса), которые разделены по аналитическому подходу к формированию методик калибровки на три типа: методика калибровки с известным набором линейно независимых калибровочных векторов; методика калибровки с произвольным набором линейно независимых калибровочных векторов; методика калибровки с определенным (нормированным) набором линейно независимых калибровочных векторов [12]. Первая методика калибровки основана на определении реальных приборных матриц поляриметра для всех пикселей изображения с различными координатами, в которых будут учтены относительные погрешности измерения параметра вектора Стокса на выходе поляризационной системы. Погрешность данной методики составляет несколько процентов. Вторая и третья методики калибровки позволяют установить значительно более точную оценку относительных погрешностей при нахождении элементов приборной матрицы поляриметра путем учета погрешности элементов калибровочных векторов и получении на их основе токовых откликов. При этом вторая методика калибровки позволяет обеспечить в четыре раза большую точность, по сравнению с другими методиками калибровки [12].

Таким образом, использование изображающих поляризационных приборов для исследования биологически активных и двулучепреломляющих сред главным критерием выбора методики калибровки является обеспечение высокой точности определения погрешностей элементов приборной матрицы поляриметра. Поэтому наиболее приемлемой является методика калибровки с произвольным набором линейно независимых калибровочных векторов.

**Метод калибровки по собственным значениям** основан на введении трех характеристических действительных матриц размера  $(4 \times 4)$ :  $\mathbf{G}$  – матрица передающего канала (генератора состояния поляризации),  $\mathbf{A}$  – приборная матрица поляриметра, содержащая матрицу приемного канала (анализатора состояния поляризации) и  $\mathbf{M}$  – матрица Мюллера эталонного образца [8].

Тогда основным измерением является матричное произведение  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{G}$ , содержащее в конечном итоге 16 коэффициентов. Для калибровки 32 коэффициентов матриц ( $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{G}$ ) метод калибровки по собственным значениям может быть выполнен только с помощью трех или четырех измерений эталонных образцов.

Основные операции рассмотренного метода калибровки включают [13]:

1. Измерение матрицы интенсивности на выходе из используемого эталонного образца (воздуха) с помощью уравнения:

$$\mathbf{I}_{\text{воздух}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{G}.$$

2. Повторение первого этапа, но используя несколько  $i$ -х эталонных образцов, для которых известны теоретические матрицы Мюллера. Тогда уравнение из первого этапа будет представлено в следующем виде:

$$\mathbf{I}_i = \mathbf{A} \cdot \mathbf{M}_i \cdot \mathbf{G},$$

где  $\mathbf{M}_i$  – теоретическая матрица для  $i$ -го эталонного образца.

3. Для каждого образца используя формулы, представленные в первом и втором этапе, производится расчет следующего произведения:

$$\mathbf{C}_i = \mathbf{I}_{\text{воздух}}^{-1} \cdot \mathbf{I}_i = \mathbf{G}^{-1} \cdot \mathbf{M}_i \cdot \mathbf{G},$$

где матрицы  $\mathbf{C}_i$  и  $\mathbf{M}_i$  имеют одни и те же собственные значения, по которым можно восстановить поляризационные свойства эталонных образцов, такие как коэффициент пропускания, линейное и круговое запаздывание или оптическое вращение и ввести их в модель матрицы Мюллера  $\mathbf{M}_i$ , а  $\mathbf{C}_i$  – матрица результата произведения матриц.

4. Определение функции погрешности с помощью уравнения:

$$\mathbf{M}_i \cdot \mathbf{G} - \mathbf{G} \cdot \mathbf{C}_i = 0.$$

Тогда матрица генератора состояния поляризации, которая будет единственной, может быть найдена из нулевого пространства системы уравнений.

5. Определение приборной матрицы поляриметра используя следующее соотношение:

$$\mathbf{A} = \mathbf{I}_{\text{воздух}} \cdot \mathbf{G}^{-1}.$$

Таким образом, метод калибровки по собственным значениям заключается в воздействии на эталонные образцы оптическим излучением с различными состояниями поляризации и определения как приборной матрицы поляриметра  $\mathbf{A}$ , так и матрицы генератора состояния поляризации  $\mathbf{G}$ .

**Метод калибровки поляризатора** является разновидностью рассмотренного выше метода калибровки по собственным значениям. В данном случае вместо нескольких поляризационных элементов в генераторе состояния поляризации (передающем канале поляриметра) используется только один, а именно линейный поляризатор.

В отличие от метода калибровки по собственным значениям, в методе калибровки поляризатора 16 элементов матрицы Мюллера образца  $\mathbf{M}$  получаются измерением 16 значений

интенсивности света. Фундаментальное соотношение  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{G}$  измерений матричного поляриметра, представленное в методе калибровки по собственным значениям, сохраняется и приравнивается к матрице измеренной интенсивности  $\mathbf{I}$  [8].

Матрицы генератора и анализатора состояния поляризации содержат элементы векторов, описывающих четыре состояния поляризации, и могут быть представлены в разделенной по столбцам форме записи:

$$\mathbf{G} = [\mathbf{g}_1 \ \mathbf{g}_2 \ \mathbf{g}_3 \ \mathbf{g}_4]; \mathbf{A} = [\mathbf{a}_1 \ \mathbf{a}_2 \ \mathbf{a}_3 \ \mathbf{a}_4]^T, \quad (4)$$

где верхний индекс  $T$  означает транспонирование, а столбцы  $\mathbf{g}_k$  и  $\mathbf{a}_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) представляют полностью поляризованные векторы Стокса.

Цель процедуры метода калибровки поляризатора так же, как и метода калибровки по собственным значениям, заключается в определении матриц генератора  $\mathbf{G}$  и анализатора  $\mathbf{A}$  состояния поляризации из серии измерений интенсивности эталонного образца с известной матрицей Мюллера  $\mathbf{M}$ .

Основные этапы метода калибровки поляризатора кратко изложены ниже, и их следует выполнять для всех пикселей изображения [14]:

1. Измерение матрицы интенсивности при различных углах азимута поляризации линейного поляризатора  $\alpha$ . Если вектор Стокса генерируемого состояния поляризации поляризатора в генераторе состояния поляризации равен  $\mathbf{p}$ , то матрица Мюллера линейного поляризатора  $\mathbf{P}$  может быть определена как произведение матрицы  $\mathbf{p}$  саму на себя:

$$\mathbf{P} = \frac{1}{2} \cdot \mathbf{p} \cdot \mathbf{p}^T = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \cos \alpha \\ \sin \alpha \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [1 \ \cos \alpha \ \sin \alpha \ 0]. \quad (5)$$

Поскольку линейный поляризатор является эталонным образцом, то используя матрицы генератора и анализатора состояния поляризации, записанные в разделенной по столбцам форме записи (4) и выражение (5), матрица интенсивности примет следующий вид:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{G} = \frac{1}{2} \cdot [\mathbf{p}^T \mathbf{a}_1 \ \mathbf{p}^T \mathbf{a}_2 \ \mathbf{p}^T \mathbf{a}_3 \ \mathbf{p}^T \mathbf{a}_4]^T \cdot [\mathbf{p}^T \mathbf{g}_1 \ \mathbf{p}^T \mathbf{g}_2 \ \mathbf{p}^T \mathbf{g}_3 \ \mathbf{p}^T \mathbf{g}_4] = \mathbf{I}. \quad (6)$$

Тогда, произведя замену представленных известных векторов на буквенные обозначения, выражение (6) будет представлено в виде:  $\mathbf{I} = \frac{1}{2} \cdot \mathbf{b} \cdot \mathbf{c}^T$ , где

$$\mathbf{b} = [\mathbf{p}^T \mathbf{g}_1 \ \mathbf{p}^T \mathbf{g}_2 \ \mathbf{p}^T \mathbf{g}_3 \ \mathbf{p}^T \mathbf{g}_4]; \mathbf{c} = [\mathbf{p}^T \mathbf{a}_1 \ \mathbf{p}^T \mathbf{a}_2 \ \mathbf{p}^T \mathbf{a}_3 \ \mathbf{p}^T \mathbf{a}_4].$$

2. Достижение приведенного разложения осуществляется с использованием устойчивого к помехам способа, который состоит в построении двух симметричных матриц  $\mathbf{I}_i \mathbf{I}_i^T$  и  $\mathbf{I}_i^T \mathbf{I}_i$  и идентификации  $\mathbf{b}$  и  $\mathbf{c}$  как собственных векторов каждой симметричной матрицы.
3. Представление матриц генератора и анализатора состояния поляризации по столбцам в виде 16-компонентных векторов  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{a}$  с помощью следующих выражений:

$$\mathbf{g} = \text{vec}(\mathbf{G}) = \begin{bmatrix} \mathbf{g}_1 \\ \mathbf{g}_2 \\ \mathbf{g}_3 \\ \mathbf{g}_4 \end{bmatrix}; \mathbf{a} = \text{vec}(\mathbf{A}) = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{a}_3 \\ \mathbf{a}_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

и определение матриц  $\mathbf{P}_c$  и  $\mathbf{P}_b$ , которые имеют размерность  $(3 \times 16)$  из формул:

$$\mathbf{P}_c \cdot \mathbf{g} = \mathbf{0}; \mathbf{P}_b \cdot \mathbf{a} = \mathbf{0},$$

$$\text{где } \mathbf{P}_c = \begin{bmatrix} c^{(2)} \mathbf{p}^T - c^{(1)} \mathbf{p}^T \mathbf{0}^T \mathbf{0}^T \\ \mathbf{0}^T c^{(3)} \mathbf{p}^T - c^{(2)} \mathbf{p}^T \mathbf{0}^T \\ \mathbf{0}^T \mathbf{0}^T c^{(4)} \mathbf{p}^T - c^{(3)} \mathbf{p}^T \end{bmatrix}; \mathbf{P}_b = \begin{bmatrix} b^{(2)} \mathbf{p}^T - c^{(1)} \mathbf{p}^T \mathbf{0}^T \mathbf{0}^T \\ \mathbf{0}^T b^{(3)} \mathbf{p}^T - b^{(2)} \mathbf{p}^T \mathbf{0}^T \\ \mathbf{0}^T \mathbf{0}^T b^{(4)} \mathbf{p}^T - b^{(3)} \mathbf{p}^T \end{bmatrix}; \mathbf{0} = [0 \ 0 \ 0 \ 0]^T,$$

верхние индексы (1), (2), (3), (4) обозначают соответствующие компоненты векторов  $\mathbf{b}$  и  $\mathbf{c}$ .

4. Выполнение серии из  $n$  калибровочных измерений при соответствующем количестве азимутов поляризатора  $\alpha_i$  дает серию матриц  $\mathbf{P}_c^{(i)}$  и  $\mathbf{P}_b^{(i)}$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ . Затем проводится сложение по столбцам, в результате чего получают две системы  $(3n \times 16)$  линейных однородных уравнений для неизвестных векторов  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{a}$ :

$$\begin{bmatrix} \mathbf{P}_c^{(1)} \\ \mathbf{P}_c^{(2)} \\ \dots \\ \mathbf{P}_c^{(n)} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{g} = \mathbf{P}_{nc} \cdot \mathbf{g} = \mathbf{0}; \quad \begin{bmatrix} \mathbf{P}_b^{(1)} \\ \mathbf{P}_b^{(2)} \\ \dots \\ \mathbf{P}_b^{(n)} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{a} = \mathbf{P}_{nb} \cdot \mathbf{a} = \mathbf{0}. \quad (8)$$

В связи с тем, что круговые компоненты вектора Стокса, представленные столбцами и строками матрицы генератора и анализатора состояния поляризации (7) не могут быть определены, поскольку линейный дихроичный поляризатор не может модулировать круговую поляризацию, то четвертая компонента состояния поляризации  $\mathbf{p}$ , передаваемая поляризатором, тождественно равна нулю (5). В результате четвертая, восьмая, двенадцатая и шестнадцатая компоненты двух неизвестных векторов  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{a}$ , соответствующие круговым компонентам вектора Стокса, составляющих матрицы генератора и анализатора состояния поляризации, не могут быть получены из представленного уравнения (8).

Таким образом, уравнение (8) сократится до следующего вида:

$$\mathbf{P}_{nc}^r \cdot \mathbf{g}^r = \mathbf{0}; \quad \mathbf{P}_{nb}^r \cdot \mathbf{a}^r = \mathbf{0},$$

где  $\mathbf{P}_{nc}^r$  и  $\mathbf{P}_{nb}^r$  получаются отбрасыванием 4-го, 8-го, 12-го и 16-го столбцов для матриц  $\mathbf{P}_{nc}$  и  $\mathbf{P}_{nb}$ , соответственно, а два редуцированных вектора  $\mathbf{g}^r$  и  $\mathbf{a}^r$  получаются отбрасыванием 4-й, 8-й, 12-й, 16-й компоненты для векторов  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{a}$ .

5. Построение двух симметричных матриц  $\mathbf{P}_{nc}^{rT} \cdot \mathbf{P}_{nc}^r$  и  $\mathbf{P}_{nb}^{rT} \cdot \mathbf{P}_{nb}^r$  размерностью  $(12 \times 12)$  и задание неизвестных векторов  $\mathbf{g}^r$  и  $\mathbf{a}^r$  соответствующими собственными векторами, связанными с наименьшими (теоретически нулевыми) собственными значениями [14].
6. Определение 12 из 16 компонентов векторов  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{a}$  прямым отождествлением с компонентами  $\mathbf{g}^r$  и  $\mathbf{a}^r$ . Остальные компоненты векторов  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{a}$  оцениваются из уже известных с использованием предположения, что векторы Стокса, составляющие матрицы генератора и анализатора состояния поляризации полностью поляризованы:

$$g_{4k} = \varepsilon_G^{(k)} \sqrt{g_{4k-3}^2 - g_{4k-2}^2 - g_{4k-1}^2}; \quad a_{4k} = \varepsilon_A^{(k)} \sqrt{a_{4k-3}^2 - a_{4k-2}^2 - a_{4k-1}^2},$$

где  $\varepsilon_G^{(k)} = \pm 1$  и  $\varepsilon_A^{(k)} = \pm 1$  для  $k = 1, 2, 3, 4$ . Для ряда знаков  $\varepsilon_G^{(k)}$  и  $\varepsilon_A^{(k)}$  настраиваются в соответствии с матричной моделью оптической схемы поляриметра.

7. Определение матриц генератора и анализатора состояния поляризации  $\mathbf{G}$  и  $\mathbf{A}$  восстановлением по столбцам в виде 16 компонентных векторов  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{a}$  с помощью уравнения (7).

Одна из двух определенных таким образом матриц должна быть дополнительно перемасштабирована, чтобы удовлетворить основному соотношению измерений, представленному при описании первого этапа (6).

Привлекательная особенность рассмотренного метода калибровки заключается в обеспечении одновременного получения обеих приборных матриц  $\mathbf{G}$  и  $\mathbf{A}$  благодаря проекционному свойству поляризатора. Однако, поскольку все измерения выполняются с помощью линейного поляризатора, метод калибровки поляризатора первоначально восстанавливает только те компоненты приборных матриц, которые связаны с линейной поляризацией. Для полного расчета приборных матриц необходима полная поляризационная модель калибруемого поляриметра. Благодаря введению этой модели, которая описывает все поляризационные свойства поляриметра, можно получить круговые компоненты матриц.

Таким образом, в результате аналитического обзора выполнена систематизация материалов по методам калибровки изображающих поляризационных систем, составлена классификация рассмотренных методов, сформулированы этапы калибровок. Установлено,



что использование матричного метода сокращения данных в качестве поляриметрической калибровки изображающего многоканального поляриметра подразумевает определение полной приборной матрицы поляриметра. Использование метода калибровки по собственным значениям подразумевает использование калибровочных образцов, у которых заранее известны параметры состояния поляризации, а сам метод калибровки заключается в определении матрицы генератора состояния поляризации и приборной матрицы поляриметра, в которой можно учесть систематические погрешности поляризационного прибора, возникающие в процессе измерения. В свою очередь, использование метода калибровки поляризатора также, как и в методе калибровки по собственным значениям, подразумевает определение двух приборных матриц. Однако в данном методе калибровка осуществляется только с применением одного эталонного образца – линейного поляризатора, что снижает трудоемкость метода.

В связи с тем, что метод калибровки по собственным значениям и метод калибровки поляризатора не учитывают действие анизотропных элементов, которые содержат информацию о двулучепреломляющих свойствах образцов, для медицинского применения разработанной ранее поляризационной системы, предназначенной для неинвазивного мониторинга биологических тканей и сред, в том числе и уровня гематокрита [4], целесообразно для калибровки использовать матричный метод сокращения данных с генерацией произвольного набора линейно независимых калибровочных векторов Стокса, который обеспечивает в четыре большую точность определения погрешностей элементов приборной матрицы поляриметра, по сравнению с другими методами калибровки. Данный метод калибровки позволяет получить единую приборную матрицу системы, в которой будут учтены все составляющие систематических ошибок измерений, а также получать информацию обо всех анизотропных свойствах медицинских образцов.

#### **Список использованных источников**

1. Li X., Han Y., Wang H. et al. Polarimetric imaging through scattering media: A review // *Frontiers in Physics*. – 2022. – V. 10. – P. 815296.
2. Wang R., Shi X., Zhu Z. et al. Mendelian randomization analysis of 37 clinical factors and coronary artery disease in East Asian and European populations // *Genome medicine*. – 2022. – V. 14. – №. 1. – Pp. 1–15.
3. Dybas J., Alcicek F.C., Wajda A. et. al. Trends in biomedical analysis of red blood cells-Raman spectroscopy against other spectroscopic, microscopic and classical techniques // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2022. – V. 146. – P. 116481.
4. Fei H., Li F.M., Chen W.C. et. al. Calibration method for division of focal plane polarimeters // *Applied optics*. – 2018. – V. 57. – №. 18. – Pp. 4992–4996.
5. Morel O., Seulin R., Fofi D. Handy method to calibrate division-of-amplitude polarimeters for the first three Stokes parameters // *Optics express*. – 2016. – V. 24. – №. 12. – Pp. 13634–13646.
6. Abubaker H.M, Tomanek P. Polarization of scattered light in biological tissue // *Photonics, Devices, and Systems V*. – 2011. – V. 8306. – Pp. 189–196.
7. Khlynov R.D., Ryzhova V.A., Konyakhin I.A. et al. Robotic polarimetry system based on image sensors for monitoring the rheological properties of blood in emergency situations // *Smart Electromechanical Systems: Recognition, Identification, Modeling, Measurement Systems, Sensors*. – Cham: Springer International Publishing. – 2022. – Pp. 201–218.
8. Pena-Gutierrez S., Royo S. Polarization calibration assessment for a broadband imaging polarimeter based on a division of aperture architecture // *Optics express*. – 2023. – V. 31. – №. 3. – Pp. 3839–3856.
9. Tyo J.S. Goldstein D.L., Chenault D.B. et. al. Review of passive imaging polarimetry for remote sensing applications // *Applied optics*. – 2006. – V. 45. – №. 22. – Pp. 5453–5469.
10. Sabatke D.S., Descour M.R., Dereniak E.L. et al. Optimization of retardance for a complete Stokes polarimeter // *Optics Letters*. – 2000. – V. 25. – №. 11. – Pp. 802–804.
11. Khlynov R.D., Ryzhova V.A., Yarishev S.N. et al. Analysis of Polarization Images in the Microphysical Blood Parameters Research for the Hematocrit Diagnostics // *Micromachines*. – 2022. – V. 13. – №. 12. – P. 2241.
12. Nguyen C.T., Khlynov R.D., Ryzhova V.A. et. al. Calibration Methods of a Portable Polarizing System for Monitoring Optically Inhomogeneous Media // *Computation*. – 2022. – V. 10. – №. 8. – P. 131.
13. Compain E., Poiries S., Drevillon B. General and self-consistent method for the calibration of polarization modulators, polarimeters and Mueller-matrix ellipsometers // *Applied optics*. – 1999. – V. 38. – №. 16. – Pp. 3490–3502.
14. Ossikovski R., Bugami B. Al., Garcia-Caurel E. et al. Polarizer calibration method for Mueller matrix polarimeters // *Applied Optics*. – 2020. – V. 59. – №. 33. – Pp. 10389–10395.

УДК 535.37

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

**Хотеев А.А.** (студент, Университет ИТМО), **Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Рыжова В.А.** (Университет ИТМО)

*e-mail: arseniy.khoteev@gmail.com*

*В данной статье рассматриваются особенности выполнения люминесцентной диагностики в различных сферах жизни. В качестве объектов для исследования представлены семена, мясные, молочные и кисломолочные продукты, средства гигиены, масла и бриллианты как искусственного, так и природного происхождения. Выполнен анализ перспектив развития и применения методов люминесцентной спектроскопии в современной науке.*

**Ключевые слова:** *люминесценция, коэффициент пропускания, диагностика, контроль качества, пищевые продукты.*

На сегодняшний день существует необходимость развивать современное инновационное производство различных продуктов, которое невозможно без разработки и применения высокоточных, экологически безопасных и оперативных методов контроля как посевного материала, так и продукции животного происхождения. Одним из таких методов является метод люминесцентной диагностики. Люминесценция, как явление испускания света веществом под воздействием внешней энергии, является важным объектом исследования в различных областях науки и технологий [1]. Она находит применение в диагностических задачах, связанных с контролем качества и оценкой состояния объектов различной природы.

Сельское хозяйство и пищевая промышленность являются важными отраслями экономики, где контроль качества и сохранности продукции играет решающую роль. Метод люминесцентного анализа предоставляет возможность быстрого и точного определения физико-химических параметров продуктов, таких как свежесть, состав, а также выявления наличия контаминации и порчи [2].

Разработка новых методов исследования с использованием люминесцентной диагностики открывает перспективы для создания более эффективных систем контроля качества и безопасности пищевых продуктов. Возможности метода люминесцентной диагностики качества продуктов мясной промышленности пока изучены недостаточно. Поэтому целью данной работы является обоснование перспективности использования метода люминесценции для контроля качества продукции на примере исследования физико-химических параметров различных объектов сельского хозяйства и промышленности.

### **Примеры люминесцентного анализа различных объектов**

Известно, что контроль качества посевного материала выполняется при помощи люминесцентной диагностики семян после предварительной процедуры скарификации [3]. Проводя визуальный анализ цвета свечения люминесценции на поверхности семян через микроскоп, можно сделать некоторые выводы по их качеству: к примеру, люминесценция синего цвета характеризует здоровое, полноценное и зрелое зерно; люминесценция желтого цвета наблюдается у зерен неполноценных, пострадавших от сырости (рис. 1).



Рис. 1. Свечение на поверхности семян

Объектами исследования люминесценции были выбраны следующие культуры семян: клевер, галега, люцерна, свёкла и овёс.

Реализация многочисленных измерений потребовала создания одинаковых условий для эффективного и удобного проведения измерительных процедур со всеми образцами. Решением стало создание тёмной камеры, куда помещался объект исследования, со встроенным светодиодом УФ излучения с длиной волны 400 нм, а также микроскопом, посредством которого осуществлялся визуальный анализ люминесценции объекта (рис. 2). Разработанная камера являлась портативным аналогом профессионального люминоскопа [3].

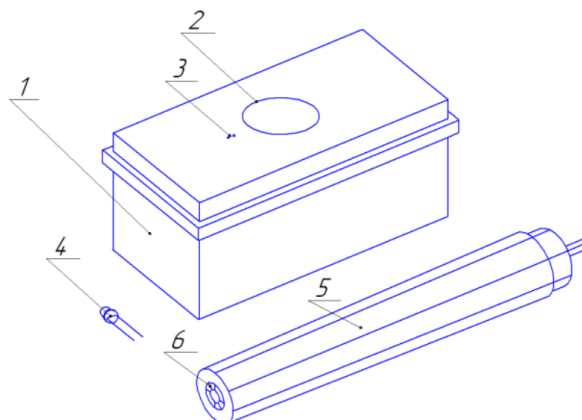


Рис. 2. Концепция прибора: Концепция прибора: 1 – тёмная камера; 2 – отверстие для электронного микроскопа; 3 – отверстия для светодиода; 4 – светодиод; 5 – электронный микроскоп; 6 – встроенные светодиоды электронного микроскопа для первичного осмотра объекта в тёмной камере

На рисунке 3 представлен снимок, демонстрирующий разработанную модель люминоскопа для проведения лабораторных исследований по люминесцентной диагностике семян растений. Также было произведено его улучшение – добавлена регулировка яркости.



Рис. 3. Фотография прибора с улучшенными характеристиками

Метод люминесцентной диагностики также нашёл применение в выявлении растительных добавок в молочной продукции. В связи с этим было принято решение использовать собственную техническую разработку люминоскопа для демонстрации визуальных различий интенсивности люминесценции между маслом животного происхождения и спредом. В качестве контрольного элемента был взят плавленый сыр, никак не реагировавший на возбуждающее люминесцентное излучение (рис. 4).

Эксперимент выявил более интенсивное свечение люминесценции для спреда по сравнению с натуральным маслом (рис. 5).

Кроме пищевых масел, также исследовались трансформаторные масла марки ГК для создания оптико-абсорбционного прибора с применением дифракционного спектрофотометра «Спекол-210». Эксперимент показал существенные различия коэффициентов пропускания отработанного масла и чистых масел разного типа (рис. 6).

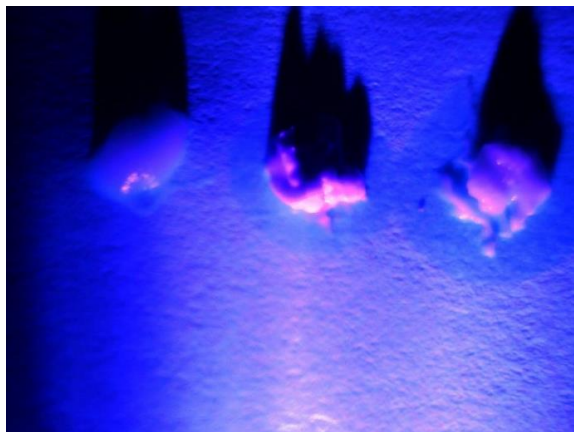


Рис. 4. Объекты молочной продукции под действием УФ (слева направо: плавленый сыр, спред, масло)

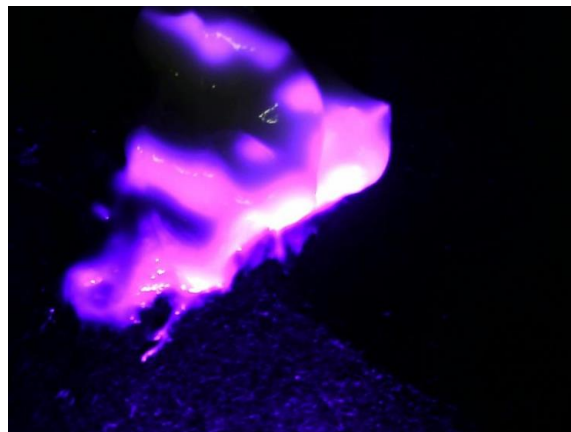


Рис. 5. Спред под действием УФ излучения

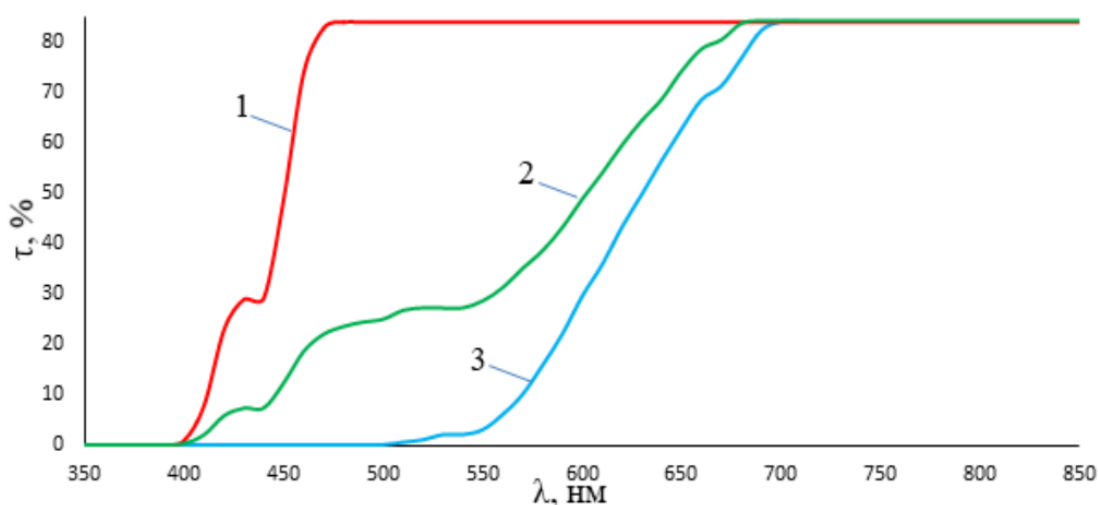


Рис. 6. Коэффициенты пропускания двух чистых (прозрачного (1) и желтого (2)) и отработанного (3) масел

Также методом люминесценции исследовались различные виды зубных паст. Результаты визуального контроля представлены на рисунке 7.



Рис. 7. 1 – обычная паста; 2 – паста с минеральным комплексом; 3 – отбеливающая паста

Объектами люминесценции также выступали алмазы как природного, так и искусственного происхождения (рис. 8).

На рисунке 8, а природные алмазы ярко светятся из-за примесей бора, содержащихся в их химическом составе, синтетические алмазы на рисунке 8, б светятся слабым красноватым цветом, так как они состоят из чистого углерода, а имитация алмаза – муассанит, к примеру, никак не будет люминесцировать, что является индикатором.

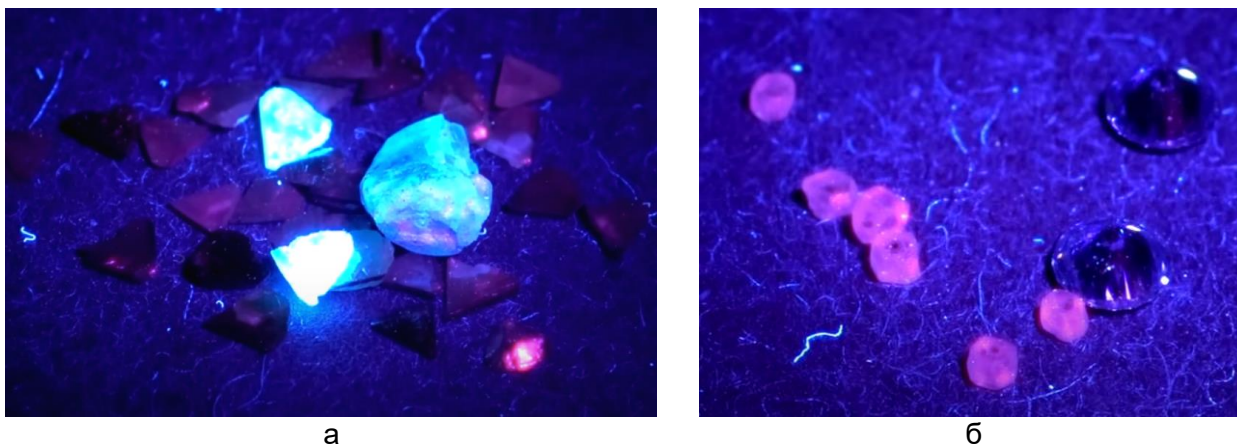


Рис. 8. Алмазы искусственного происхождения: а) минералы, среди которых выделяются алмазы природного происхождения; б) синтезированные алмазы и муассанит

Таким образом, показано, что исследование люминесценции различных объектов и материалов является актуальной областью их диагностики и может быть применено для контроля качества пищевых, в том числе мясных продуктов [4].

Актуальность и причина развивать контроль мясной продукции с помощью люминесцентного метода диагностики имеют следующие аспекты:

1. Улучшение качества и безопасности пищевых продуктов.

Контроль качества мясной продукции является важной составляющей обеспечения безопасности пищевых продуктов для потребителей. Разработка и применение метода люминесцентной диагностики позволит более эффективно обнаруживать потенциально опасные микроорганизмы, такие как бактерии и патогены, на поверхности и внутри мяса, имеющие свою длину волны возбуждения. Это позволит своевременно выявлять и предотвращать распространение заболеваний, связанных с употреблением некачественной мясной продукции.

2. Автоматизация и ускорение процесса контроля.

Люминесцентный метод диагностики может быть автоматизирован и интегрирован как в производственные линии мясоперерабатывающих предприятий, так и на прилавки магазинов. Это позволит проводить контроль качества в реальном времени, оперативно и точно выявлять несоответствия и дефекты мясной продукции. Такой подход сократит время и затраты на контроль, а также уменьшит риск ошибок, вызванных человеческим фактором [5].

3. Новые возможности исследования и развития.

Развитие метода люминесцентной диагностики предоставит новые возможности для научных исследований в области пищевой безопасности и качества продуктов. Это может включать изучение взаимосвязи между люминесцентными свойствами и физико-химическими параметрами мяса, а также разработку более точных моделей и алгоритмов для диагностики и классификации мясной продукции.

#### Список использованных источников

1. Люминесценция. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megabook.ru/article/Люминесценция> (дата обращения: 10.10.23).
2. Люминесцентный анализ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/072/060.htm> (дата обращения: 10.10.23).
3. Скарификация семян. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cnsheb.ru/AKDiL/0024/base/RS/001802.shtm> (дата обращения: 10.10.23).
4. Хотеев А.А., Беляков М.В., Филатов Д.А., Титова Т.П. Люминоскоп для диагностики биологических объектов // Энергетика, Информатика, Инновации: Сб. трудов X Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч., г. Смоленск, 3-4 декабря 2020, Т. 2. Секция 4 Смоленск: Универсум, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. – 2020 – С. 280–283.
5. Wang L., Lin H., Li Z., Duan X. Engineered nanomaterials-based sensing systems for assessing the freshness of meat and aquatic products: A state-of-the-art review // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. DOI:10.1111/1541-4337.13074.
6. Peuvasteh M., Popov A., Bykov A., Pierangelo A., Novikova T., Meglinski I. Evolution of raw meat polarization-based properties by means of Mueller matrix imaging // *Journal of Biophotonics*. DOI:10.1002/jbio.202000376.

## Стратегии узнавания биологических молекул

---

УДК 577.29

### **СОЗДАНИЕ СЛОЖНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДНК-НАНОМАШИН ДЛЯ УЛЬТРАЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ДЕТЕКЦИИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ**

**Кузина М.А.** (студент, Университет ИТМО), **Хорольская В.Г.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: м.н.с. Рубель М.С.** (Университет ИТМО)

*e-mail: kuzina@scamt-itmo.ru*

*В данной работе рассмотрены структуры, называемые ДНК-наномашинами, их применение в качестве альтернативной системы распознавания различных нуклеиновых кислот без амплификации. В данной работе исследуется возможность создания ДНК-наномашин для определения концентрации специфической мРНК в тотальной РНК, выделенной из культуры клеток. Кроме того, описываются возможности снижения фонового сигнала за счет введения специфических гасителей.*

**Ключевые слова:** ДНК-наномашинны, нуклеиновые кислоты, детекция, чувствительность, мРНК, тотальная РНК.

В большинстве работ для определения уровня экспрессии гена используются два метода: метод  $\Delta\Delta C_t$ , когда уровень экспрессии интересующего гена определяется в зависимости от другого референсного гена, а также метод цифровой ПЦР, связанной с эмульсификацией или разделением всего объема раствора на малые капли, в которых статистически находится не более одной молекулы в начале эксперимента и затем после проведения реакции накопления, подсчитывается количество капель с сигналом. Оба эти метода дороги, поскольку требуют сложной приборной базы, а первый еще и не дает абсолютный уровень экспрессии, а только относительный.

В то же время для научных целей в лабораторной практике был создан широкий спектр ДНК-наномашин для анализа специфических последовательностей нуклеиновых кислот (НК). В перспективе развитие этого направления будет способствовать созданию новых типов детекции биомаркеров различных заболеваний благодаря программируемости данных конструкций под любую задачу, их универсальности, то есть возможности функционирования с разными компонентами, такие как белки, ферменты и т.д., способности детектировать специфические молекулы или сигналы и их способности к контролируемому действию [2]. Однако на практике выявляется множество проблем, связанных с чувствительностью таких конструкций, вызванные снижением стабильности из-за ряда причин, таких как:

- 1) повышенный фоновый сигнал из-за наличия ионов, макромолекул, которые препятствуют функционированию ДНК-наномашин,
- 2) деградация вследствие действия ферментов и других факторов биологических систем,
- 3) сложности в подборе компонентов, необходимых для увеличения эффективности,
- 4) проблемы с достижением специфичности к мишени и одновременно стабильности, так как это требует минимизирования неспецифических взаимодействий,
- 5) ограниченный предел в детектировании малых концентраций [3], стабильность вторичных структур [1].

Было создано несколько подходов по повышению чувствительности, таких как увеличение аналит-связывающих элементов, введение дополнительных двуцепочечных ДНК-каркасов, создание дополнительных точек захвата флуоресцентного субстрата, используемого для генерации сигнала, а также введение дополнительных гасителей для снижения фонового сигнала. Целью нашей работы являлось создание ДНК-наномашин, для детекции НК, которые имеют повышенную чувствительность, использующую все ранее обозначенные наработки. В качестве тестовой мишени был выбран стабильно экспрессирующийся ген GAPDH. ДНК-наномашинка была проверена как на синтетической одноцепочечной ДНК, так и на тотальной РНК, выделенной из клеточной культуры.

Для достижения результата мы проводили полную сборку ДНК-наномашин с каркасом без и с добавлением гасителя ВНҚ в колбе с нагретой водой с последующим остыванием до комнатной температуры, оценивали сборку при помощи электрофореза на полиакриламидном геле с добавлением 10 мкМ раствора  $MgCl_2$  для увеличения стабильности конструкций (рис. 1), проводили эксперимент на синтетических и несинтетических НК с использованием ДНК-наномашин и флюорисцирующего субстрата со снятием результатов через 1 час и 3 часа для оценки производительности конструкций при помощи вычисления предела детекции и построения кривой (рис. 2 и 3).

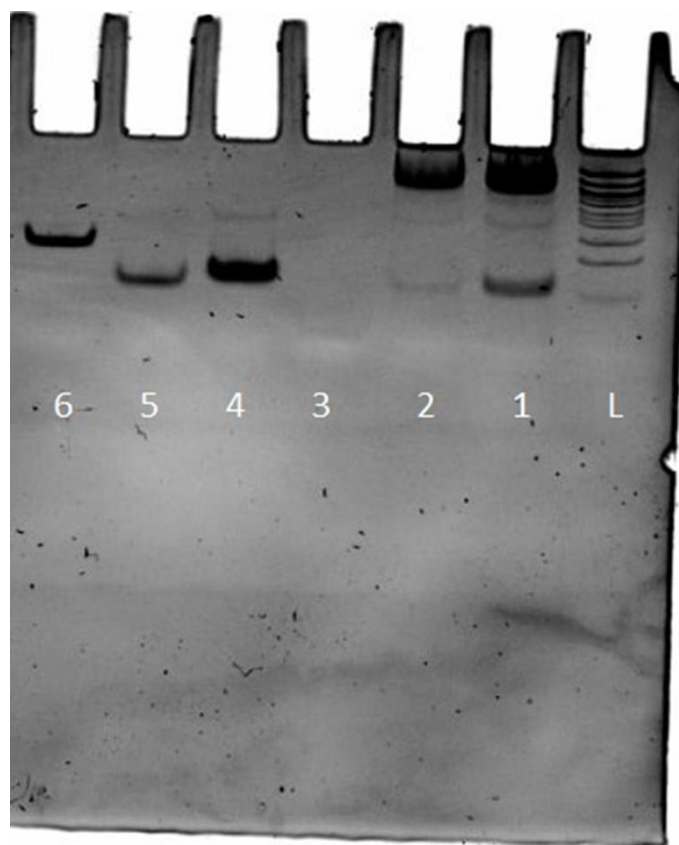


Рис. 1. Сборка ДНК-наномашин с шестью аналит-связывающими фрагментами:  
L – Лестница (50kb), 1 – Собранная ДНК-машина, 2 – Собранная ДНК-машина с гасителем ВНҚ, 3 - Arm1-RT, 4 - Arm2-CT-Arm5, 5 - Arm4-LT-Arm6, 6 – Tile

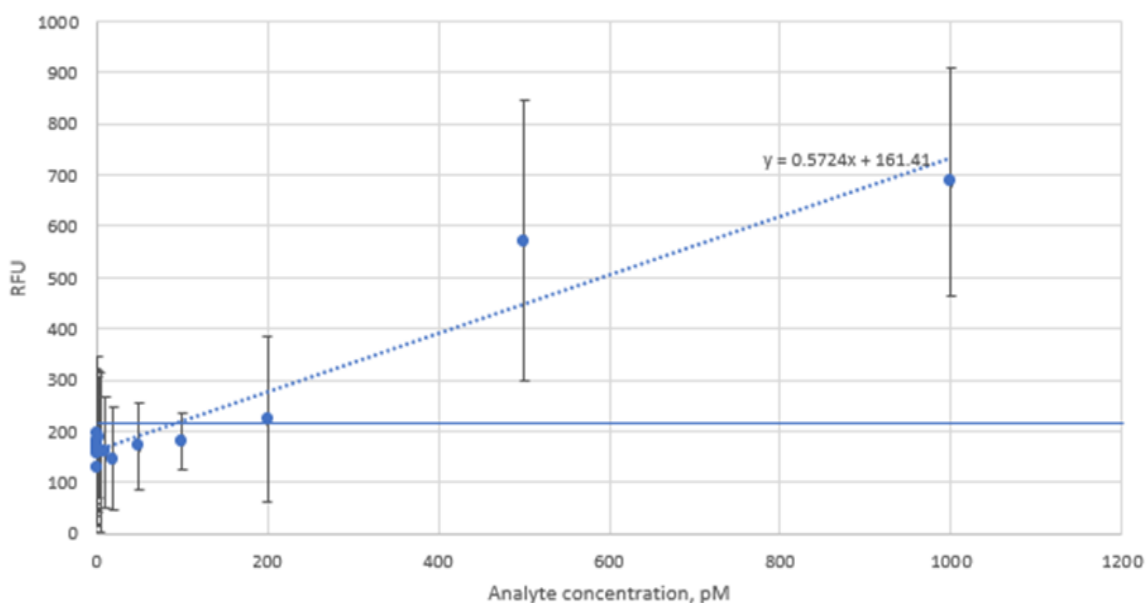


Рис. 2. График предела детекции ДНК-наномашин после 1 часа инкубации

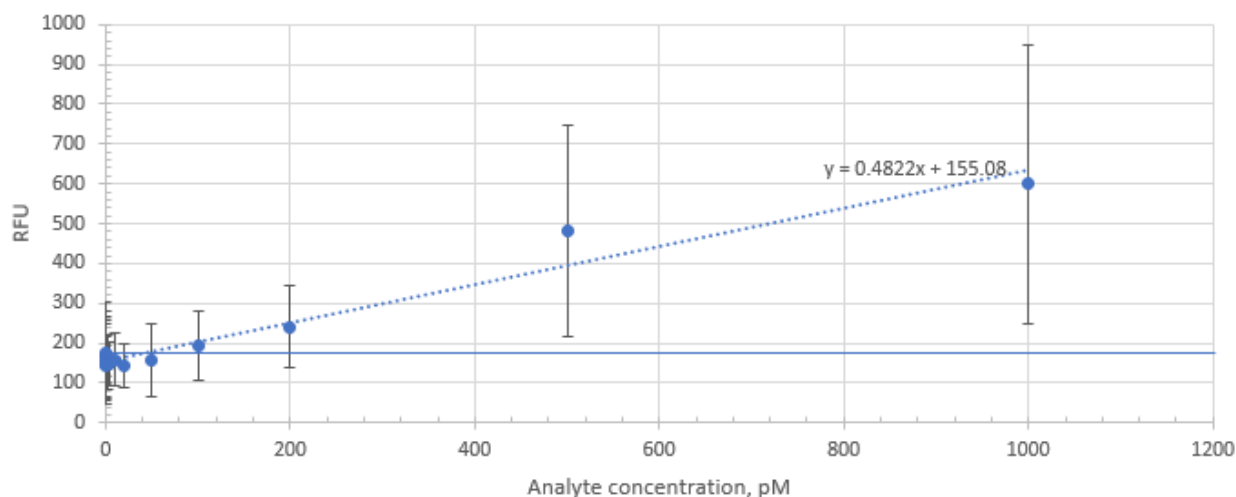


Рис. 3. График предела детекции ДНК-наномашин с гасителем ВНQ после 1 часа инкубации

В результате проведенных экспериментов и вычислений можно сказать, что различные модификации ДНК-наномашин, как например, использование большего количества «рук», могут в значительной степени повысить чувствительность данного метода до фемтомолярных значений для одноцепочечной ДНК, при обычном порядке предела детекции измеряемом в пикомолях. А также такая ДНК-наномашинка оказывается способной определять наличие заданного фрагмента РНК в тотальной РНК культуры клеток без амплификации. Введение дополнительного гасителя в структуру каркаса ДНК-наномашинки незначительно уменьшает фоновый сигнал что может использоваться для увеличения динамического диапазона реакции. Влияние гасителей на пределы детекции требуют дальнейшей проверки.

#### Список использованных источников

1. Cox A.J., Bengtson H.N., Rohde K.H., Kolpashchikov D.M. DNA nanotechnology for nucleic acid analysis: multifunctional molecular DNA machine for RNA detection. // *Chemical Communications*. – 2016. – №. 52(99). – Pp. 14318–14321. <https://doi.org/10.1039/c6cc06889h>.
2. Gerasimova Y.V., Cornett E., Kolpashchikov D.M. RNA-Cleaving Deoxyribozyme Sensor for Nucleic Acid Analysis: The Limit of Detection // *ChemBioChem*. – 2010. – №. 11. – Pp. 811–817. <http://doi.org/10.1002/cbic.201000006>.
3. Wu J., Lin W., Wu Z. Dynamic DNA nanomachines for amplification imaging of diseased cells based on stimulus-responsive mechanism // *Advanced Agrochem*. – 2023. – №. 2(3). – Pp. 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.aac.2023.06.001>.



УДК 579.61

## **ИЗУЧЕНИЕ СИДЕРОФОРОВ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ**

**Родионов Е.М.** (студент, РТУ МИРЭА), **Бошляков Г.С.** (студент, РТУ МИРЭА),

**Гришина Е.В.** (студент, РТУ МИРЭА), **Пайбердин А.О.** (студент, РТУ МИРЭА),

**Пак Д.В.** (студент, РТУ МИРЭА), **Юрина И.А.** (студент, РТУ МИРЭА)

**Научные руководители: ст. преп. Золотарева М.С.** (РТУ МИРЭА),

**к. х. н., доцент Панов А.В.** (РТУ МИРЭА)

*e-mail: orinich.04@mail.ru*

*В ходе работы были получены сидерофоры азотфиксирующих бактерий, выделенных из образцов почвы Ботанического сада РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, зарегистрированы спектры флуоресценции сидерофоров и проведен тест Арноу с последующей спектрофотометрией для определения типа сидерофора. Спектры флуоресценции данных сидерофоров соответствуют азотобактину, и по результатам теста Арноу все они содержат катехольную группу, как и азотобактин.*

**Ключевые слова:** сидерофоры, азотфиксирующие бактерии, антагонизм, железо, катехол, флуоресценция, детекция биомолекул.

Железо является необходимым элементом для жизни для многих микроорганизмов. Оно выполняет роль кофактора ферментов основных клеточных, метаболических и биосинтетических процессов. Древние потомки современных микроорганизмов были способны захватывать биодоступное легкорастворимое двухвалентное железо ( $\text{Fe}^{2+}$ ), которым в то время была наполнена среда вокруг из-за сравнительно малой концентрации кислорода в атмосфере. Однако с медленным необратимым повышением его процентного содержания, двухвалентное железо постепенно окислялось до малорастворимого трехвалентного железа ( $\text{Fe}^{3+}$ ), которое является биологически труднодоступным микроэлементом, и для его захвата клеткой микроорганизмам пришлось вырабатывать различные хелатирующие агенты. Такими хелаторами стали сидерофоры – высокоаффинные низкомолекулярные соединения, способные связывать трехвалентное железо ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Сидерофоры обычно являются нерибосомными пептидами, производимыми бактериальной клеткой в ответ на дефицит железа. Изучение этих молекул неоспоримо актуально, поскольку они не только являются хелаторами  $\text{Fe(III)}$ , но и способны связывать такие металлы как  $\text{Mo(VI)}$ ,  $\text{Al(III)}$ ,  $\text{Zn(II)}$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Ca(II)}$ ,  $\text{Ga(III)}$  и  $\text{K(I)}$  [1].

Объектом данного исследования являются сидерофоры почвенных штаммов азотфиксирующих бактерий. При изучении антагонистической активности исследуемых штаммов в отношении *P. chlororaphis* 449 на культуральной среде при облучении УФ-светом с длиной волны 395 нм была выявлена флуоресценция неизвестного вещества. На основе литературных данных была предложена следующая гипотеза: за ответ на антиген *P. chlororaphis* 449 ответственны сидерофоры. Для подтверждения данного предположения необходимо было провести ряд экспериментов. Среди известных решений существуют качественные реакции (тест Чаки и тест Арноу) на определение типа функциональной группы и физико-химические методы анализа, такие как спектрофотометрия, спектрофлуориметрия, хроматография и т.п. Недостатком теста Чаки и теста Арноу является узконаправленность анализа на наличие конкретных функциональных групп, но не доказывающего принадлежность исследуемого соединения к сидерофорам. Недостатком спектрофотометрии и спектрофлуориметрии является высокая чувствительность приборов, которая, из-за наличия примесей, может накладывать ограничения на точность и чистоту анализа. Также данные методы не учитывают структурные изменения пептида. Было принято решение использовать комплекс методов для более точного определения сидерофоров, среди которых тест Арноу, спектрофотометрия и спектрофлуориметрия. Данный подход позволяет охарактеризовать исследуемое вещество с разных сторон, с учетом недостатков каждого метода.

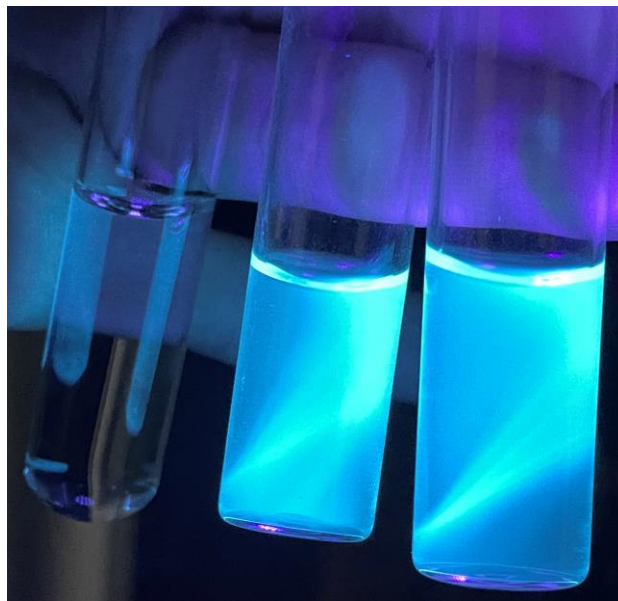


Рис. 1. Флуоресценция экстрактов культуральной жидкости при культивировании с антигенами *Pseudomonas chlororaphis* 449

Задача данного исследования – выделение и идентификация сидерофоров. Для получения сидерофоров проводили культивирование азотфиксирующих бактерий, выделенных из образцов почвы из Ботанического сада РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, в жидкой среде Эшби с добавлением бактериальных антигенов. Исследуемые штаммы микроорганизмов оценивали на выработку сидерофоров в ответ на антигены *Pseudomonas chlororaphis* 449, *Escherichia coli* M17, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* 209p. Культивирование проводилось в Orbital Shaker при 28°C и 215 об/мин в течение 1 недели. Для дальнейшего выделения исследуемого вещества центрифугировали культуральную жидкость и полученный супернатант пропустили через фильтр (0,45 мкм). Были выделены экстракты, содержащие сидерофоры, штаммов азотфиксирующих бактерий, ассоциированных с *Sorbus aucuparia*, *Fabaceae spp.*, *Monstera deliciosa*, *Quercus robur*, *Ficus carica* и *Aucuba japonica*. Далее проводили анализ полученных образцов. Регистрация спектров флуоресценции происходила при длине волны 490 нм на анализаторе жидкости Флюорат-02-Панорама (спектрофлуориметр). По результатам спектрофлуориметрии были получены спектры испускания данных образцов, на которых наблюдался пик при длине волны 350 нм, что соответствует литературным данным по азотобактину [2]. На рисунках 2 и 3 показана зависимость интенсивности флуоресценции при длине волны 350 нм от антигена штамма, добавляемого в культуральную жидкость. Наиболее сильную флуоресценцию в ответ на антиген *P. chlororaphis* 449 показали штаммы, ассоциированные с *Q. robur* и *A. japonica*, в ответ на антиген *E. coli* M17 – штаммы, ассоциированные с *S. aucuparia* и *M. deliciosa*, в ответ на антиген *S. aureus* 209p – штаммы, ассоциированные с *Fabaceae spp.* и *F. carica*, в ответ на антиген *B. subtilis* ATCC 6633 – штаммы, ассоциированные с *F. carica* и *M. deliciosa*.

Затем был проведён тест Арноу [3], который показал, что фильтрат содержит сидерофоры катехолового типа, к которым относится и азотобактин [4–7]. Для проведения испытания к 1 мл культуральной жидкости последовательно добавляли 1 мл 0,5 М HCl, 1 мл нитритно-молибдатного реагента и 1 мл 1 М NaOH, выдерживали 5 мин при комнатной температуре и затем регистрировали спектр поглощения в диапазоне длин волн от 190 до 700 нм на спектрофотометре СФ-104. При наличии сидерофора катехолового типа раствор окрашивается в оранжево-красный цвет. Интенсивность окраски зависит от количества присутствующих катехолов и позволяет судить об активности каждого штамма в ответ на антиген фитопатогенной бактерии *Pseudomonas chlororaphis* 449.

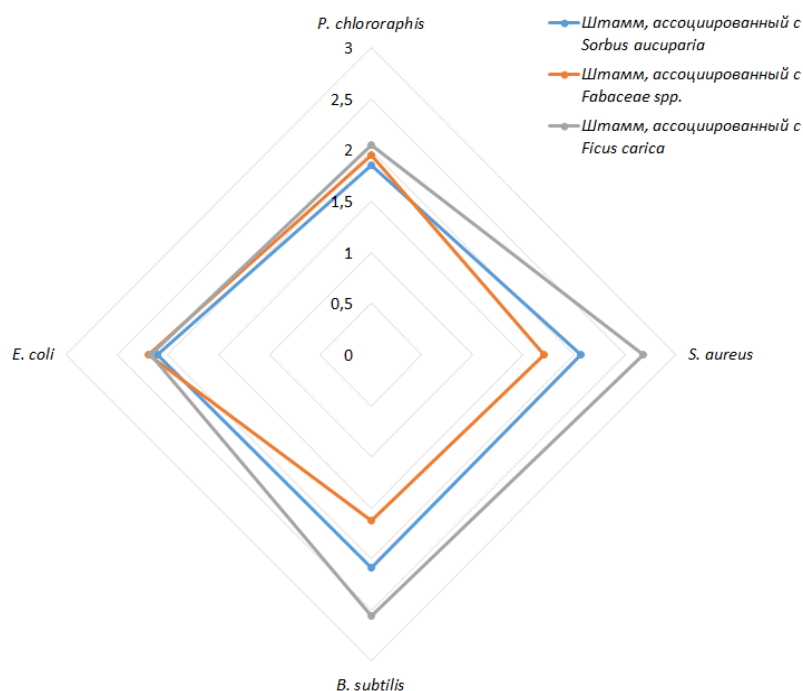


Рис. 2. Зависимость интенсивности флуоресценции при длине волны 350 нм от антигена штамма, добавляемого в культуральную жидкость, для штаммов, ассоциированных с *S. aucuparia*, *Fabaceae spp.* и *F. Carica*

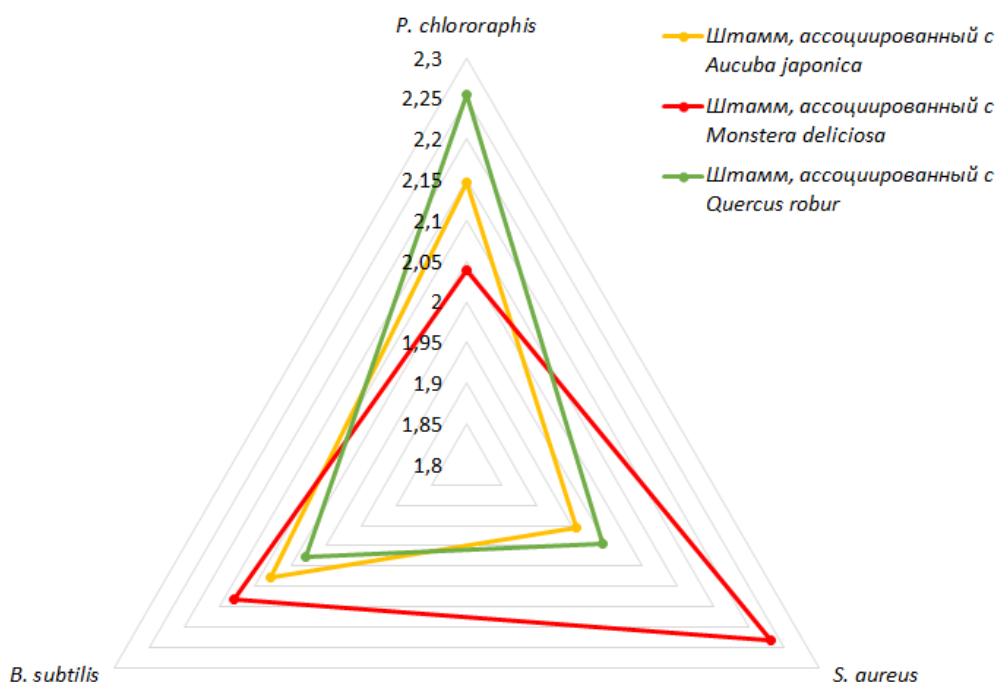


Рис. 3. Зависимость интенсивности флуоресценции при длине волны 350 нм от антигена штамма, добавляемого в культуральную жидкость, для штаммов, ассоциированных с *A. japonica*, *M. deliciosa* и *Q. Robur*

На рисунках 4 и 5 показана зависимость величины поглощения фильтрата от антигена штамма, добавляемого в культуральную жидкость. Наиболее интенсивная выработка сидерофоров катехолового ряда наблюдалась у штаммов, ассоциированных с *S. aucuparia* и *Fabaceae spp.*, которая была вызвана внесением антигена *S. aureus* 209p, у штаммов, ассоциированных с *M. deliciosa* и *Q. robur*, – антигеном *B. subtilis* ATCC 6633, у штаммов, ассоциированных с *F. carica* и *A. japonica*, – антигеном *P. chlororaphis* 449.

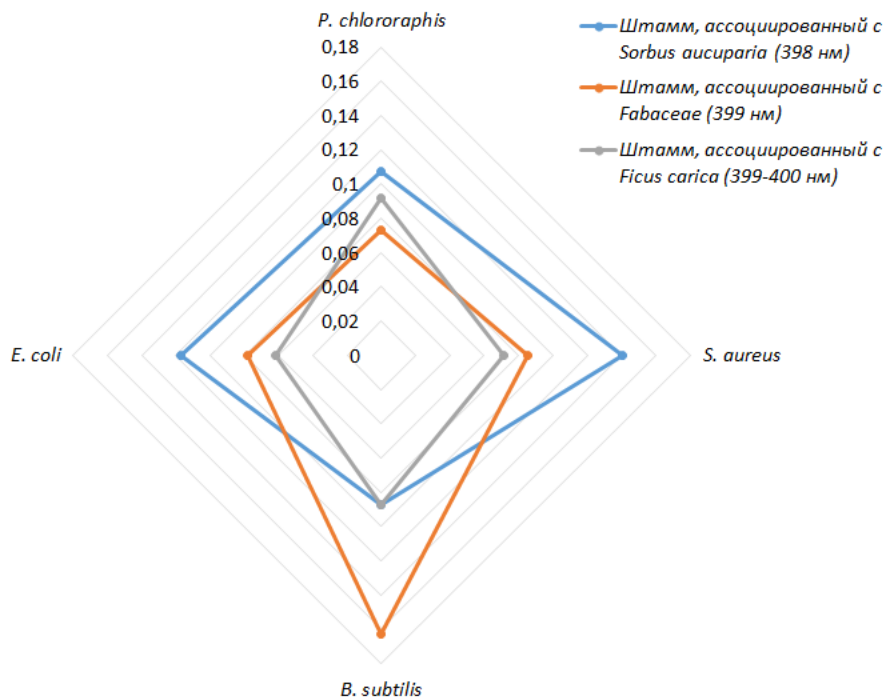


Рис. 4. Зависимость величины поглощения фильтратов культуральной жидкости штаммов, ассоциированных с *S. aucuparia*, *Fabaceae* spp. и *F. carica*, после проведения теста Арноу от антигена штамма, добавляемого в культуральную жидкость

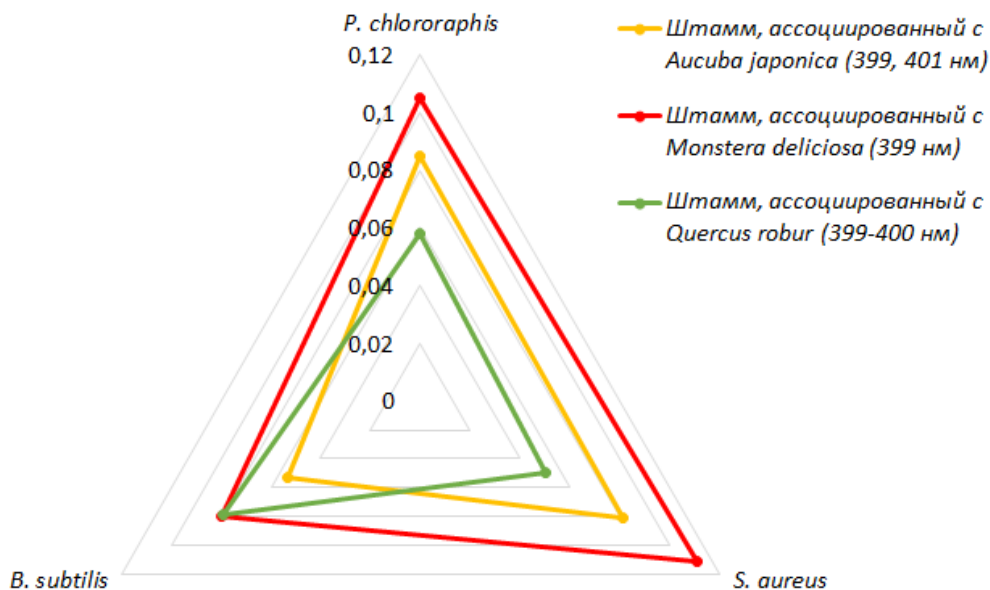


Рис. 5. Зависимость величины поглощения фильтратов культуральной жидкости штаммов, ассоциированных с *A. japonica*, *M. deliciosa* и *Q. robur*, после проведения теста Арноу от антигена штамма, добавляемого в культуральную жидкость

В ходе исследования были получены экстракты, содержащие сидерофоры, выделены и идентифицированы сидерофоры катехолового типа, а также изучены зависимости их накопления в питательной среде. В дальнейшем планируется изучение данных сидерофоров путем проведения теста Чаки и анализ с использованием хромасуроло S, очистка и рентгеноструктурный анализ сидерофоров. Также перспективной является разработка тест-систем и датчиков, чувствительных к ионам металлов, на основе обнаруженных сидерофоров.

### **Список использованных источников**

1. Górska A., Sloderbach A., Marszał M.P. Siderophore–drug complexes: potential medicinal applications of the ‘Trojan horse’ strategy // *Trends in Pharmacological Sciences*. – 2014. – V. 35 – №. 9. – Pp. 442–449.
2. Sharma M., Saxena R., Gohil N.K. Fluorescence assay of non-transferrin-bound iron in thalassemic sera using bacterial siderophore // *Analytical biochemistry*. – 2009. – V. 394. – №. 2. – Pp. 186–191.
3. Ferreira C.M.H., Vilas-Boas Â., Sousa C.A., Soares H.M.V.M., Soares E.V. Comparison of five bacterial strains producing siderophores with ability to chelate iron under alkaline conditions // *AMB Expr.* – 2019. – V. 9. – №. 78. DOI:10.1186/s13568-019-0796-3.
4. Fazary A.E., Al-Shihri A.S., Alfaifi M.Y., Saleh K.A., Alshehri M.A., Elbehairi S.E., Ju Y.H. Microbial production of four biodegradable siderophores under submerged fermentation // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2016. – V. 88. – Pp. 527–541.
5. Wilson B.R., Bogdan A.R., Miyazawa M., Hashimoto K., Tsuji Y. Siderophores in Iron Metabolism: From Mechanism to Therapy Potential // *Trends in Molecular Medicine*. – 2016. – V. 22. – №. 12. – Pp. 1077–1090.
6. Fan D., Fang Q. Siderophores for medical applications: Imaging, sensors, and therapeutics // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2021. – V. 597. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2021.120306.
7. Hider R.C., Kong X. Chemistry and biology of siderophores // *Natural Product Reports*. – 2010. – V. 27. – №. 5. – Pp. 637–657.

## Технологический менеджмент и инновации

---

УДК 643

### **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В РОССИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

**Бабушкина Я.А.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.э.н., доцент Янова Е.А.** (Университет ИТМО)

*e-mail: babyaroslava@yandex.ru*

*В статье рассматриваются современные вопросы реализации концепции устойчивого развития (Концепция) в России, проводится оценка текущего состояния реализации Концепции и выявляются основные трудности в данном направлении в настоящее время. Также изучаются практики реализации Концепции на уровне международного опыта и предлагаются пути совершенствования реализации Концепции в Российской Федерации для преодоления выявленных проблем.*

**Ключевые слова:** *устойчивое развитие, Концепция, реализация Концепции, основные проблемы, образование, региональное развитие, регионы.*

Начиная с середины XX века, особое внимание многие страны начали уделять вопросу устойчивого развития, другими словами, международные институты наиболее выразительно обращались к экологическим и социально-экономическим вызовам. Так, в 2015 году на семидесятой сессии Генеральной Ассамблеи ООН (ООН) был принят документ «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». В силу этого документа устойчивое развитие характеризуется как направление развития человечества, которое учитывает потребности нынешнего поколения без ущерба для возможностей будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. В данной научной статье рассматриваются проблемы и перспективы устойчивого развития, а также возможные пути достижения этой цели.

Страны активно взяли обязательства на обеспечение реализации основных 17 целей устойчивого развития для поддержания экономического роста, социальной интеграции и охраны окружающей среды.

Гипотезой исследования является признание наличия дифференциации в достижении целей устойчивого развития как на мировой арене, так и в России, в частности.

В целом направленность реализации устойчивого развития можно рассмотреть в задачах, которые указываются в рамках реализации цели «Региональное развитие». В условиях рассматриваемой цели Минэкономразвития России вырабатывает государственную политику и нормативно-правовое регулирование как раз в области социально-экономического развития субъектов РФ. К основным задачам относятся:

- разработка нормативно-правовых актов, регулирующих региональное развитие и территориальное планирование;
- соответствие стратегии социально-экономического развития каждого из регионов с национальными целями и задачами стратегической направленности государства;
- подготовка различных программ для достижения целей устойчивого развития отдельно взятых территорий;
- подготовка и внедрение инструментов и мероприятий для обеспечения поддержки территориям в области увеличения уровня инвестиционной привлекательности регионов (с учетом особых экономических зон) и др.

В связи с рассмотренными задачами можно заметить, что отсутствует четкая связь между устойчивым развитием и общими задачами развития регионов на перспективу [2].

Одной из выявленных проблем реализации Концепции является то, что концепция устойчивого развития задевает лишь некоторые территории, институты социума и категории граждан. Эту проблему можно разделить на два направления:

1. Реализация Концепции в регионах.
2. Достаточное информирование о целях устойчивого развития.

Если говорить про 2023 год, то по данным опроса Online Market Intelligence по заказу «Лаборатории Касперского», с терминами «ESG» и «устойчивое развитие» знакомы лишь 8% граждан, которые также могут объяснить значение этих направлений.

Тем не менее, эта компания делает важное замечание: незнание терминологии не означает, что тема устойчивого развития и ее проблематика не интересует россиян. Большее количество опрошенных уверены, что любая организация должна нести ответственность в экологическом (91%) и социальном (93%) вопросах. Более того, 76% респондентов сказали, что теми товарами и услугами, производители которых внедряют принципы устойчивого развития на своих предприятиях, они пользовались бы чаще.

Согласно опросу, незнание терминологии не означает, что россиянам безразлична эта проблематика. Подавляющее число респондентов уверены, что компании должны быть ответственны в социальном (93%) и экологическом (91%) плане, а большинство опрошенных (76%) готовы чаще пользоваться товарами или услугами производителей, которые реализуют соответствующие инициативы.

Второй проблемой является отсутствие комплексной реализации Концепции. Основные проекты России, связанные с устойчивым развитием, сконцентрированы на вопросе экологии, большинство проектов, направленных на устойчивое развитие в России, носят экологический характер (развитие экологических видов транспорта, экологическая модернизация промышленности, охрана биоразнообразия, энергосберегающие и возобновляемые источники энергии и т. д.). В пример можно привести 2022 год, когда бюро партнерств «Теперь так» провело опрос среди регионов России о наиболее ярких инициативах, которые направлены на решение проблем в области устойчивого развития.

На основе полученных данных был составлен список инициатив по различным направлениям: наибольшее количество проектов реализовано в сфере «Обращение с отходами» (за 2022 год было собрано и переработано 16,4 т вторсырья). На втором месте находится категория «Сохранение и восстановление экосистем», на третьем – «Экопросвещение». При этом, количество всех названных инициатив, связанных с инклюзией, сократилось с девяти до двух. Россия сталкивается с экологическими проблемами (загрязнение водных ресурсов, снижение биоразнообразия и изменение климата), но также в России существует социальное неравенство (неравенство доходов и доступа населения к ресурсам), что также затрудняет достижение социальной устойчивости, а также включение всех слоев населения в процесс развития.

Уровень неравенства доходов населения по регионам за 2021 год представлен в таблице [4].

Для большей наглядности ниже также представлена диаграмма, которая визуальным образом отражает изменения уровня доходов населения по субъектам за период 2019–2021 гг.

Из данных, представленных Федеральной службой государственной статистики, явно видно отклонение некоторых округов от денежных доходов в расчете на душу населения (рублей в месяц) по Российской Федерации в целом. Разность в денежных доходах напрямую можно считать в том числе социальным неравенством, что, в свою очередь, ограничивает доступ разных категорий населения к ресурсам и является третьей проблемой реализации Концепции устойчивого развития в России.

Таблица. **Денежные доходы населения по субъектам Российской Федерации**

	2019 год	2020 год	2021 год
	Денежные доходы в расчете на душу населения, рублей в месяц	Денежные доходы в расчете на душу населения, рублей в месяц	Денежные доходы в расчете на душу населения, рублей в месяц
Российская Федерация	35 506	36 240	40 304
Центральный федеральный округ	47 584	48 566	54 796
Северо-Западный федеральный округ	38 079	39 486	44 632
Южный федеральный округ	30 204	30 910	34 994
Северо-Кавказский федеральный округ	24 406	24 525	26 772
Приволжский федеральный округ	28 292	28 625	31 310
Уральский федеральный округ	37 038	37 351	40 219
Сибирский федеральный округ	27 217	27 999	30 778
Дальневосточный федеральный округ	37 962	39 086	42 454

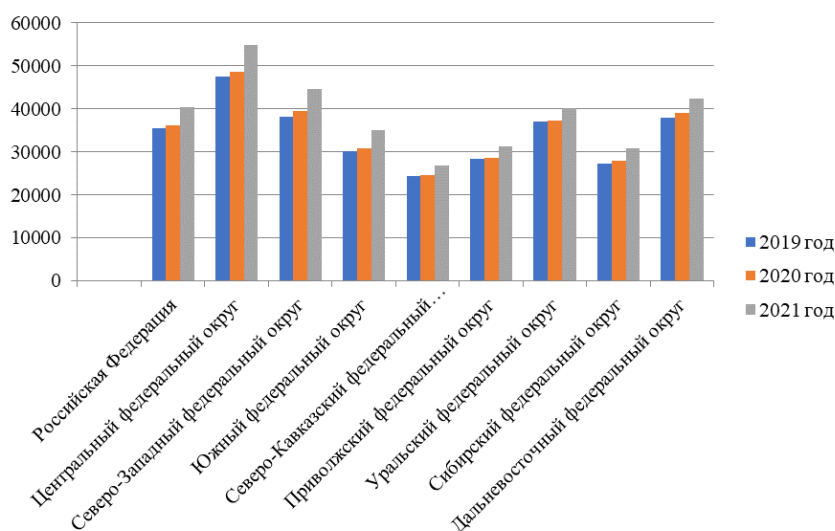


Рисунок. Уровень денежных доходов населения по субъектам Российской Федерации, руб.

Из данных, представленных Федеральной службой государственной статистики, явно видно отклонение некоторых округов от денежных доходов в расчете на душу населения (рублей в месяц) по Российской Федерации в целом. Разность в денежных доходах напрямую можно считать в том числе социального неравенства, что, в свою очередь, ограничивает доступ разных категорий населения к ресурсам и является третьей проблемой реализации Концепции устойчивого развития в России.

Четвертой проблемой в достижении устойчивого развития является экономическая зависимость страны от сырьевых ресурсов. Россия по-прежнему зависит от вывоза энергоносителей и сырья, что делает экономику уязвимой к колебаниям мировых цен на эти товары и затрудняет переход к более устойчивой и разнообразной экономике [1].

Таким образом, проблемами, связанными с реализацией Концепции устойчивого развития, являются:

1. Точечный охват информированности территорий о Концепции (низкий уровень образования и осведомленности населения об устойчивом развитии; реализация Концепции в регионах).



2. Отсутствие комплексной реализации Концепции.
3. Социальное неравенство как фактор, препятствующий реализации Концепции.
4. Экономическая зависимость от сырьевых ресурсов.

В связи с этим автором исследования предлагается решение существующих укрупненных проблем следующим образом:

1. Создание центрального (основного) органа, занимающегося процессом реализации устойчивого развития России, включающий в себя экспертов в области экономики, права, экологии и т.д. Также стоит отметить, что важной составляющей будет гражданское общество, бизнес и научные круги для предотвращения и обхождения возникающих проблем, связанных с устойчивым развитием, через создание партнерских отношений.

В частном секторе, например, применяется практика создания отделов, занимающихся стратегией устойчивого развития и ее реализацией. Но данная практика не распространена, что говорит о том, что отсутствует глобальное сотрудничество сразу нескольких направлений развития и согласованности действий (под конкретную организацию, территорию и т.д.).

2. Проведение кампаний общественного сознания, направленных на повышение информированности и осведомленности общества о важности устойчивого развития. На современном этапе устойчивое развитие как предмет изучения вводится, как правило, на уровне образовательных организаций (чаще высших) и некоторых компаний. Таким образом, ограничивается круг вовлечения общества в данный вопрос. Как рассматривалось выше, исходя из опроса, незнание терминологии и понятия «устойчивое развитие» не говорит о том, что социуму безразлична эта тема. Если повысить уровень информированности населения в области устойчивого развития не только посредством образовательных программ, а также с помощью проведения крупных мероприятий (форумы, выставки, акции) в разных регионах страны, велик шанс привлечения общественности к проблематике.
3. Закрепление понятия «Устойчивое развитие».

Подводя итог, можно с уверенностью говорить о том, что реализации Концепции устойчивого развития не является инновацией (как сам факт наличия рассматриваемой Концепции), однако, по-прежнему находится лишь на стадии освоения и внедрения. Реализация концепции устойчивого развития в России является актуальной и значимой задачей, требующей системного и комплексного подхода. Несмотря на некоторые реализованные меры и прогресс в этом направлении, все еще существует ряд проблем и вызовов, которые необходимо преодолеть.

В современной России наблюдается растущая осознанность общества о важности устойчивого развития. Это отражается во внедрении экологических стандартов, поддержке возобновляемых источников. Реализация концепции устойчивого развития в России предполагает сотрудничество не только между государственными органами, но и с участием общественности, бизнеса и неправительственных организаций.

### **Список использованных источников**

1. Варганов А.А., Мешкова В.С. Механизмы реализации концепции устойчивого развития: сущность, опыт, проблемы // Экономика и маркетинг: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – С. 134–137.
2. Елкина О.С., Елкин С.Е., Сырчин В.А. Проблемы и перспективы достижения Россией целей устойчивого развития // Теоретическая экономика. – 2022. – №. 5(89). – С. 35–41.
3. Лясковская Е.А., Халилова Г.Р. Устойчивое развитие в цифровой экономике: киберэкология бизнеса // Вестник ЮУрГУ. – 2023. – №. 1. – С. 75–89.
4. Федеральная служба государственной статистики. Неравенство и бедность. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/13723> (дата обращения: 03.10.2023).

УДК 332.142.6

## **РЕГИОНАЛЬНАЯ РАМКА РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ**

**Барболина В.А.** (студент, Университет ИТМО), **Филатова Л.П.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: преподаватель Мошурова Е.Ю.** (Университет ИТМО)

*e-mail: vikt0ria.ooo@yandex.ru*

*В работе рассмотрены зеленые технологии как один из ключевых факторов, влияющих на экологизацию и развитие инновационной деятельности в субъектах Российской Федерации. В рамках исследования были проанализированы экологические рейтинги, а также проведена оценка экологического фактора в стратегиях социально-экономического развития регионов.*

**Ключевые слова:** *зеленые технологии, развитие регионов, зеленые инновации, экологические рейтинги, устойчивое развитие.*

Целью данной работы является исследование существующих инструментов измерения и контроля степени распространенности зеленых инноваций в регионах России.

Задачи исследования заключаются в:

- обзоре федеральных нормативно-правовых актов, отражающих экологический вектор развития страны;
- анализе экологических рэнкингов регионов;
- сравнительном анализе структуры социально-экономических стратегий регионов в рамках экологической повестки.

В статье авторами формулируется необходимость создания карты зеленых технологий по регионам России и их отраслевой принадлежности.

Спектр технологий, входящих в понятие “зеленые”, определен исследовательской компанией Plunkett Research и взят в качестве основы для данного исследования. К таким зеленым технологиям относятся [1]:

- энергетические технологии, которые включают в себя производство возобновляемой и другой альтернативной энергии;
- технологии сбережения, рециркуляции и производства воды из возобновляемых источников;
- природоохранные и препятствующие загрязнению устройства и услуги;
- прочие технологии (утилизация и сбережение металлов, лесоматериалов, бумаги, химической продукции и синтетических материалов).

Вопросы развития зеленых технологий в России являются ключевыми на федеральном уровне [2]. Для их реализации принимаются утверждаются национальные стратегии, концепции и проекты, такие как:

- Национальный проект “Экология” [3];
- Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 “О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года” [4];
- Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2021 N 3496-р “Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования” [5];
- Распоряжение Правительства РФ от 23.08.2021 N 2290-р (ред. от 29.10.2022) “Об утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года” (вместе с “Планом мероприятий (“дорожной картой”) по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года”) [6];
- Распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 N 2162-р “Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации” [7];
- Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 N 1587 (ред. от 11.03.2023) “Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в

Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого (в том числе зеленого) развития [8];

- Федеральный закон "Об ограничении выбросов парниковых газов" от 02.07.2021 N 296-ФЗ [9].

Важно отметить, что Указом Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года" [10] в рамках национальной цели "Комфортная и безопасная среда для жизни" предполагается создание устойчивой системы обращения с твердыми отходами и снижение выбросов опасных загрязняющих веществ. Кроме того, в Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [11] предполагается достижение углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики, что говорит о необходимости расширения области применения зеленых технологий в различных регионах страны. Таким образом, перед авторами статьи стоит вопрос более подробного изучения различных инструментов, отражающих степень развития регионов России с целью углубленного изучения степени распространенности зеленых технологий.

В России не существует рейтинга использования зеленых технологий по регионам. Большинство рейтингов, отображающих уровень устойчивого развития регионов, ориентируются на критерии ESG, которые рассматривают совокупность социально-экологических факторов. Поэтому наиболее релевантным будет использование экологического рейтинга для того, чтобы увидеть, в каких регионах развит экологический аспект в наибольшей мере и выявить наличие и использование зеленых технологий в данных регионах.

Необходимость развития области зеленых технологий обоснована малым количеством мер по защите окружающей среды. В данной работе рассмотрены методологии составления трех рейтингов, отражающих уровень экологического развития в регионах:

- экологический рейтинг субъектов ("АКРА") [12];
- экологический рейтинг регионов ("Зеленый патруль") [13];
- зеленый рейтинг регионов ("РЭО") [14].

По результатам анализа методологии рейтингов был выбран Экологический рейтинг субъектов от АКРА для дальнейшего исследования. Причиной выбора данного рейтинга стала явная взаимосвязь факторов рейтинга и направлений зеленых технологий, например, существуют "технологии регулирования выброса парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу", которые коррелируют с фактором "Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников", то есть, чем меньше выбросов, тем больше подобных технологий используется в данном регионе.

Кроме того, методология данного рейтинга в 2022 году обновилась и расширилась путем добавления факторов "Расходы на охрану окружающей среды" и "Доля уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферу веществ в общем объеме загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников", что говорит об избирательной направленности рейтинга.

Зеленый рейтинг регионов от РЭО сконцентрирован на вопросах ТКО и утилизации мусора, что не связано с зелеными технологиями, которые используются относительно различных отраслей. А "Экологический рейтинг регионов" за 2023 год, который составлен общероссийской общественной организацией "Зеленый патруль", отражает экологическую ситуацию в целом, что сложно интерпретировать в рамках технологического аспекта зеленой экономики.

Есть федеральные документы, регламентирующие общие вопросы, частными случаями внедрения на региональном уровне занимаются соответствующие власти.

В связи с ранее изложенным был проведен анализ стратегий социально-экономического развития регионов. По результатам сравнения данных нормативно-правовых актов отмечена разнородность их составления, которая указывает на все еще существующую необходимость составления единых стандартов структуры отчетности [15].

При анализе стратегий авторы изучали следующие аспекты:

- обоснование экологической проблематики. По данному параметру следует отметить, что 63 региона отмечают риски загрязнения окружающей среды и негативного антропогенного влияния на природу;
- наличие экологических целей и задач. Всего 13 регионов не ставят целей и задач по защите окружающей среды;
- наличие экологического аспекта в сценарных подходах. 61 регион не отмечает со сценарными подходами экологический аспект, более того большинство регионов в своих стратегиях не прописывают такой метод как сценарное планирование;
- включение экологических параметров в качестве целевых показателей. 47 регионов проводят количественный анализ показателей, отражающих негативное влияние на природу;
- наличие отдельного пункта про экологию. 7 субъектов РФ пишут про экологию только в разрезе других отраслей;
- наличие экологических проектов. 8 регионов не представляют в своих стратегиях конкретных проектов по улучшению экологической ситуации;
- фигурирование зеленых технологий. 18 регионов упоминают экологические технологии как важный элемент развития устойчивой экономики.

Таким образом, всего 6 регионов не выделяют экологический фактор как существенный, а в 13 стратегиях не прослеживается приоритетность данного направления. Однако в 22 стратегиях несмотря на то, что экология выделяется как важный аспект развития региона, отсутствуют конкретные шаги и этапы решения проблем природного характера, которые можно отследить. Так, наличие отдельного пункта про экологию не говорит о приоритетности экологии в стратегии региона. Некоторые говорят про продвижение региона за счет создания “зеленого” бренда.

Во многих стратегиях делается акцент не на экологии в целом, а на отдельных аспектах, например, на ТКО, сельскохозяйственной деятельности, экологическом туризме, разработке экологического законодательства и образования. Реже упоминаются зеленое строительство, экологический мониторинг и зеленые стандарты в финансовой отчетности.

В рамках данного исследования стратегии Брянской области, Калужской области, Республики Дагестан, Самарской области, Липецкой области и Ханты-Мансийского автономного округа- Югра показали авторам статьи наиболее наполненными с точки зрения экологии и зеленых технологий. В стратегиях описаны сформулированные практики применения и наработки по масштабированию.

Таким образом, нет прямой корреляции между местом региона в экологическом рейтинге и использованием на его территории зеленых технологий. Можно утверждать, что ни рейтинг, ни стратегии не отражают напрямую уровень использования зеленых технологий в регионах.

Проектная деятельность по разработке и применению зеленых технологий в наиболее встречающихся областях – энергетике и нефтехимии - ведется во многих регионах за счет индустриальных и технологических компаний-лидеров. Они имеют необходимую технологическую базу и специализированные лаборатории, которые готовы и уже проводят разработки по созданию технологий в ведущих отраслях с упором на инновационную и экологическую составляющие.

Соответственно, следует обратить внимание на крупные компании и их региональную представленность. Зафиксировать наличие зеленых технологий у данных предприятий с помощью патентного поиска и анализа их стратегических документов.

Подводя итог всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- во-первых, исходя из проведенного обзора нормативно-правовой базы федерального уровня, экология является важной составляющей устойчивого развития, к которому стремится Российская Федерация;
- во-вторых, существует три экологических рейтинга, среди которых следует выделить Экологический рейтинг субъектов от АКРА, который наиболее существенно отражает технологический аспект зеленой экономики;

– в-третьих, стратегии социально-экономического развития регионов не представляют подробную информацию по использованию зеленых технологий в субъектах России.

Авторами статьи было принято решение о том, что необходимо провести более глубокое исследование наличия зеленых технологий в субъектах РФ, для чего необходимо осуществить патентный поиск и подробно изучить инновации компаний в региональном разрезе.

### Список использованных источников

1. Барышева Г.А., Егорова М.С. Зеленые технологии: определение понятия, этапы становления и роль в устойчивом развитии экономики // Теория и практика общественного развития. – 2019. – №. 12(142). – С. 48–54.
2. Егорова М.С., Цубрович Я.А. Анализ востребованности «зеленых» технологий в России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – №. 5–2. – С. 305–307.
3. Национальный проект “Экология”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/activity/np\\_ecology/](https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/) (дата обращения: 08.10.2023).
4. Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 “О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71559074/> (дата обращения: 08.10.2023).
5. Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2021 N 3496-р “Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403109030/> (дата обращения: 08.10.2023).
6. Распоряжение Правительства РФ от 23.08.2021 N 2290-р (ред. от 29.10.2022) “Об утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года” (вместе с “Планом мероприятий (“дорожной картой”) по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года”). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_393496/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_393496/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/) (дата обращения: 08.10.2023).
7. Распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 N 2162-р “Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_392518/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_392518/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/) (дата обращения: 08.10.2023).
8. Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 N 1587 (ред. от 11.03.2023) “Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого (в том числе зеленого) развития. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_396203/24a3f69d52e6c5b600033bd1c1d024aa35ee569a/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_396203/24a3f69d52e6c5b600033bd1c1d024aa35ee569a/) (дата обращения: 08.10.2023).
9. Федеральный закон “Об ограничении выбросов парниковых газов” от 02.07.2021 N 296-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_388992/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/) (дата обращения: 08.10.2023).
10. Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. N 474 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/74404210/> (дата обращения: 06.10.2023).
11. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р “Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_399657/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/) (дата обращения: 06.10.2023).
12. Экологический рэнкинг регионов России АКРА — 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://acra-ratings.ru/research/2713/?lang=ru> (дата обращения: 06.10.2023).
13. Национальный экологический рейтинг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://зеленыйпатруль.рф/stranica-dlya-obshchego-reytinga> (дата обращения: 06.10.2023).
14. ППК РЭО - Зеленый рейтинг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reo.ru/rating> (дата обращения: 06.10.2023).
15. Шеломенцев А.Г., Беляев В.Н., Илинбаева Е.А. Оценка экологического фактора в стратегиях социально-экономического развития // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. – 2014. – №. 1. – С. 169–179.

УДК 347.77

## **ИНСТРУМЕНТЫ ПРАВОВОЙ ОХРАНЫ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В СЕКТОРЕ FOODTECH**

**Казакова Г.А.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.э.н., доцент Николаев А.С.** (Университет ИТМО)

*e-mail: galina.kazakova.2001@gmail.com*

*В работе рассмотрены перспективы развития экономического сектора Foodtech и ключевые направления инновационных разработок. С целью правовой охраны и продвижения пищевых продуктов на рынке рассмотрены способы охраны пищевых продуктов и инноваций сектора Foodtech.*

**Ключевые слова:** *Foodtech, инновации, направления развития, правовая охрана, интеллектуальная собственность, патент, товарный знак.*

В эпоху глобальной нестабильности рынок Foodtech набирает обороты и с каждым годом выдает растущие показатели развития. Потребителями на данном рынке является все население планеты Земля, а это больше 8 миллиардов человек. Следовательно, объем рынка продуктов питания, несомненно, велик, ведь всегда есть на него спрос. Если есть спрос, должно быть и предложение, поэтому данный сектор перспективен не только для инвесторов, но и для инноваторов, так как есть огромный простор для творчества и создания новых продуктов, отсутствуют преграды для входа на рынок. FoodTech объединяет множество процессов: начиная от выращивания помидоров и приготовления авторских блюд в ресторане, и заканчивая доставкой продуктов с помощью роботов или разработкой приложений по поиску вина к ужину. Какая же охрана инноваций в данной индустрии?

Рассмотрим, какие же примеры направлений развития особенно выделяются в секторе Foodtech в наши дни:

1. Доставка. Во время пандемии рынок доставки показал рекордные показатели роста. Согласно РАЭК, этот рост в 2020 году составил 69% по сравнению с 2019 годом, и последующие годы динамика сохраняется. Люди стали больше доверять онлайн-покупкам и это стало обыденностью даже для тех, кто раньше придерживался традиционного формата покупки продуктов в offline магазинах. Сейчас активно развивается «Кухня 2.0»: Dark kitchen и Dark store, которые нацелены лишь на прямую связь с людьми, которые заказывают доставку еды.
2. Агротехнологии и сельскохозяйственные биотехнологии. Здесь идет цифровизация отрасли и оптимизация процессов на каждом этапе производства, новые разработки в области селекции, выращивание органически чистой продукции, умные вертикальные фермы и многое другое.
3. Умная и экологичная упаковка. Упаковка, которая позволяет увеличить срок годности продукта, проконтролировать свежесть, повысить целостность и безопасность, а также не навредить окружающей среде. В целом, улучшение качества не только выпускаемой продукции, но и обслуживания клиентов.
4. Альтернативные источники белка и инновационные продукты питания. Создаются заменители мяса, рыбы и молока на основе растительного сырья, добывается протеин из водорослей и насекомых, производятся продукты с помощью микроорганизмов, активно пропагандируются продукты для здорового образа жизни на основе природных ингредиентов, продукты с пониженной калорийностью, без сахара и так далее. Это обусловлено такими глобальными проблемами, как: рост населения, климатическими факторами, трендами рационального потребления и гуманизма к животным.
5. IoT. Интернет вещей подразумевает механизацию всего Foodtech. Выявление болезней в сельском хозяйстве, умные холодильники и плиты, быстрая упаковка, сокращение отходов, повышение безопасности производства и хранения, оптимизация логистики и многое другое.
6. Персонализированное питание. Данный тренд предоставляет рекомендации по употреблению определенных продуктов, витаминов, макро- и микроэлементов для

каждого человека в зависимости от биохимических анализов, генетических тестов, образа жизни, метаболизма и других индивидуальных показателей. Таким образом, разрабатываются различные сервисы, индивидуальные рационы, готовые наборы питания по личным предпочтениям.

Какие же существуют инструменты охраны интеллектуальной собственности, если мы говорим о еде и напитках?

1. Патент. С помощью патентного права можно охранять инновационную рецептуру в качестве изобретения как технологию или способ производства продукта, если она удовлетворяет по трем критериям: новизна, изобретательский уровень и промышленная применимость. Если это секретная технология, которая сопровождается секретностью, то разработку можно признать как ноу-хау. Либо есть возможность патентования продукта как полезной модели при условии новой конфигурации и спецификации, усовершенствования функциональности. Также подвергается патентованию дизайн продукта или его упаковки в качестве промышленного образца. Таким образом, можно удачно монетизировать запатентованную разработку, защитить от плагиата, получить преимущество перед другими участниками рынка и, возможно, получить дополнительный доход и привлечь инвестиции.
2. Товарный знак. Товарные знаки играют огромную роль в создании инновационных продуктов. С помощью товарных знаков можно продвигать брэнды на рынке. Обычно в качестве товарного знака регистрируются названия, логотипы, этикетки или слоганы, которые привлекают потребителей и позволяют выделить продукт. Согласно Роспатенту, в РФ зарегистрировано больше 800 тысяч товарных знаков. С их помощью можно выиграть в спорах с конкурентами, продавать франшизу, размещать рекламу. Кроме того, срок охраны товарного знака можно продлевать много раз и его проще и быстрее зарегистрировать и отстоять в споре, чем объекты патентного права.

Таким образом, Foodtech предоставляет много незаполненных ниш и перспектив для развития и разработок инновационных продуктов. В данном секторе при условии грамотно выстроенной бизнес-модели и правовой охраны можно получить конкурентное преимущество, прибыль, привлечь инвесторов и идти в соответствии с трендами и запросами современного общества.

#### **Список использованных источников**

1. Канунникова К.И., Хвойников А.Н., Павлова Е.А., Орлова О.Ю. Перспективы развития рынка FoodTech в России // Вопросы инновационной экономики. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 523–536.
2. LegalTech, FinTech, RegTech etc.: правовые аспекты использования цифровых технологий в коммерческой деятельности: коллективная монография / рук. авт. кол. и науч. ред. М.А. Рожкова. – Москва : Статут, 2021. – 310 с.
3. Котенева О.Е., Николаев А.С. Методы управления интеллектуальной собственностью.: учебно-методическое пособие / О.Е. Котенева, А.С. Николаев. – СПб.: Университет ИТМО. – 2020. – 105 с.

УДК 633.854.78

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПИЩЕВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО БЕЛКА НА ОСНОВЕ ПОДСОЛНЕЧНИКА: ПАТЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

**Крылова И.В.** (аспирант, Университет ИТМО; ВНИИЖиров)

**Научный руководитель: д.т.н., доцент Федоров А.В.** (Университет ИТМО; ВНИИЖиров)

*e-mail: irinakrylova1987@gmail.com*

*Продукты переработки подсолнечника - перспективное сырье для получения белка. Технологии получения пищевого и кормового белка из подсолнечного шрота появились еще в середине XX века и с тех пор прошли значительный путь развития. Такие технологии востребованы в тех странах, где выращивание подсолнечника существует в больших объемах. Данная статья представляет собой патентное исследование технологий получения подсолнечного белка в мировом масштабе.*

**Ключевые слова:** патентование, подсолнечник, шрот, белок, технология.

Подсолнечный шрот, как продукт переработки подсолнечника, является ценным сырьем для получения пищевого белка [1, 2]. Это объясняется как составом белкового комплекса данного сырья, так и экономическими особенностями переработки подсолнечника. В первую очередь использование подсолнечного шрота целесообразно с экономической точки зрения. Семена подсолнечника перерабатываются на масло в больших объемах, а, следовательно, в результате получают большие объемы подсолнечного шрота. Шрот, как продукт переработки подсолнечника, содержит ценный белок. Белок подсолнечника имеет высокую переваримость – до 90% [3]. Его биологическая ценность, как и у большинства растительных белков, около 60%. Аминокислотный состав подсолнечника делает его перспективным для включения в разнообразные продукты питания [4]. Также в белке подсолнечника отсутствуют спирторастворимые белки – проламины, что делает его перспективным для питания людей с целиакией.

Целью данного патентного исследования было изучение патентных данных о получении подсолнечного белка в мировых масштабах. Для этого был выполнен ряд задач: определено количество релевантных патентов, рассмотрено развитие данной темы по годам, выявлены ключевые страны и компании-патентообладатели.

Метод исследования – формирование списка ключевых слов и поиск по ним в патентной базе Orbit. База данных Orbit Intelligence [5] содержит свыше 60 миллионов документов более 100 патентных ведомств стран из всех регионов мира и международных патентных ведомств. База включает не только зарегистрированные патенты практически всех стран, но и документы от стадии заявки до регистрации, документы на промышленные образцы и товарные знаки.

На основе предварительного изучения научных статей и литературы были выбраны следующие ключевые слова для поиска: sunflower, protein, production, preparing, fractioning, extraction. Слова sunflower и protein относятся к теме исследования – подсолнечный белок. Остальные относятся к его получению (production, preparing) и конкретным технологиям (extraction, fractioning).

Для патентного исследования по теме получения подсолнечного белка был сформулирован запрос. В поле Заголовок, Реферат, Формула изобретения, Независимая формула: sunflower AND protein. Дополнительно в поле Заголовок и Реферат: production OR preparing OR fractioning OR extraction.

По данному запросу найдено 2665 патентных семейств, из них 1341 действующий патент. По системе классификации МПК большинство найденных патентов относилось к коду A23J3 – белковые составы для пищевых продуктов.

Патенты по технологии получения подсолнечного белка относились к пяти основным предметным областям: пищевой химии, биотехнологии, материаловедению, органической химии и фармацевтике (рис. 1). Из них 42% принадлежало к области пищевой химии, что полностью соответствует теме исследования – получению пищевого белка. Еще 17% относилось к биотехнологии, около 9% к материаловедению.



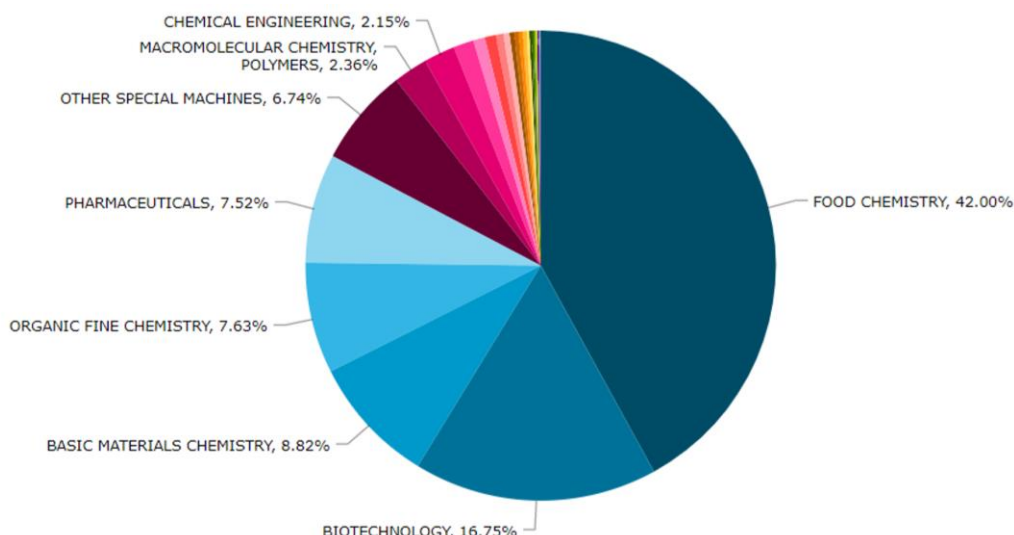


Рис. 1. Распределение патентов по предметным областям

Пищевая химия – это наука о химическом составе пищевых систем. Она изучает химический состав пищевого сырья, ингредиентов, полуфабрикатов и готовых продуктов. Кроме того, в задачи пищевой химии входит поиск новых сырьевых источников, конструирование новых продуктов питания и создание новых технологий для пищевых производств. Одна из наиболее актуальных задач – поиск и изучение нетрадиционных источников белка, в том числе растительного. Подсолнечный белок – один из перспективных, но еще недостаточно изученных источников растительного белка.

Биотехнология включает в себя такую отрасль, как пищевая биотехнология. Эта область исследований и разработок направлена на получение пищевого сырья, продуктов и ингредиентов с новыми свойствами. Сюда же относится поиск вторичных пищевых ресурсов, в том числе продуктов переработки подсолнечника (жмыхи, шроты).

Материаловедение занимается как изучением свойств уже существующих материалов, так и созданием новых. Одно из новых направлений – создание биополимеров на растительной основе. Их получают на основе возобновляемого растительного сырья, и многие из них являются биоразлагаемыми.

Было изучено распределение патентов по годам. По дате публикации патенты распределены с 1936 года по настоящее время. При этом до 1996 года публиковалось до 100 патентов в год, а после 1996 года уже от 200 до 700 патентов в год (рис. 2).

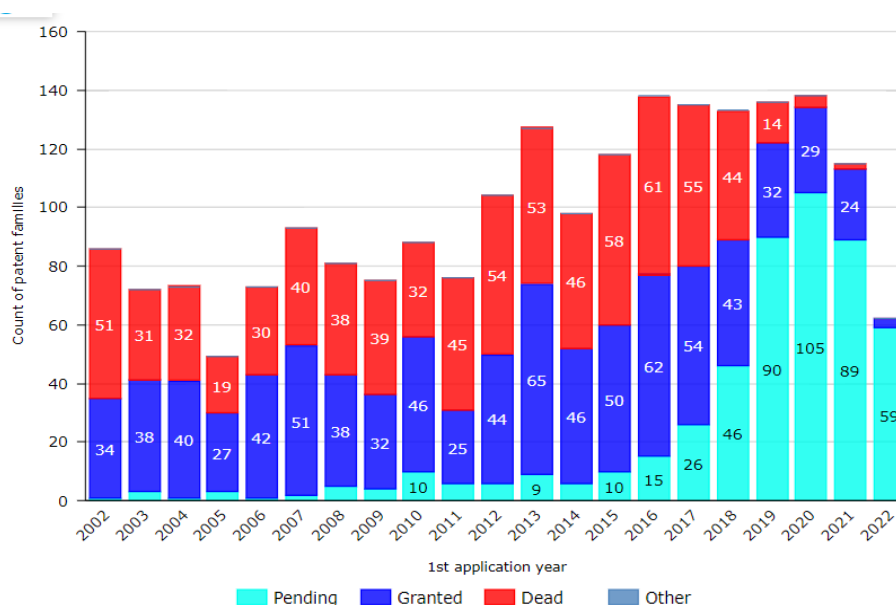


Рис. 2. Патенты за 2002–2022 гг.

Из графика виден устойчивый интерес к теме подсолнечного белка, несмотря на некоторый спад в последние три года. В 2002–2017 гг. количество действующих патентов оставалось примерно на одном уровне (45–75). При этом в 2018–2021 гг. заметно выросло число вновь поданных патентов.

Первый патент, посвященный технологии получения подсолнечного белка, относится к 1915 году [6]. В нем описано получение белковых фракций из продуктов переработки подсолнечника. Используются щелочные растворители, этот подход использовался до недавнего времени, пока не появились новые требования к пищевой безопасности и экологии производства.

Затем было изучено распределение патентов по странам. В первой десятке находились следующие страны: Китай, США, Индия, Канада, Мексика, Бразилия и другие (рис. 3). Россия вошла в первые двадцать стран со 135 патентными семействами.

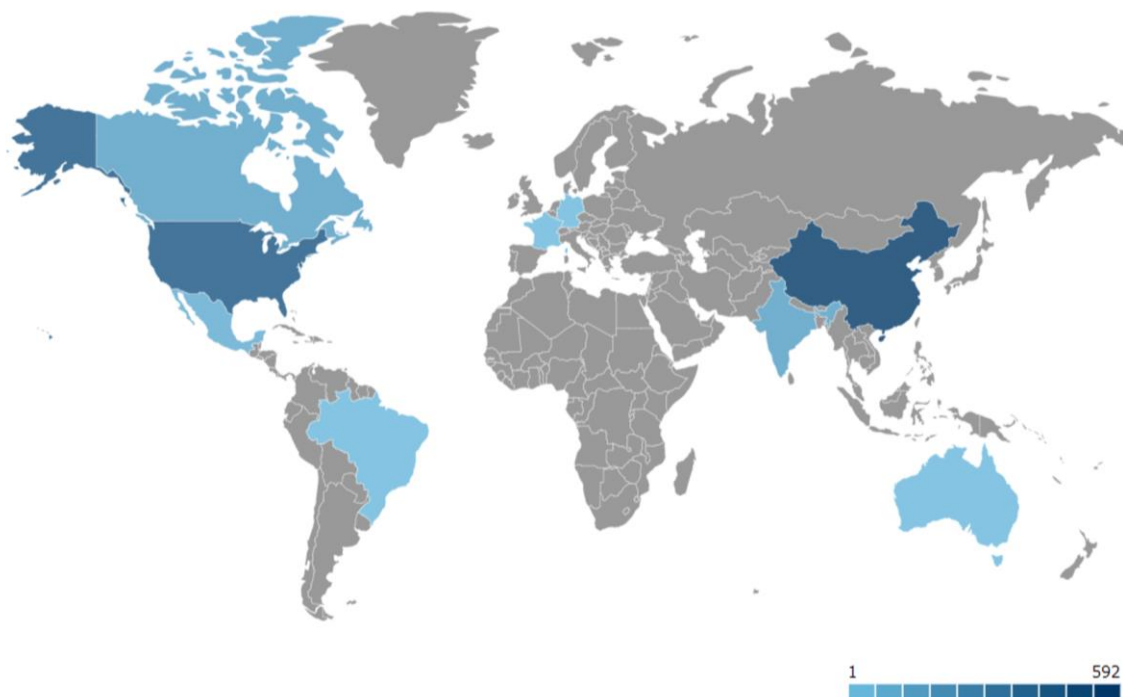


Рис. 3. Географическое распределение патентов

Большинство стран первой десятки являются лидерами по выращиванию подсолнечника как масличной культуры, чем и объясняется их интерес к новым способам его использования. Также это страны с высоким уровнем развития биотехнологий.

В 2022 году в первую пятерку производителей подсолнечника вошли следующие страны: Россия (16,5 млн. т.), Украина (10,0 млн. т.), Европейский Союз (9,5 млн. т.), Аргентина (4,2 млн. т.), Китай (2,7 млн. т.) [7]. Китай занимает первое место по количеству патентов, несмотря на относительно невысокие объемы выращивания подсолнечника. Также США входит в первую десятку по количеству патентов, хотя и не является одним из лидеров выращивания подсолнечника. В то же время Россия пока не входит в первую десятку патентообладателей. Таким образом, по количеству патентов лидируют не столько производители самого растительного сырья, сколько наиболее высокотехнологичные страны. Было изучено распределение патентных семейств по компаниям-патентообладателям. По результатам запроса, только 14% патентов принадлежали компаниям, вошедшим в первую десятку. Это означает, что ни одна из компаний не является лидером по количеству патентов. В первую пятерку компаний вошли компании Monsanto Technology (больше всего действующих патентов – 44 патентных семейства), Pioneer Hi Bred International, Nestle, Кубанский аграрный университет и BASF Plant Science (рис. 4).

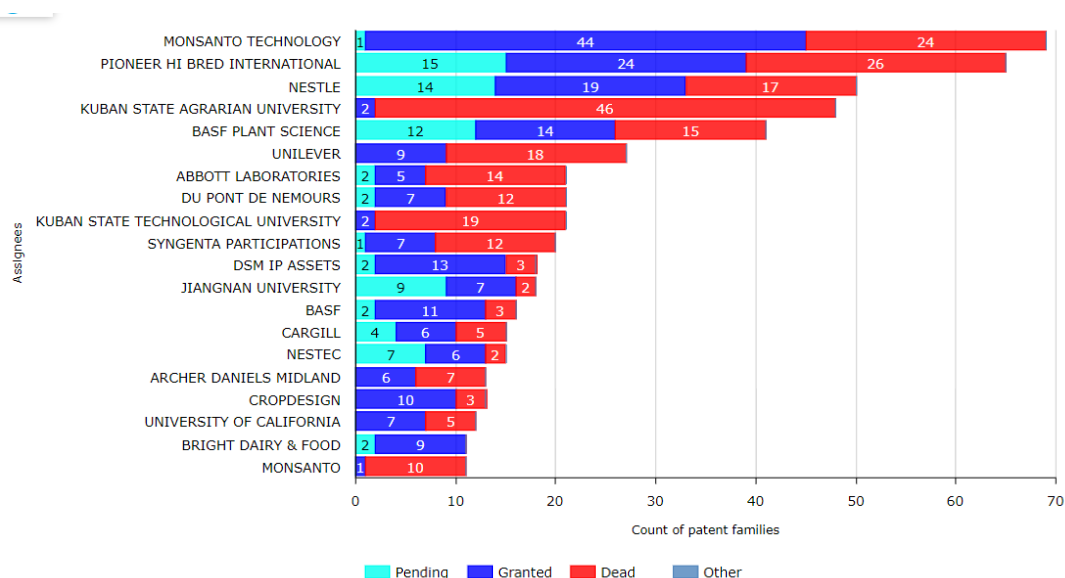


Рис. 4. Первые двадцать ключевых игроков

Monsanto Technology – многоотраслевая транснациональная компания, мировой лидер биотехнологии растений. Основная продукция — генетически модифицированные семена и гербициды. Компания существует с 1901 года.

Pioneer Hi Bred International – американская компания, занимающаяся выведением новых сортов кукурузы, подсолнечника, сои, сорго и некоторых других культур. Основана в 1924 году.

Nestle – швейцарская транснациональная корпорация, крупнейший в мире производитель продуктов питания. Существует с 1866 года. В последнее время компания проявляет интерес к созданию альтернативных белков, в том числе растительных, в качестве заменителей молока.

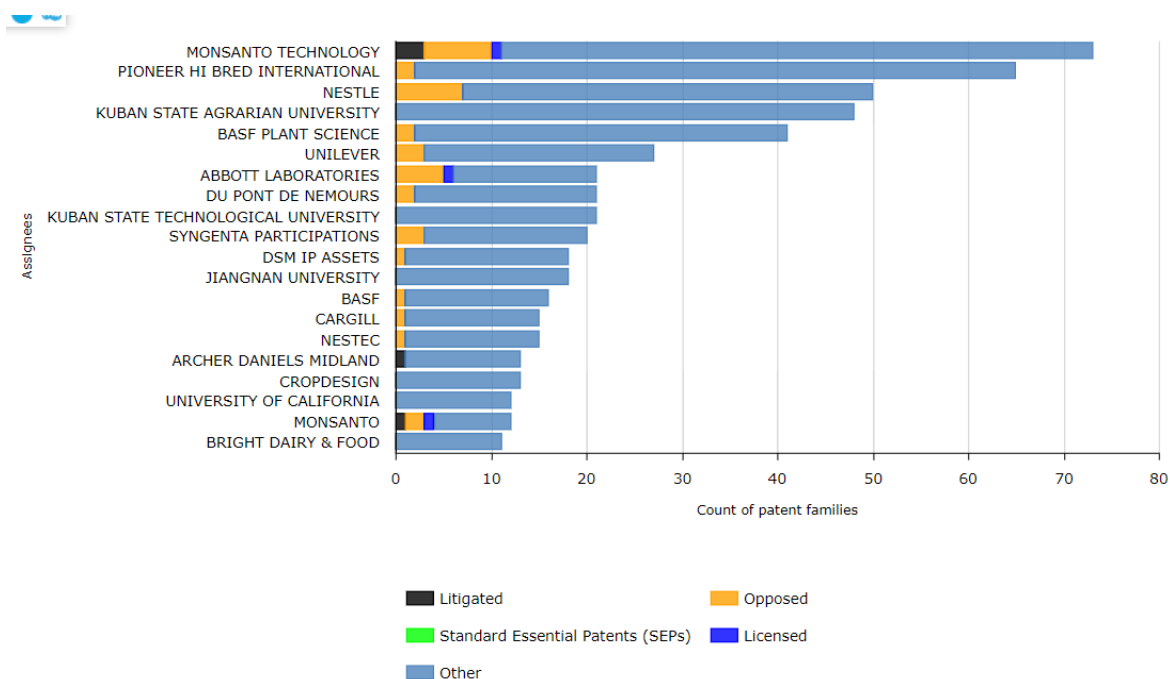


Рис. 5. Количество оспариваемых патентов

Не выявлено большого числа патентных споров у представленных компаний. Только у трех первых компаний есть оспариваемые патенты в изучаемой тематике.

По результатам проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. Более 55% найденных патентов относились к пищевой химии и биотехнологии, что совпадает с темой исследования. Однако были выявлены и менее ожидаемые направления, как материаловедение (биоразлагаемые пластики) и фармацевтика.

2. Изучение темы подсолнечного белка началось еще в 30-е годы 20 века и продолжается по настоящее время. Больше всего патентов публиковалось в 2015–2020 годах, но в целом оставался стабильный интерес к данной технологии.
3. Большинство патентов принадлежали странам-производителям подсолнечника (США, Бразилия) и странам с высоким развитием биотехнологий, и пищевой химии (США, Китай). Россия является лидером производства подсолнечника в мире, но имеет намного меньше патентов по технологии подсолнечного белка. Среди компаний-патентообладателей имеют преимущество высокотехнологичные транснациональные корпорации.

Таким образом, развитие технологий подсолнечного белка определяется не столько объемами его производства в сельском хозяйстве, сколько развитием современных технологий. Дальнейшее направление данного исследования - изучение трендов в технологии пищевого растительного белка и его востребованности на мировом рынке.

### **Список использованных источников**

1. Ishii A.K., Criselda T.P., Were L. Color and structural modifications of alkaline extracted sunflower protein concentrates and isolates using L-cysteine and glutathione // *Food Research International*. – 2021. – Vol. 147. – P. 110574.
2. Jia W. Removal of phenolic compounds from de-oiled sunflower kernels by aqueous ethanol washing // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 362. – P. 130204.
3. Kaur R.P., Gargi G. Sunflower protein isolates-composition, extraction and functional properties // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2022. – Vol. 306. – P. 102725.
4. Malik M.A., Charanjiv S.S. Rheological and structural properties of protein isolates extracted from dephenolized sunflower meal: Effect of high intensity ultrasound // *Food Hydrocolloids*. – 2018. – Vol. 81. – Pp. 229–241.
5. Патентная база данных Орбит. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.questel.com/patent/ip-intelligence-software/orbit-intelligence/> (дата обращения: 13.10.23).
6. World Agricultural Production. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/sunflower.aspx> (дата обращения: 16.10.2023).
7. Пат. GB 191503699, МПК А23J3. Process for the manufacture of albuminous products from the residues obtained in oil manufacture // Grafe V. (GB), Peche K. (GB); заявитель и патентообладатель Grafe V. (GB). – №. 191503699; заявл. 08.03.1915; опубл. 08.03.1916. – 3 с.

УДК 37.03

## **ВИДЕОИГРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБУЧЕНИЯ БУДУЩИХ УПРАВЛЕНЦЕВ**

**Кузьменко В.С.** (студент, Университет ИТМО), **Путята Г.А.** (студент, ГИЭФПТ)

**Научный руководитель: старший преподаватель Волков А.Р.** (Университет ИТМО)

*e-mail: vadim.rou@mail.ru*

*Данная статья исследует потенциал видеоигр как инновационного инструмента в образовании будущих управленцев. Современный мир ставит перед руководителями множество сложных вызовов, требующих разносторонних навыков, включая стратегическое мышление, командную работу, управление ресурсами и решение конфликтов. В контексте образования видеоигры предоставляют уникальную платформу для развития этих навыков, благодаря элементам симуляции, стратегии и сотрудничества, присущим многим играм.*

**Ключевые слова:** видеоигры, образование, модель Бартла, менеджмент, модель управления компанией.

Образование является ключевым аспектом становления начинающего специалиста. Образованием в этом случае стоит считать не только те знания и навыки, которые получает молодой человек в среднем или высшем учебном заведении, но и на начальных должностях в компании, кружках, объединениях и т.д. С течением времени требования к образованию постоянно меняются под воздействием быстро развивающихся технологий, экономических изменений и культурных трансформаций. Можно утверждать, что буквально все организации, где требуются молодые специалисты, заинтересованы в том, чтобы их новые участники уже имели достаточное количество знаний для ведения деятельности на своем уровне. Так, если раньше можно было говорить о разделении профессий на гуманитарные и технические, теперь можно видеть тенденцию, в которой идет объединение гуманитарных и технических знаний (одним из таких гибридов становится направление Art and Science) [1]. В совокупности можно назвать следующие подходы в образовании, которые продолжают развитие в ближайшие несколько лет:

1. Гибридные форматы и онлайн-образование. С распространением интернета и цифровых технологий появилась возможность получать образование удаленно. Онлайн-курсы и виртуальные университеты стали популярным способом обучения, позволяя студентам из разных стран получать качественное образование, не покидая свой регион. Гибридные форматы также стали широко используемыми, объединяя традиционные классы с онлайн-ресурсами. Это позволяет студентам самостоятельно управлять своим обучением, выбирая наилучший способ для усвоения материала.
2. Практико-ориентированное обучение. Современное общество оценивает не только теоретические знания, но и практические навыки. Вузы все больше внедряют в свои программы практикумы, стажировки и проектные задания, сотрудничая с компаниями и организациями. Это помогает студентам получать реальный опыт работы в своей области еще на этапе обучения и лучше подготавливаться к будущей карьере.
3. Междисциплинарность. Современные вызовы требуют комплексного подхода, и междисциплинарное обучение становится все более важным. Студенты имеют возможность изучать несколько специализаций, объединяя знания из разных областей для решения сложных проблем. Это способствует креативности, инновациям и развитию новых подходов к решению сложных задач.
4. Личностное развитие и мягкие навыки. Помимо технических знаний, работодатели всё больше ценят мягкие навыки, такие как коммуникация, сотрудничество, критическое мышление и решение проблем. Вузы начали уделять больше внимания развитию личности студентов, предлагая курсы по развитию этих навыков и психологическую поддержку.

С ростом требований к молодому специалисту становится актуальным вопрос: «Достаточно ли эффективна современная система обучения?». Часть специалистов довольно позитивно отзываясь о достижениях современности и утверждает, что современные технологии позволяют гораздо быстрее учиться даже в сравнении, скажем, 20 лет назад. Другие же специалисты заявляют, что самого факта мощности вычислительных систем недостаточно, а большое количество информации в сети интернет скорее больше путает и дезинформирует, что наоборот усложняет

многие процессы обучения. Даже с учетом нынешнего технологического развития не решились проблемы бюрократии, устаревших знаний и методик преподавания в учебных заведениях, недостаток практики во время обучения [2]. Потому многие компании заинтересованы в разработке или приобретении актуальных и новаторских инструментов обучения.

Немаловажным остается вопрос обучения будущих руководителей. Работодатели в России утверждают, что в учебных заведениях дается недостаточное количество актуальных знаний не только для будущих руководителей, но и для специалистов. В настоящий момент считается невозможным молодому человеку без опыта работы получить руководящую должность. Эту проблему пытаются решить, пропагандируя возможность участия в акселераторах, проектной деятельности, стажировках и т.д. Проблема всех этих решений в их временных рамках и ограниченность описываемых условий. Поэтому одним из наиболее перспективных, мало изученных, увлекательных и доступных инструментов являются видеоигры.

Можно увидеть успешные практики на примере западных вузов. Эксетерский университет использовал видеоигровой проект Red Dead Redemption для изучения истории США в период 19–20 вв. Как показали результаты, те студенты, которые играли в проект, лучше определяют североамериканские виды животных, чем те, кто никогда не запускал игру. Сотрудники инженерной школы университета Аалто проводили исследование, в котором изучали потенциал Cities: Skylines для образовательных целей [3]. Учёные отметили, что в игре заложено глубокое понимание урбанистики и тонкостей городского устройства. Подобный опыт можно перенять для создания реалистичных проектов для будущих лидеров и руководителей.

Одним из решений, например, для подготовки менеджеров организации станет создание полноценной игровой модели, где игрокам придется развивать свое предприятие. В настоящий момент существует большое множество проектов, предполагающих собой возможность взять на себя руководство предприятием. Однако, большинство существующих моделей направлены на работы с математическими моделями, которые позволяют понять базовые принципы расчетов, но далеко не на воспитание лидерских качеств в личности молодого специалиста. В видеоиграх, направленных на обучение, будет полноценная модель со множеством факторов – персонал, НИОКР, бухгалтерия, техническое обеспечение, случайно возникающие события и другое [4]. Целью подобных моделей будет создание образа полноценного управления компанией или отделом, что позволит более комплексно подходить к системе руководства. Например, в основу таких игр можно закладывать реальные сценарии развития фирмы. Представить несколько сценариев, один из которых будет отражать реальные принятые решения, приводящие к тому или иному результату. Плюсом подобного подхода станет то, что учащийся: сможет непосредственно поучаствовать в развитии компании, научится охватывать и учитывать сразу несколько факторов, учитывать человеческий фактор (который не учитывается в нынешних математических симуляторах) и т.д.

Подобные видеоигры могут быть более узко специализированы и служить психологическим тестированием для будущих руководителей. Так, весь игровой процесс может состоять из решений вопросов среди персонала (увольнения, повышения, конфликты интересов, личные переживания сотрудников), что позволит понять отношение игрока к тем или иным вопросам, позволит определить его модель руководства.

Видеоигры могут послужить полезным инструментом для развития управленцев не только в среде высшего и среднего образования, но и в самих компаниях. Подобные проекты могут приобретать или разрабатывать для себя предприятия, самостоятельно задавая вектор развития проекта, определяя техническую сложность исполнения, выявляя те навыки, которые считают необходимыми. Игры в компаниях могут носить более практический характер, а также проводить обучение за более короткие сроки. В совокупности можно назвать следующие аспекты, которые уже сейчас могут развить видеоигры:

1. Развитие стратегического мышления. Управление предприятием или проектом требует от лидера способности разрабатывать стратегии и принимать решения. Видеоигры, особенно стратегические и симуляторы, предоставляют игрокам уникальную возможность разрабатывать и проверять свои стратегические навыки. Примеры таких игр, как

- «Civilization», «SimCity» и «ХСОМ», обучают игроков принимать решения, учитывая ресурсы, временные ограничения и последствия своих действий.
2. Управление ресурсами и бюджетом. Управление финансами и ресурсами является ключевой компетенцией для будущих управленцев. В видеоиграх, таких как «Game Dev Tycoon» или «RollerCoaster Tycoon», игроки учатся эффективно распределять ресурсы, управлять бюджетом и прогнозировать потребности в ресурсах. Эти навыки могут быть непосредственно применены в деловой сфере.
  3. Работа в команде. Большинство современных видеоигр поддерживают многопользовательский режим, что позволяет игрокам сотрудничать, принимать решения и решать задачи в команде. Это способствует развитию навыков командной работы и лидерства, что является важным аспектом управления.
  4. Принятие рисков и управление неопределенностью. В мире бизнеса риски и неопределенность всегда присутствуют. Видеоигры, особенно стратегические, часто сталкивают игроков с неожиданными ситуациями и проблемами, которые требуют быстрого и взвешенного принятия решений. Это отличная практика для будущих управленцев, которым приходится работать в условиях неопределенности.
  5. Развитие аналитических способностей. Анализ данных и трендов играет важную роль в управлении. Некоторые видеоигры, такие как «Football Manager» или «Sid Meier's Civilization», помогают игрокам развивать навыки анализа данных и делать обоснованные выводы.
  6. Управление временем и приоритетами. Управление временем и приоритетами - важные аспекты руководства. Многие игры требуют от игроков эффективного управления своим временем и ресурсами, чтобы достичь поставленных целей в ограниченные сроки.
  7. Развитие креативности и инноваций. Управленцам часто приходится разрабатывать новые идеи и находить инновационные подходы к решению проблем. Видеоигры, особенно креативные и строительные, могут стимулировать креативное мышление и помочь игрокам развивать свои инновационные способности.

Говоря о научной базе предоставляемых материалов, из-за сложности и малой изученности темы, достоверных и доказанных утверждений и работ можно найти не так много. Одна из самых популярных и понятных является модель Бартла [5]. В этой системе возможно создать игровой проект, который позволит выявить предпочтительную к человеку систему мотивации.

Не стоит также забывать, что к настоящему моменту эксперты расходятся во мнении о пользе видеоигр. Вопрос в данной сфере даже не в самом факте надобности или не надобности игровых проектов, а в том, как оптимально их использовать – сколько времени оптимально проводить за игровой сессией, отражают ли моменты игры реальную реакцию человека на происходящее или он/она будет принимать решения в симуляторе, не соответствующие реальной позиции человека. Безусловно, существует еще множество тем, которые предстоит изучить, но стоит начать первые попытки по использованию видеоигр в обучении управленцев, тем самым становясь конкурентоспособной организацией, которая идет в ногу со временем и инвестирует в развитие как себя, так и своих сотрудников.

### Список использованных источников

1. Фрай М. Знания по силам: в вузах и образовательных платформах назвали новые подходы к обучению. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iz.ru/1538242/mariia-frai/znaniia-po-silam-v-vuzakh-i-obrazovatelnykh-platformakh-nazvali-novye-podkhody-k-obucheniiu> (дата обращения: 10.09.2023).
2. Иванешкина А. 6 проблем российского образования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/problems-of-education/> (дата обращения: 10.09.2023).
3. Землянкин Д. Как видеоигры используют в образовании — примеры Assassin's Creed, Read Dead и других. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://skillbox.ru/media/gamedev/kak-videoigray-ispolzuyut-v-obrazovanii-primery-assassins-creed-read-dead-i-drugikh/> (дата обращения: 10.09.2023).
4. Андреева А. На заметку игроману: чему нас могут научить компьютерные игры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/education/5e3d5c5a9a794751357b8d73> (дата обращения: 12.09.2023).
5. Темушкин В. Психоти́пы игроков: модель Ричарда Бартла VS модели Анджее Марчевски (HEXAD). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dtf.ru/gamedev/1071495-psihotipy-igrokov-model-richarda-bartla-vs-modeli-andzheya-marchevski-hexad> (дата обращения: 12.09.2023).

УДК 338.1

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ В ИННОВАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Лукин Н.А. (аспирант, Университет ИТМО), Гирш Л.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель: д.э.н., профессор Будрин А.Г. (Университет ИТМО)

e-mail: nik\_lukin\_123@mail.ru

*В статье рассмотрены особенности трансфера технологий в инновационных экосистемах. Выделены ключевые составляющие инновационных экосистем, которые позволяют развивать технологическое преимущество организаций внутри экосистемы. Проанализирован процесс трансфера технологий и выделены особенности, присущие участникам инновационной экосистемы в вопросах создания инноваций и их трансфера.*

**Ключевые слова:** инновационная экосистема, трансфер технологий, технологии, инновации, конкурентоспособность экосистемы.

Тема экосистем – как инновационных, так и цифровых – стремительно развивается. Так, термин «цифровая экосистема» уже встречается в государственной программе развития цифровой экономики Российской Федерации [1], а также в «Концепции государственного регулирования цифровых платформ и экосистем» от Министерства экономического развития Российской Федерации [2]. В этом ключе Российская Федерация ориентирована на создание экосистемы цифровой экономики, где данные являются ключевым фактором производства во всех сферах деятельности. Помимо этого, существует понятие инновационных экосистем, которые рассматривались исследователями еще начиная с 90-х годов XX века.

Проблему формирования инновационных экосистем рассматривали зарубежные и отечественные авторы. На основе статьи Максимовой Т.Г. можно выделить определение, что инновационная экосистема представляет собой совокупность субъектов, которые включены в развитие инновационной деятельности в различных ее аспектах – научном, технологическом, организационном, финансовом и коммерческом. Эти субъекты формируют инновационную инфраструктуру, которая обеспечивает разнообразие услуг – управленческих, материально-технических, финансовых, информационных, кадровых, консультационных и организационных [3]. Угнич Е.А. считает, что в основе инновационной экосистемы как экономической модели лежит динамика сложных отношений, которые формируются между субъектами инновационного процесса, чьими функциональными целями является включение и развитие инноваций [4]. При этом, под экосистемой автор понимает систему обмена энергией и взаимосвязей между ее участниками. Термин «экосистема» хоть и вышел из сферы биологии, но уже длительное время актуален в экономике и в смежных с ней науках. Можно подчеркнуть отличие «экосистемы» от «системы», обратившись к работам Суханова П.А., Ларионова В.Г. По мнению авторов, экосистема – это система, которая является самодостаточной для самой себя, то есть являющаяся самоорганизующейся, саморегулирующейся и саморазвивающейся системой [5, 6]. Если рассматривать более свежие источники, то можно подчеркнуть определение Гирш Л.В., которая определяет инновационную экосистему как открытую социо-экономическую систему, совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих социальных и экономических субъектов, а также отношений между ними по вопросам создания инноваций [7].

Так, можно отметить общее свойство инновационной экосистемы – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих субъектов, которые работают над созданием инноваций и формированием инновационной инфраструктуры. Также на основе вышеизложенного можно отметить, что в масштабах государства возможно рассмотрение инновационной системы, а не экосистемы, так как система описывает только организованные элементы инновационной деятельности. Такой же тезис подчеркивает и Суханова П.А., отмечая, что в масштабах государства уместно рассматривать не экосистему, а инновационную систему, как совокупность инфраструктурных элементов [5].

Успешное функционирование инновационных экосистем, результатом или следствием которых являются инновационные проекты, напрямую зависит от эффективности трансфера технологий.



Трансфер технологий или трансферт технологий является основным процессом, который появляется в инновационной экосистеме после того, как экосистема полностью сформировалась и вступает в стадию развития. Для более точной характеристики термина «трансфер технологий» можно обратиться к стандарту ГОСТ Р 57194.1–2016 [8], который определяет правила и процедуры передачи технологий между организациями и предприятиями в России. Наличие такого стандарта позволяет ускорить процесс передачи технологий, снизить риски для сторон и повысить эффективность использования технологий в России, а также способствует развитию национальной инновационной системы и укреплению позиций России на мировом рынке технологий. По ГОСТу определение трансфера технологий звучит как процесс передачи технологий и соответствующих прав на них от передающей стороны к принимающей в целях их последующего внедрения и использования.

Можно обратиться и к другому определению, что трансфер технологий – это процесс пространственно-временной передачи (перемещения) как физического, так и информационного компонента технологии, включая знания [9].

Таким образом, отметим, что коммерциализация технологий и трансфер технологий – это разные понятия, которые часто рассматривают вместе, поскольку коммерциализация является одним из результатов или форм трансфера технологий.

В «Руководстве Осло» [10] есть пункт о взаимосвязях в инновационном процессе. Говорится, что инновационная деятельность предприятия зависит от интенсивности ее связей с источниками информации, знаний, технологий, опыта, ресурсов. Связи обеспечивают взаимодействие предприятия с различными участниками инновационной системы: государством, учебными учреждениями, регулирующими органами, конкурентами, поставщиками и потребителями. Таким образом, инновационная экосистема также играет роль создания условий для генерации идей, а также создания, реализации и последующего трансфера инноваций.

Опираясь на ГОСТ Р 55386 «Интеллектуальная собственность» [11], который регулирует вопрос интеллектуальной составляющей трансфера технологий, можно сказать, что интеллектуальная собственность хоть и не является особенностью процесса трансфера, однако может существовать как объединяющий фактор для инновационной экосистемы. Говоря об особенностях трансфера технологий, стоит выделить те, которые берут свое начало при передаче технологий между участниками инновационных экосистем, включая предприятия, научные организации, стартапы и государственные органы.

Выделим следующие особенности:

1. Высокая роль сотрудничества и взаимодействия между участниками экосистемы, в том числе по вопросам трансфера технологий.
2. Наличие специфических рисков в экосистеме. Например, неспособность участников инновационной экосистемы управлять процессом трансфера, невзаимный интерес или недостаточная договоренность между участниками экосистемы по вопросам трансфера технологий.
3. Возможное неравномерное финансирование экосистем и потребность в большем финансовом потенциале участников экосистемы для развития технологий и последующего трансфера.
4. Размытость границ патента для участников экосистемы и реализаторов инноваций, нечеткая защита технологий на конкурентных и стратегических рынках.
5. Наличие неопределенности, связанной с изменением рыночных условий.

Ведение инновационной деятельности в рамках инновационной экосистемы позволяет рассматривать и выделять специфические особенности и сдерживающие факторы, относящиеся к процессу трансфера технологий. Поскольку трансфер технологий напрямую связан с инновационной инфраструктурой, текущими особенностями рынка и его участников, то стоит отметить факторы, которые сдерживают процесс трансфера [12]:

1. Отсутствие достаточной инфраструктуры для создания и продвижения инноваций на рынок.

2. Незаинтересованность предприятий во внедрении инноваций из-за рисков, вызванных длинным и неопределенным периодом окупаемости и высокой стоимостью создающихся технологий.
3. Низкий уровень инновационной и инвестиционной активности частного бизнеса.
4. Слабое взаимодействие сектора научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с реальным сектором экономики.

Трансфер технологий обеспечивает успешное осуществление деятельности инновационных экосистем, а его интенсивность и беспрепятственность со стороны участников является ключевым показателем здоровья инновационной экосистемы. В таком случае трансфер технологий играет роль интегратора между участниками инновационных экосистем, как внутри, так и вне их, а также объединяет в единое целое и обеспечивает результат совместной работы. Оптимальный способ трансфера технологии должен учитывать юридические и экономические аспекты. Заключение соответствующего соглашения между участниками экосистемы является необходимым условием для обеспечения эффективного трансфера технологий и успешного функционирования инновационной экосистемы в целом. Таким образом, недостаточно рассматривать процесс формирования инновационной экосистемы без интеграции последующего процесса в виде трансфера технологий, поэтому для достижения ее эффективного функционирования и развития необходимо исследовать темы совместно.

#### **Список использованных источников**

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» // Правительство России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 13.09.2023).
2. Концепция государственного регулирования цифровых платформ и экосистем // Министерство экономического развития Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.economy.gov.ru/material/departments/d31/konceptsiya\\_gos\\_regulirovaniya\\_cifrovyyh\\_platform\\_i\\_ekosistem/](https://www.economy.gov.ru/material/departments/d31/konceptsiya_gos_regulirovaniya_cifrovyyh_platform_i_ekosistem/) (дата обращения: 13.09.2023).
3. Максимова Т.Г., Николаев А.С., Бямбацогт Д. Исследовательские университеты в структуре национальной инновационной экосистемы // Теория и практика общественного развития. – 2018. – №. 8. – С. 81–87.
4. Угнич Е.А., Казакова А.М. Высокотехнологичный территориальный кластер как инновационная экосистема: особенности и проблемы развития // Развитие территориальных социально-экономических систем: вопросы теории и практики. – 2016. – С. 312–315.
5. Суханова П.А. Инновационная инфраструктура в региональной инновационной экосистеме и ее элементы // Вестник сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2012. – №. 3(3). – С. 49–52.
6. Ларинов В.Г., Шереметьева Е.Н., Горшкова Л.А. Инновационные экосистемы в цифровой экономике // Вестник астраханского государственного технического университета. серия: экономика. – 2021. – №. 1. – С. 49–56.
7. Гирш Л.В. Формирование инновационных экосистем как перспективное направление инновационной деятельности хозяйствующих субъектов // Диссертация на соискание учёной степени кандидата экономических наук.
8. ГОСТ Р 57194.1–2016 «Национальный стандарт Российской Федерации. Трансфер технологий. Общие положения». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200141164> (дата обращения: 11.09.2023).
9. Семиглазов В.А. Теоретическая инноватика» (Семиглазов, В. А. Теоретическая инноватика: учебное пособие / В.А. Семиглазов. – Москва: ТУСУР, 2022. – 141 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/313808> (дата обращения: 10.09.2023).
10. Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://mgimo.ru/upload/docs\\_6/ruk.oslo.pdf](https://mgimo.ru/upload/docs_6/ruk.oslo.pdf) (дата обращения: 10.09.2023).
11. ГОСТ Р 55386 Интеллектуальная собственность. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200119670#7D20K3> (дата обращения: 11.09.2023).
12. Кочиева А.К. Трансфер технологий как фактор развития региональной инновационной системы // Инновации. – 2015. – №. 11(205). – С. 50–55.

УДК 004.89

## **LEGES.TECH: ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЮРИДИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ**

**Семенова А.Н.** (студент, Университет ИТМО), **Янгалин И.А.** (студент, Университет ИТМО),

**Бодров М.С.** (студент, Университет ИТМО), **Коняхин И.М.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: Макарова Е.А.** (Университет ИТМО)

*e-mail:* 412287@edu.itmo.ru

*В статье рассматривается актуальная потребность современного общества в быстром и качественном доступе к юридической информации. Освещается проблематика традиционных методов поиска и анализа законодательства и представлено инновационное решение на базе искусственного интеллекта - платформа "Leges.tech". Данное решение демонстрирует высокую эффективность, сокращая время на анализ и предоставляя точные ответы на юридические вопросы.*

**Ключевые слова:** *искусственный интеллект, юридическая информация, законодательство, "Leges.tech", оптимизация, инновации в праве.*

В современном мире, где информационные технологии и цифровизация занимают центральное место в повседневной жизни, возникает необходимость в быстром и качественном доступе к юридической информации [1]. Традиционные методы поиска и анализа законов, основанные на ручном анализе и консультациях с юристами, часто оказываются неэффективными, особенно в условиях быстро меняющегося законодательства. На российском рынке, так же, как и на многих международных, существует ряд онлайн-платформ и баз данных, предоставляющих доступ к юридической информации. Однако большинство из них либо ограничены в функционале, либо требуют значительных затрат времени на поиск и анализ. В связи с этим, центральной задачей, стоящей перед современными предприятиями и индивидуальными предпринимателями, является необходимость быстрого и точного доступа к актуальной юридической информации. Ошибки в интерпретации законов или упущение важных нормативных актов могут привести к серьезным юридическим и финансовым последствиям [2].

В ходе экспериментального тестирования первой версии виртуального юридического ассистента были выявлены ключевые ограничения в его функциональных возможностях. Основные замечания касались недостаточной глубины и компетентности предоставляемых ответов, что свидетельствует об ограниченности алгоритмов обработки запросов. Кроме того, было отмечено, что система не способна адекватно анализировать и учитывать индивидуальные контекстуальные особенности ситуаций, с которыми сталкиваются пользователи. Таким образом, ответы, предоставляемые ботом, часто оказывались обобщенными и не полностью соответствующими специфике конкретного юридического вопроса. Данные недостатки подчеркивают необходимость дальнейшего совершенствования алгоритмов и механизмов работы виртуального юридического ассистента для обеспечения более высокого уровня качества предоставляемых услуг [3].

Также была подробно проанализирована система ROSS, разработанная на базе технологии IBM Watson, и она представляет собой одно из передовых решений в области юридического искусственного интеллекта. Однако, как и любое инновационное решение, ROSS имеет ряд ограничений и недостатков. Одним из ключевых недостатков является ограниченность базы данных. Несмотря на то, что ROSS имеет доступ к обширной базе юридических документов, она может не всегда содержать актуальную или регионально специфичную информацию. Это может привести к неполному или неточному ответу на конкретный запрос [4].

Далее, качество ответа ROSS во многом зависит от того, насколько корректно и точно сформулирован вопрос. Неточности или двусмысленности в запросе могут привести к нерелевантным или ошибочным результатам. Это подчеркивает важность четкости и ясности при формулировке запросов к системе.

В рамках Customer Development был проведен опрос, по результатам которых было выявлено, что юридические вопросы большинства людей связаны с недвижимостью (рис. 1).

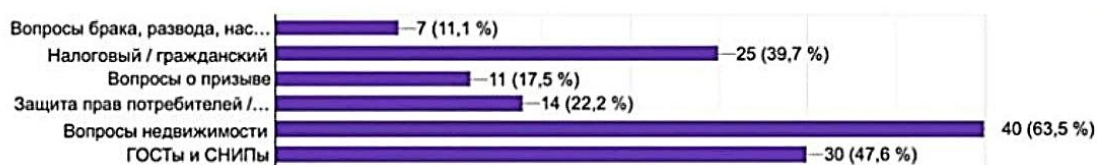


Рис. 1. Результаты Customer Development

В связи с этим предлагается новый подход, основанный на использовании искусственного интеллекта для анализа и предоставления юридической информации - "Leges.tech" [5]. Отличительной особенностью данного решения является его способность адаптироваться к индивидуальным запросам пользователя и предоставлять персонализированные ответы на основе анализа большого объема данных, включая российские прецеденты, законы и акты [6].

Для демонстрации эффективности предложенного решения были проведены экспериментальные исследования, в ходе которых "Leges.tech" демонстрировал высокую точность и скорость ответов по сравнению с традиционными методами поиска и анализа юридической информации.

Практическая значимость "Leges.tech" проявляется в ряде направлений:

1. Инстантный доступ к юридической информации: с применением современных технологий обеспечивается мгновенный отклик на запросы, что революционизирует процесс поиска и анализа юридических данных.
2. Комплексивная база данных: интегрированная база российских прецедентов, законов и актов создает фундамент для глубоких и актуализированных консультаций.
3. Адаптивность алгоритма: продвинутые алгоритмы искусственного интеллекта позволяют системе учитывать уникальные особенности каждого запроса, предоставляя персонализированные решения.
4. Мультиязычный интерфейс: реализация мультиязычности делает сервис доступным для международной аудитории, что расширяет его потенциальный рынок.
5. Оптимизация ресурсных затрат: сервис предлагает экономически эффективное решение для получения юридической консультации, минимизируя временные и финансовые издержки.
6. Минимизация юридических рисков: быстрый и точный доступ к актуальной юридической информации снижает вероятность ошибок и связанных с ними последствий.
7. Интеграционные возможности: возможность интеграции с другими цифровыми платформами увеличивает функциональный потенциал и расширяет охват целевой аудитории.
8. Динамичное обновление базы данных: систематическое обновление информационной базы обеспечивает актуальность и релевантность данных в условиях динамичного развития законодательства.
9. Оптимизация рабочего времени юристов: вместо длительного поиска и анализа законов и нормативных актов юристы могут получить быстрый и точный ответ, что позволяет сосредоточиться на более сложных и творческих аспектах своей работы.

В результате проведенных исследований было подтверждено, что наша платформа демонстрирует высокую степень точности в предоставлении ответов на юридические запросы, сокращая время на поиск и анализ информации в десятки раз по сравнению с традиционными методами. "Leges.tech" предоставляет высокоэффективное решение для доступа к юридической информации, сокращая время на поиск и анализ в десятки раз. Это не только оптимизирует рабочие процессы, но и снижает риски юридических ошибок. В перспективе развития данного решения видится расширение базы данных, интеграция с другими системами и создание дополнительных инструментов для анализа и интерпретации юридической информации.

### **Список использованных источников**

1. Эксперт Distant & Digital: российский рынок юридических услуг оценивают в 222 млрд рублей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dd.ipquorum.ru/news/ekspert-distant-%26-digital%3A-rossiyskiy-rynok-yuridicheskikh-uslug-ocenivayut-v-222-mlrd-rublej-32> (дата обращения: 27.09.2023).
2. Андрейчиков А.В. Стратегический менеджмент в инновационных организациях: системный анализ и принятие решений / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Вуз. учебник: ИНФРА-М. – 2013. – 394 с.
3. В России на базе искусственного интеллекта создан первый виртуальный юрист // Ведомости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/technology/news/2023/05/24/976570-v-rossii-na-baze-iskusstvennogo-intellekta-sozdan-virtualnii-yurist> (дата обращения: 27.09.2023).
4. Программное обеспечение для юридических исследований, созданное для быстрых и углубленных исследований. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.rossintelligence.com/features> (дата обращения: 27.09.2023).
5. Результаты CustDev в рамках реализации данного стартапа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Ene7St7z18KhkyV6uHlrBgiNdHyIEu7EReMBiAEhDWw/edit?resourcekey#gid=571927978> (дата обращения: 27.09.2023).
6. Интеллектуальный юридический ассистент, созданный нашей командой. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leges.tech> (дата обращения: 27.09.2023).

## **ВЛИЯНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ СИТУАТИВНОЙ ТРЕВОГИ**

**Яшина Е.А.** (студент, Университет ИТМО)

**Научный руководитель: к.п.н., инженер Джумагулова А.Ф.** (Университет ИТМО)

*e-mail: yashinakatet@gmail.com*

*В работе рассмотрено влияние визуализации дыхательной практики на основе мобильного приложения на уровень снижения тревоги по шкале Спилбергера. Был проведен пилотный эксперимент, в формате контролируемого рандомизированного юзабилити теста, где респондентам случайным образом был предложен один вариант интерфейса мобильного приложения: с визуализацией дыхательной практики или без визуализации. Следуя шагам, указанным в приложении, респонденты минуту выполняли дыхательную практику «Коробочное дыхание».*

**Ключевые слова:** *ситуативная тревога, мобильное приложение, дыхательные практики, визуализация, коробочное дыхание.*

Мобильные приложения для психического здоровья через смартфоны предоставляют возможность расширить доступность и улучшить качество психического лечения. Однако, эффективность таких приложений вызывает споры [1].

Ограниченная доступность и высокая стоимость часто препятствуют доступу людей к эффективным методам лечения, таким как тренинг релаксации, когнитивно-поведенческая терапия (КПТ) и осознанность, которые, как было показано, уменьшают симптомы тревоги. Для решения этой проблемы привлекло внимание использование мобильных приложений. Мобильные приложения могут служить дополнением к традиционной очной терапии и могут быть особенно полезны людям, испытывающим тревожные состояния [2].

В мета-анализе девяти рандомизированных контролируемых исследований изучалось влияние вмешательств с помощью смартфонов как на субклинические, так и на диагностированные тревожные расстройства. Анализ показал, что пользователи, которые использовали приложения для лечения тревожности, испытали значительное снижение общих симптомов тревоги. Более того, мобильные приложения, ориентированные на тревогу, показали наибольшую эффективность при использовании в сочетании с очной терапией или терапией через Интернет. Интересно, что замена амбулаторных сеансов терапии мобильным приложением не привела к значительному снижению эффективности лечения [3].

Дыхательная терапия и техники эмоциональной свободы известны как методы, которые могут помочь в управлении стрессом и тревогой. В исследовании, описанном в статье, было проведено рандомизированное контролируемое исследование с турецкими студентами-медиками, чтобы оценить эффективность дыхательной терапии и техник эмоциональной свободы в снижении тревоги перед публичными выступлениями. Результаты этого исследования показали, что дыхательная терапия является эффективным методом снижения стресса, беспокойства и речевой тревоги [4].

В исследовании 2020 года описано положительное влияние дыхательных практик, в том числе «коробочного дыхания», на снижение тревоги у людей во время социальной изоляции по причине пандемии Covid-19 [5].

### **Пилотный эксперимент**

Цель пилотного эксперимента заключалась в исследовании удобства использования интерфейса для выполнения дыхательной практики «Коробочное дыхание». В качестве основного фактора, который был изменен, было наличие анимации на экране, которая подсказывала такты вдохов и выдохов.

Моей задачей было проверить, влияет ли визуализация дыхательной практики на удовлетворённость пользователя предложенным интерфейсом, а также на уровень снижения ситуативной тревоги после выполнения практики.

Для проверки данных предположений были выдвинуты следующие гипотезы:

2. Удовлетворенность пользователей интерфейсом увеличивается, когда дыхательная практика визуализирована.

### 3. Ситуативная тревога снижается больше, когда дыхательная практика визуализирована.

Целевые показатели:

- оценка по опросу System Usability Scale – количественная;
- оценка ситуативной тревоги по опроснику Спилбергера – количественная (от 20 до 80 баллов);
- время выполнения задания – количественная (время от первого клика до конца выполнения задания).

Контролируемые переменные:

- варианты А/В интерфейса мобильного приложения с дыхательной практикой – дихотомическая (А/В).

Эксперимент проводился в формате модерлируемого юзабилити тестирования. Перед тестированием макета респонденты проходили тест Спилбергера на ситуативную тревогу, состоящий из 20 вопросов. Также были заданы вопросы, был ли опыт в выполнении дыхательных практик и в использовании приложений по работе с тревогой. После этого каждому респонденту случайным образом присылался вариант интерфейса:

Вариант А представлен на рисунке 1, вариант В – на рисунке 2.

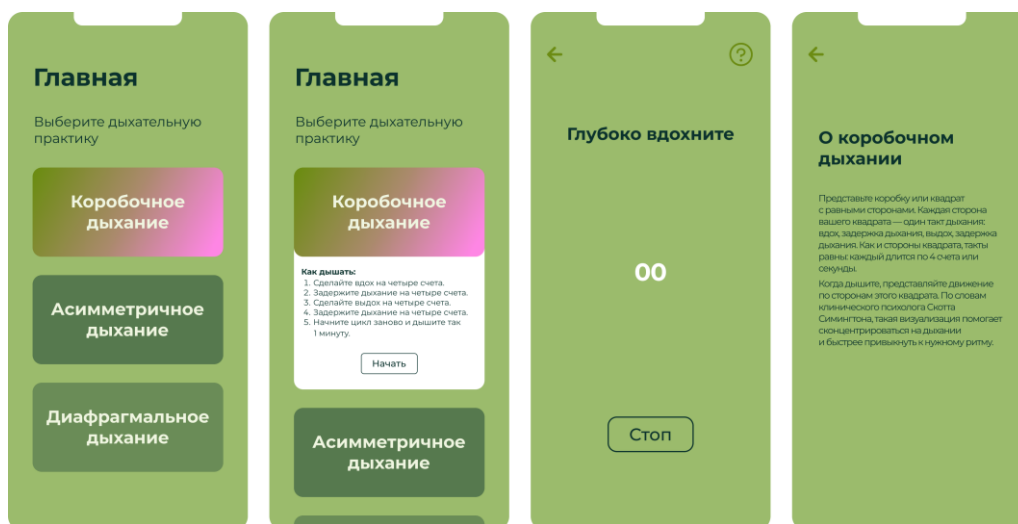


Рис. 1. Интерфейс А



Рис. 2. Интерфейс В

Далее респондент выполнял задание: выбрать коробочное дыхание, прочитать, как его делать и выполнить практику. Данную практику можно выполнять от 1 до 5 минут, но для создания одинаковых условий всем респондентам было предложено выполнять практику 64 секунды (время контролируется таймером, встроенным в интерфейс).

Сразу после выполнения задания респондент повторно проходил тест Спилбергера и, после него, опросник на удовлетворенность интерфейсом.

В результате пилотного эксперимента были получены данные от 12 респондентов, где 6 тестировали прототип без визуализации и 6 – прототип с визуализацией. Вариационный ряд оценок по System Usability Scale, полученных с помощью опросника в Google Формам представлен на рисунке 3.

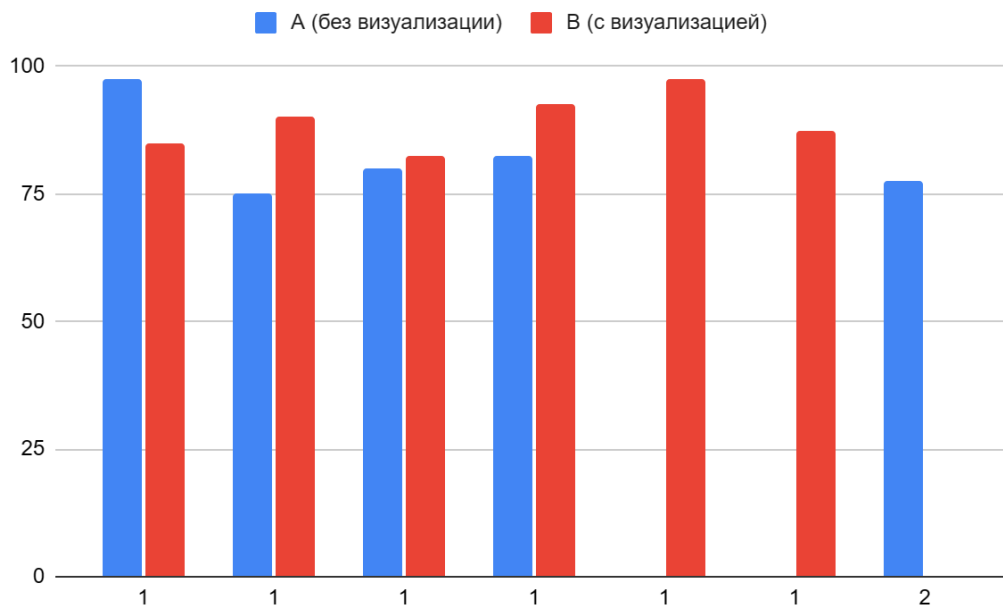


Рис. 3. Вариационный ряд оценок по System Usability Scale

На рисунке 3 видно, что респонденты, проходившие тестирование с визуализацией дыхательной практики, оценили удобство использования интерфейса на более высокий балл, чем респонденты, которые работали с интерфейсом без визуализации.

Вариационный ряд разницы оценок ситуативной тревоги по шкале Спилбергера представлен на рисунке 4.

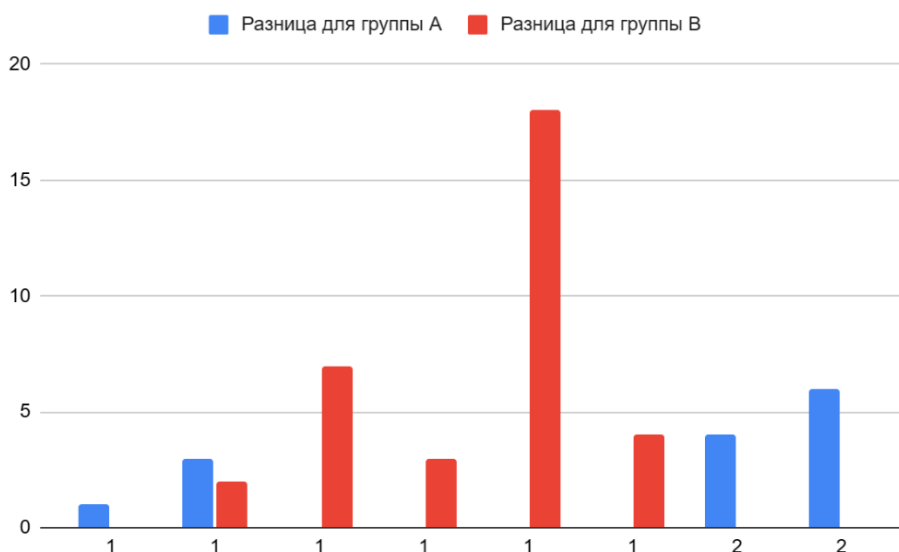


Рис. 4. Вариационный ряд разницы оценок ситуативной тревоги по шкале Спилбергера



По графику видно, что более положительный результат по снижению уровня ситуативной тревоги наблюдается у группы, проходившей тестирование с визуализацией дыхательной практики. Основываясь на комментариях респондентов, можно предположить, что это связано с тем, что при переходе к самой практике анимация с точкой, движущейся по сторонам квадрата, помогала быстрее освоиться и понять, что нужно делать. Соответственно, время дыхания по схеме 4-4-4-4 увеличивалось. Также это может быть связано с тем, что респонденты нашли слежение за плавно движущейся точкой – успокаивающим.

Пилотный эксперимент, основанный на использовании выбранного мобильного приложения для борьбы с тревогой, позволил получить первичные данные и оценить его эффективность и потенциал в управлении тревожными состояниями у участников. Полученные результаты дали ценные практические выводы и опыт для основного эксперимента, а также подтвердили необходимость дальнейшего исследования данного приложения в контексте его воздействия на психологическое состояние пользователей.

### **Список использованных источников**

1. East M.L., Havard B.C. Mental Health Mobile Apps: From Infusion to Diffusion in the Mental Health Social System // *JMIR Ment Health* 2015;2:e10. DOI: 10.2196/mental.3954.
2. Firth J., Torous J., Nicholas J., Carney R., Rosenbaum S., Sarris J. Can smartphone mental health interventions reduce symptoms of anxiety? A meta-analysis of randomized controlled trials // *J Affect Disord.* – 2017. – №. 218. – Pp. 15–22. DOI: 10.1016/j.jad.2017.04.046.
3. Ly K.H., Topooco N., Cederlund H., Wallin A., Bergström J. et al. Smartphone-Supported versus Full Behavioural Activation for Depression: A Randomised Controlled Trial // *PLOS ONE.* – 2015. – №. 10(5). – P. e0126559. DOI: 10.1371/journal.pone.0126559.
4. Dincer B., Özçelik S.K., Özer Z., Bahçecik N. Breathing therapy and emotional freedom techniques on public speaking anxiety in Turkish nursing students: A randomized controlled study // *Explore (NY).* – 2022. – №. 18(2). – Pp. 226–233. DOI: 10.1016/j.explore.2020.11.006.
5. Pizzoli S., Marzorati C., Mazzoni D., Pravettoni G. Web-Based Relaxation Intervention for Stress During Social Isolation: Randomized Controlled Trial // *JMIR Ment Health.* – 2020. – №. 7(12). – P. e22757. DOI: 10.2196/22757.

## Оглавление

<b>Биоинженерия от цифровых решений до практического применения .....</b>	<b>4</b>
Банков А.А. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТИБИОТИКОВ НА БАКТЕРИИ ПО ПОЛУЧАЕМЫМ АСМ-СНИМКАМ НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ МЕТРИК МИКРООРГАНИЗМОВ .....	4
Жданов А.Ю., Рыжова В.А. ОБЗОР КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ НЕИНВАЗИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛОВ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ .....	8
Наумова А.В., Островидова Е.В, Яккола А.Н., Калниня Я.К. НАКОПЛЕНИЕ ГИСТАМИНА В РЫБАХ РАЗЛИЧНОЙ ЖИРНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ.....	14
<b>Цифровые решения в зеленой химии .....</b>	<b>21</b>
Маковецкий А.А., Логунова Т.В., Щербакова Л.В. ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО АВТОМАТИЗИРОВАТЬ ЧАСТЬ РАБОТ.....	21
Цепкова М.И., Ахматшин Ф.Г., Петрова И.А., Казаковцев Л.А. О НОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ПО ОДНОРОДНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПАРТИЯМ.....	24
<b>Междисциплинарные исследования в инфохимии .....</b>	<b>27</b>
Володарский М.О., Филозоп В.С. ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОИСКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК .....	27
Гончаров В.В. СИНТЕЗ И ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ИЗ МЕЗОПОРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДОКСИДА ТИТАНА.....	30
Домарева Н.П., Петрова М.С., Беляев В.Е., Семенов А.В. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В МОДЕЛИ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ.....	32
Ермолин Д.В., Небалуева А.С. ВЛИЯНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОАЦЕРВАТОВ НА РЕАКЦИЮ БАРБИТУРОВОЙ КИСЛОТЫ С НИТРОБЕНЗАЛЬДЕГИДАМИ.....	35
Небалуева А.С., Ермолин Д.В. МЕЗОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА И СИНТЕЗ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОЛИГОМЕРОВ НА БАЗЕ ПОЛИУРЕТАНОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	37
Николаев А.А., Семенов А.В., Мешков А.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОБИЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ С ПОМОЩЬЮ РОБОТА ROZUM IMPULSE.....	40
Петрова М.С., Домарева Н.П., Алиев Т.А., Семенов А.В. ПОТОЧНЫЙ АНАЛИЗАТОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В НЕФТИ .....	43
Рудакова М.Д., Алиев Т.А., Семенов А.В., Потапов В.В. СИСТЕМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ .....	46

Свинкин Н.А., Петрушенко И.К., Большаков А.Д. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУПЕРЩЕЛОЧНЫХ КЛАСТЕРОВ $NLi_3M$ ( $M = Li, Na, K$ ) С МОЛЕКУЛОЙ $CO_2$ .....	49
Семенов А.В., Рудакова М.Д., Петрова М.С. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КЛЕТОК.....	54
<b>Практико-ориентированное молодежное научно-техническое творчество .....</b>	<b>57</b>
Бурдуков И.Д. ПРОБЛЕМЫ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОБМОТКИ СТАТОРА АВТОНОМНЫХ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ .....	57
Емельянова М.А., Кравцов П.А., Рыжова В.А. ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АКВАТОРИЙ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ И АЛГОРИТМОВ .....	63
Игнатченко Д.А., Логунова Т.В., Щербакова Л.В. ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ МОЗГ-КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА ИНТЕГРАЦИЮ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ.....	72
Кравцов П.А., Емельянова М.А. РАЗРАБОТКА ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ .....	75
Краснов Д.И. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	79
Смирнов Р.В. ПОВЫШЕНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И МОТИВАЦИИ СТАРШЕКЛАССНИКОВ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЕЙМИФИКАЦИИ ПРОФОРИЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ .....	83
Наjjouz А. A SATBOOST-BASED APPROACH FOR HIGH-ACCURACY BOTNET DETECTION .....	86
Хлынов Р.Д., Рыжова В.А. МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ ИЗОБРАЖАЮЩИХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ МОНИТОРИНГА МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ.....	90
Хотеев А.А., Рыжова В.А. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ .....	97
<b>Стратегии узнавания биологических молекул .....</b>	<b>101</b>
Кузина М.А., Хорольская В.Г. СОЗДАНИЕ СЛОЖНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДНК-НАНОМАШИН ДЛЯ УЛЬТРАЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ДЕТЕКЦИИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ.....	101
Родионов Е.М., Бошляков Г.С., Гришина Е.В., Пайбердин А.О., Пак Д.В., Юрина И.А. ИЗУЧЕНИЕ СИДЕРОФОРОВ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ.....	104
<b>Технологический менеджмент и инновации .....</b>	<b>109</b>
Бабушкина Я.А. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В РОССИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ .....	109
Барболина В.А., Филатова Л.П. РЕГИОНАЛЬНАЯ РАМКА РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ.....	113

Казакова Г.А. ИНСТРУМЕНТЫ ПРАВОВОЙ ОХРАНЫ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В СЕКТОРЕ FOODTECH.....	117
Крылова И.В. ПОЛУЧЕНИЕ ПИЩЕВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО БЕЛКА НА ОСНОВЕ ПОДСОЛНЕЧНИКА: ПАТЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ .....	119
Кузьменко В.С., Путята Г.А. ВИДЕОИГРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБУЧЕНИЯ БУДУЩИХ УПРАВЛЕНЦЕВ .....	124
Лукин Н.А., Гирш Л.В. ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ В ИННОВАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ .....	127
Семенова А.Н., Янгалин И.А., Бодров М.С., Коняхин И.М. LEGES.TECH: ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЮРИДИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ .....	130
Яшина Е.А. ВЛИЯНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ СИТУАТИВНОЙ ТРЕВОГИ .....	133

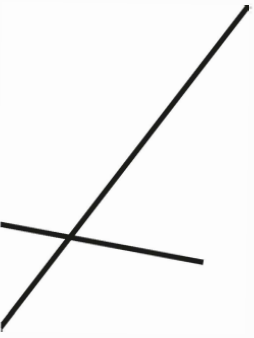
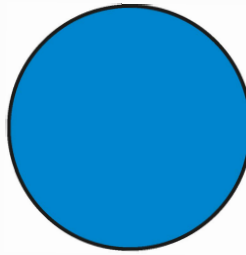
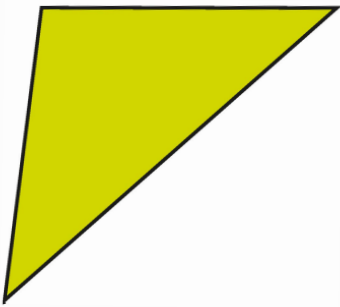
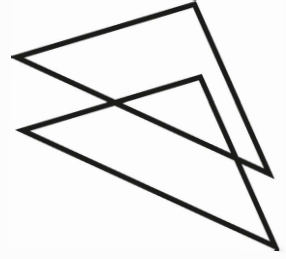
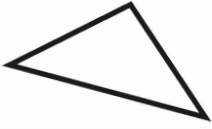
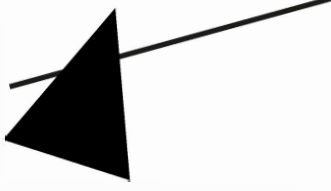
**МОЛОДЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЫ**  
**II Всероссийская конференция**  
**10–12 октября 2023 г.**

**Сборник научных трудов**

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО  
Зав. РИО  
Дизайн обложки

Вёрстка  
Подписано к печати 22.02.2024  
Заказ № 4767 от 22.02.2024

Н.Ф. Гусарова  
отдел развития бренда  
Университета ИТМО  
К.Д. Бутылкина



**it's** *MOre than a*  
**UNIVERSITY**

ISBN 978-5-7577-0706-8



9 785757 707068

