МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

XI Конгресс молодых учёных

Сборник научных трудов

Том 2

Санкт-Петербург
2022

УДК 063, 065
ББК – 20; 32; 40

XI Конгресс молодых ученых. Сборник научных трудов. Том 2. СПб.: Университет ИТМО. 2022. 489 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на XI Конгрессе молодых ученых по тематикам: трансляционные информационные и цифровые технологии; физика; химическая инженерия и зеленые технологии; химия и новые материалы; экология и устойчивое развитие; энергоэффективные инженерные системы и устойчивое развитие.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
Председатель редколлегии по направлению трансляционные информационные технологии – Бухановский Александр Валерьевич, доктор технических наук.
Члены редколлегии:
Арсеньева Анна Закировна;
Басов Олег Олегович, доцент, доктор технических наук;
Духанов Алексей Валентинович, доцент, доктор технических наук;
Митягин Сергей Александрович, кандидат технических наук;
Ульянцев Владимир Игоревич, кандидат технических наук.
Председатель редколлегии по направлению физика, химическая инженерия, зелёные технологии и новые материалы – Успенская Майя Валерьевна, профессор, доктор технических наук, директор Центра ХИ.
Члены редколлегии:
Фокина Мария Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент Центра ХИ;
Ситникова Вера Евгеньевна, кандидат химических наук, доцент Центра ХИ;
Пономарева Алина Александровна, кандидат технических наук, доцент Центра ХИ;
Подшивалов Александр Валерьевич, кандидат химических наук, зав. лабораторией Центра ХИ.
Председатель редколлегии по направлению экология и устойчивое развитие – Тамбулатова Екатерина Викторовна, к.т.н., декан факультета экотехнологий.
Члены редколлегии:
Сергиенко Ольга Ивановна, доцент, кандидат технических наук;
Кустикова Марина Александровна, кандидат технических наук;
Орипова Азиза Алишеровна, кандидат технических наук;
Банарь Светлана Александровна, доцент, кандидат географических наук.
Председатель редколлегии по направлению энергоэффективные инженерные системы и устойчивое развитие – Баранов Александр Юрьевич, д.т.н. профессор.
Члены редколлегии:
Зайцев Андрей Викторович, доцент, кандидат технических наук;
Лазарев Виктор Лазаревич, доцент, кандидат технических наук;
Никитин Андрей Алексеевич, кандидат технических наук;
Соколова Екатерина Владимировна, кандидат технических наук.

ISBN 978-5-7577-0677-1 (Том 2)
ISBN 978-5-7577-0679-5

Университет ИТМО (Санкт-Петербург) – национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.
Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). Представлен в мировом ТОП-200 по телекоммуникационным технологиям (Telecommunication engineering), а также в ТОП-300 по нанонаукам и нанотехнологиям (Nanoscience & Nanotechnology) ARWU. Входит в ТОП-200 по инженерным наукам (Engineering and Technology), в ТОП-300 по физике и астрономии (Physics & Astronomy), наукам о материалах (Materials Sciences), а также по машиностроению, аэрокосмической и промышленной инженерии (Mechanical, Aeronautical & Manufacturing Engineering) рейтинга QS. Лидер проекта «Приоритет – 2030».

© Университет ИТМО, 2022
© Авторы, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на XI Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО, проходившего с 4 по 8 апреля 2022 года, по тематикам: трансляционные информационные и цифровые технологии; физика; химическая инженерия и зеленые технологии; химия и новые материалы; экология и устойчивое развитие; энергоэффективные инженерные системы и устойчивое развитие.

Конгресс проводится ежегодно с 2004 г, в целях ознакомления общественности с результатами научных исследований и разработок молодых ученых, стимулирования научно-технической деятельности, приобретения ими опыта публичных выступлений, повышения научного уровня и апробации выпускных квалификационных работ магистрантов, бакалавров и специалистов за 2021/2022 учебный год.

XI Конгресс молодых ученых Университета ИТМО состоялся в поддержку международного года стекла (IYOG 2022 – утвержден на сессии Генеральной Ассамблеи ООН 17–18 мая 2021 года).

В рамках Конгресса проходят заседания секций, сессий научных школ, круглых столов с участием молодых ученых.

ТРАНСЛЯЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 81'322.6

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ СИНТЕЗА РЕЧИ

К.И. Абросимов
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент С.В. Рыбин
Университет ИТМО
e-mail: abrosimov.kirill.1999@mail.ru, svrybin@itmo.ru

Аннотация
В работе рассматриваются различные архитектуры нейронных сетей для задачи синтеза речи. Применяются в данной области как рекуррентные нейронные сети, так и различные механизмы внимания для решения проблем, связанных с надежностью, скоростью и так далее. Особое внимание в работе уделяется характерным нейросетевым механизмам для каждого направления в синтезе речи.

Ключевые слова
Синтез речи, TTS, нейросетевые модели, современные направления TTS, вычислительное музыковедение, синтез пения.

Введение

В современном мире методы искусственного интеллекта во многих сферах жизни играют ключевую роль. Решение задачи синтеза речи (TTS) позволяет автоматизировать очень важные процессы в бизнесе, например, центры звонков, виртуальные консультанты и озвучивание важной информации в общественных местах. Направление синтеза речи активно изучается и улучшается с прошлого столетия [1]. Но уже сегодня, как правило, используется не конкатенативный синтез речи, а современные нейросетевые модели.

На рис. 1 представлена историческая схема нейросетевых моделей синтеза речи [2]. Основные требования к синтезируемой речи – естественность и разборчивость. И на данном этапе эти требования уже удовлетворительны для бизнеса, но для полноценного человеко-машинного диалога этого мало. Таким образом, выделяют следующие современные направления синтеза речи: выразительный TTS, надежный TTS, ускорение TTS, адаптивный TTS, малоресурсный TTS и синтез поющего голоса.

Каждое направление характеризуется определёнными механизмами и нейросетевыми методами. Цель статьи заключается в обзоре и анализе этих механизмов в речевых технологиях.

Нейросетевые модели синтеза речи

Одной из первых моделей синтеза речи является Tacotron от компании Google, выпущенная в 2017 году. Tacotron – это классическая encoder-decoder схема нейронной сети, на вход которой подается последовательность символов, а на выходе генерирует сигнал. Одними из главных недостатков данной модели являются сложный encoder, большое количество рекуррентных нейронных слоев, а также использование простого вокодера Griffin-Lim.

Уже на следующий год была представлена модель Tacotron 2 [3], которая решила часть проблем первой модели – упрощен encoder, уменьшено количество рекуррентных слоев и использовался современный нейросетевой вокодер – WaveNet. На рис. 2 представлена схема Tacotron 2.

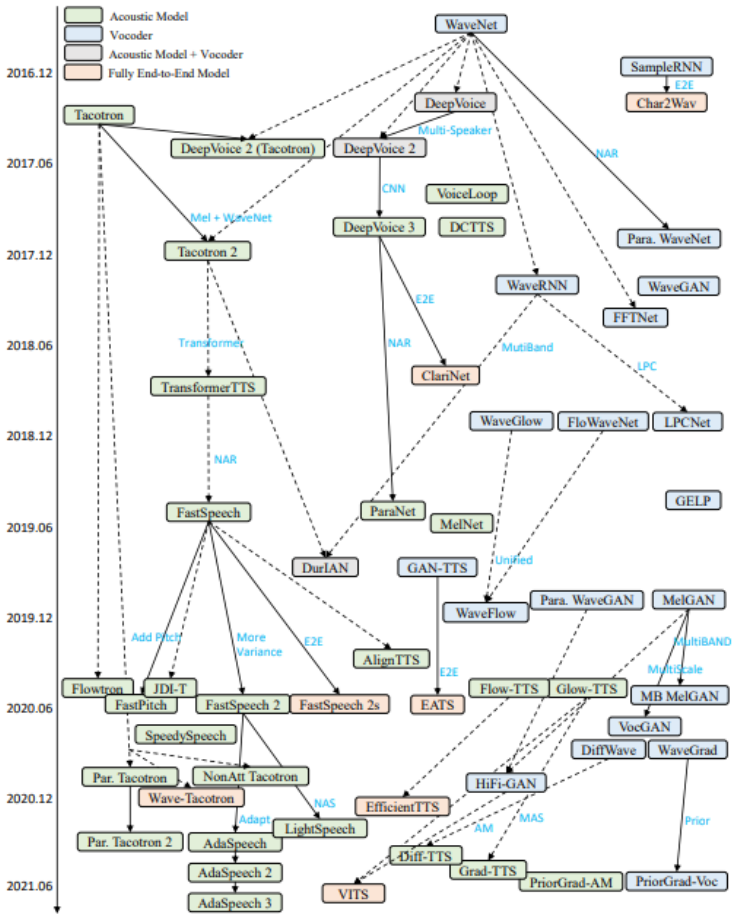


Рис. 1. Схема развития нейросетевых моделей синтеза речи

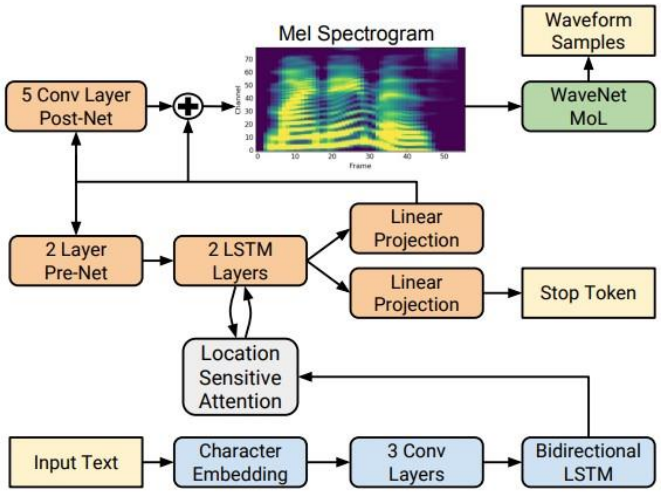


Рис. 2. Схема модели синтеза речи Tacotron 2

Выразительный синтез речи

Естественность – один из главных требований к синтезируемой речи, именно поэтому данное направление пользуется особой популярностью в бизнесе, потому что основная цель при проектировании голосовых интерфейсов – «человечность» голоса в общении. Именно поэтому очень важно, чтобы речь была окрашена эмоционально, с хрипотцой и так далее. На данный момент одним из лучших механизмов добавления

окраса в голос – Global Style Tokens. На основе большого количества данных разных дикторов с помощью механизма самовнимания происходит поиск шаблона в просодической части сигнала для кодирования в виде вектора определенных «стилевых токенов». В результате каждый стилевой токен хранит в себе определенный стилистический шаблон голоса, который используется при синтезе. На рис. 3 представлена схема работы Global Style Tokens.

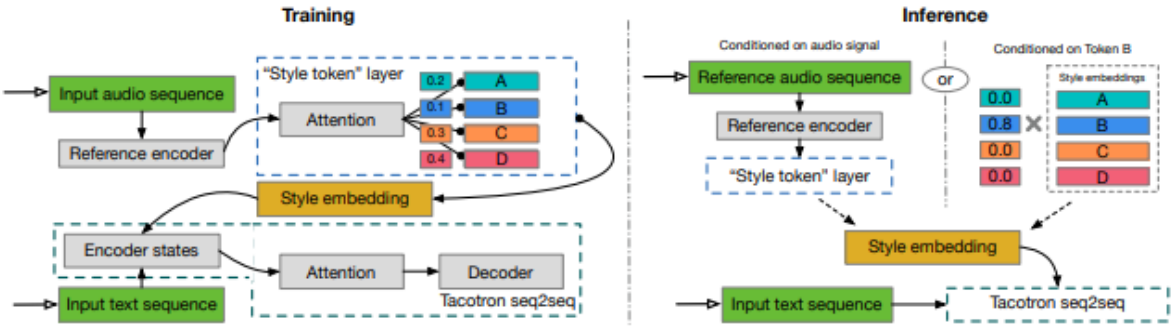


Рис. 3. Схема работы Global Style Tokens

Надежный синтез речи

После первых нейросетевых моделей были обнаружены ошибки в синтезе, такие как пропуск слов, повторения целых фраз или бессмысленный набор звуков. Данные ошибки связаны с коллапсом внимания между encoder и decoder, а авторегрессионная составляющая после неправильно предложенного фрейма лишь усугубляет последующие фреймы. Поэтому для решения данной проблемы были предложены специальные механизмы внимания (stepwise monotonic attention, GMM attention, dynamic convolutional attention), отказ от внимания в пользу предсказания длительности фонем, а также переход от авторегрессии к одновременной генерации акустических признаков сигнала. Одним из ярчайших представителей надежного синтеза речи является Non-attentive Tacotron(NAT), представленный на рис. 4, архитектура очень схожа с второй моделью Tacotron, однако в нем отсутствует механизм внимания между encoder и decoder, заменен на предсказание длительности фонем, однако эта модель все также является авторегрессионной.

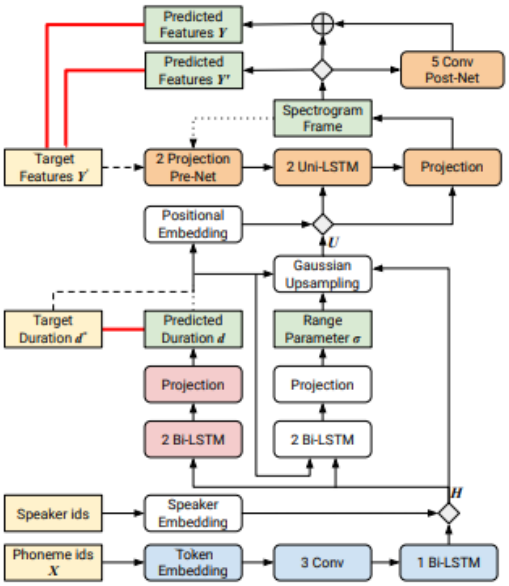


Рис. 4. Схема NAT

Ускорение синтеза речи

Из-за большого количества рекуррентных слоев и авторегрессионной составляющей, многие первые модели работали очень медленно, однако на практике очень часто нужен синтез речи в реальном времени, чтобы, например, обращаться по имени к представившемуся клиенту виртуального ассистента. Для решения данной проблемы выделили три основных механизма: параллельная генерация, упрощение модели и использование знаний о предметной области. Для параллельной генерации – уход от авторегрессионной составляющей и избегание рекуррентных слоев. Семейство моделей FastSpeech от компании Microsoft являются быстрыми и надежными, благодаря параллельной генерации. В первой модели FastSpeech [4] используются механизмы самовнимания и механизмы предсказания длительности фонем, в результате чего отсутствуют рекуррентные слои и механизм внимания между encoder и decoder, схематично архитектура представлена на рис. 5. Упрощение модели – использование более легковесных моделей для интеграции их в малопроизводительные вычислительные машины, такие как телефоны, планшеты. Использование знаний о предметной области позволит уменьшить вариативность используемых слов и предложений.

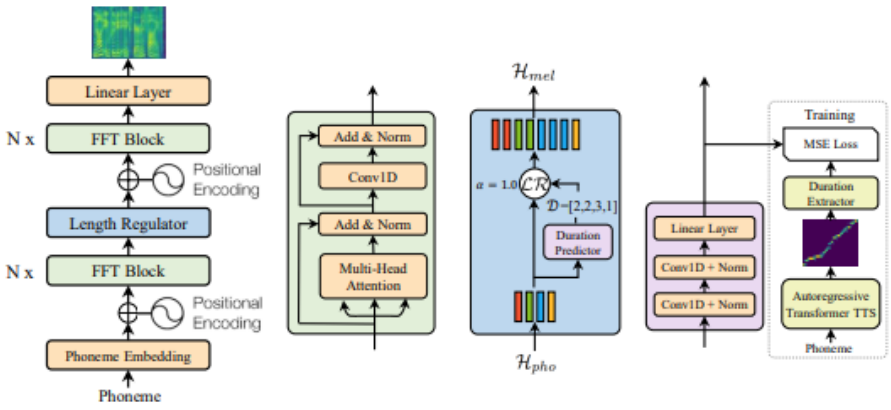


Рис. 5. Схема FastSpeech

Адаптивный синтез речи

Адаптивность выражается в настройках модели синтеза речи на целевой голос. У этого направления огромное количество приложений – синтез речи ушедшего из жизни актера или первичная апробация сценария фильма на различных актерах и так далее. Одно из основных решений – векторное представление голосов дикторов, то есть применение encoder для дикторов. Однако для удобоваримых результатов при переносе голоса – нужны данные исходного голоса, и чем их больше – тем лучше.

Малоресурсный синтез речи

Качество речи современных нейросетевых моделей существенно зависит от объема данных. В мире насчитывается порядка 7000 языков, и не для каждого языка есть необходимо количество данных. И для решения проблемы малоресурсных языков были предложены следующие варианты обогащения данных – Self-Supervized Training, межязыковой перевод, добавление данных с помощью адаптивного синтеза речи с других языков, «голосовые цепочки» и «добыча данных из дикой природы». Self-Supervized Training – это отдельное предобучение encoder на большом количестве лингвистических текстовых данных, decoder предобучение на аудиозаписях, и итоговый тюнинг на данных, которые есть для TTS. Межъязыковой перевод – использование предобученных моделей на других языках, но не на уровне символов, а на уровне фонем,

так как количество фонем на все языки строго ограничено. «Голосовые цепочки» - применение существующих ASR для получения пары текст-речь. «Добыча данных из дикой природы» - технология, при которой используются все данные, даже самые некачественные, но делается огромный упор на предварительную обработку таких данных.

Синтез поющего голоса

Вычислительное музыковедение – междисциплинарная наука на стыке музыкальной теории и компьютерных наук. Одна из интереснейших тем на стыке синтеза речи и вычислительного музыковедения – это синтез пения. На данный момент это направление развивается очень слабо, и активно его развивает лишь группа ученых «Music Technology Group» из Испании. Второй проблемой является ограниченность данных. Датасетов почти нет, и основными результатами группы являются предсказание частоты основного тона по нотам, генерация тембра на основе имеющейся аудиозаписи и нот и так далее. На рис. 6 представлена архитектура Sequence-to-sequence feed-forward Transformer для синтеза пения и тембра на основе аудиозаписи и нот [5].

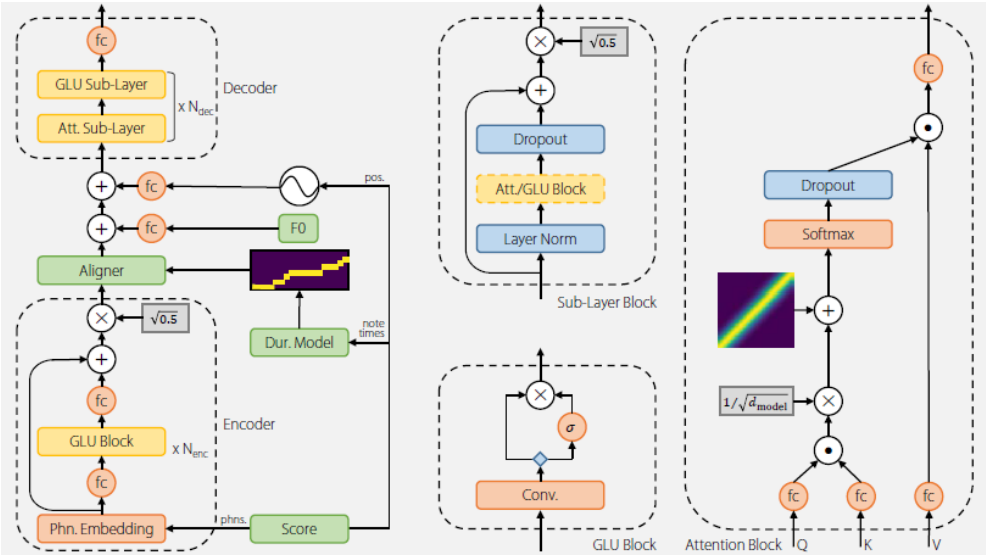


Рис. 6. Sequence-to-sequence singing synthesis using the feed-forward transformer

Метрики качества систем синтеза речи

Оценить качество систем синтеза речи – не менее простоя задача, чем сам синтез. На сегодняшний день самой популярной метрикой качества является Mean Opinion Score (MOS-оценка), которая является субъективной и получается усреднением оценок экспертов, оценивающих полученную систему по строгой спецификации. Однако, получение данной оценки стоит дорого, так как требует участия нескольких экспертов. Поэтому сейчас активно развивается область автоматических оценок на основе машинного обучения.

Заключение

Синтез речи – передовое направление искусственного интеллекта, которое позволяет автоматизировать огромное количество рутинных процессов. Современные направления синтеза решают большое количество проблем и нужд, возникающих в науке и бизнесе. Например, ускорение TTS позволит синтезировать речь в реальном времени, что позволит создавать голосовых ассистентов, которые смогут работать в реальном времени и отвечать на вопросы без задержек. Надежность и выразительность позволяет создавать наиболее «человеческие голоса», которые воспроизводят задаваемый текст без

ошибок и поломок. Отдельно стоит отметить синтез пения, которое на данный момент имеет наименьшее количество исследований, хотя количество приложений разрабатываемой системы огромно – от «примерки» произведения на артиста до синтеза пения в реальном времени. Нейросетевые механизмы уже сейчас позволяют решить поставленные задачи, но с каждым годом выходят новые статьи с новыми решениями, которые показывают себя еще лучше.

Литература

1. Калиев А., Рыбин С.В. Синтез речи: прошлое и настоящее // Информатика. Компьютерные инструменты в образовании. 2019. № 1. С. 5–28.
2. Xu Tan , Tao Qin, Frank Soong, Tie-Yan Liu. A Survey on Neural Speech Synthesis. 2021. Vol. arXiv:2106.15561. version 3. https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.15561.
3. Jonathan Shen, Ruoming Pang. Natural TTS synthesis by conditioning wavenet on mel spectrogram predictions. 2018. Vol. arXiv: 1712.05884. version 2. 8 p.
4. Yi Ren, Yangjun Ruan, Xu Ta. FastSpeech: Fast, Robust and Controllable Text to Speech. 2019. Vol. arXiv: 1905.09263. version 5. https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.09263.
5. Merlijn Blaauw, Jordi Bonada. Sequence-To-Sequence Singing Synthesis using the feed-forward Transformer. 2020. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 5 p.

УДК 004.89

АЛГОРИТМ ТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ

А.Е. Авдюшина, А.В. Платонов
Научный руководитель – д.т.н., профессор Бессмертный И.А.
Университет ИТМО

Аннотация
В данной работе проведено исследование применимости методов квантовой математики к поиску контекста, информационному поиску и тематическому моделированию. Проанализированы существующие методы извлечения контекста и тематического моделирования. С учетом недостатков и достоинств автором предложен подход решения поставленной задачи на основе квантовой запутанности и суперпозиции.
Ключевые слова
NLP, нейронные сети, информационный поиск, квантово-подобная модель, тематическое моделирование.

В современном обществе информация имеет первостепенное значение. Развитие средств информатизации способствует росту количества хранимой информации, в том числе и текстовой. Терминология Big Data (большие данные), которая сейчас является обозначением для огромных массивов информации, появилась двадцать лет назад, в полной мере отображает экспоненциальный рост объемов информации. Чаще всего эти данные не являются структурированными, не относятся к одной тематике. Все эти факторы затрудняют информационный поиск релевантной информации. В рамках данного исследования проводится попытка по-иному взглянуть на задачи тематического моделирования, а именно с помощью аппарата квантовой теории вероятности.

Векторизация текста или векторное представление слов интенсивно развивается в последние годы для лучшего отображения семантической близости, что впоследствии улучшает анализ текстовой информации [1]. Одним из направлений NLP является тематическое моделирование, которое может применяться не только к автоматическому анализу текста, но и к поиску информации, видео и аудио [2, 3]. В дальнейшем будем рассматривать тематическое моделирование текстовой информации, целями которого являются анализ текстовых данных, систематизация больших объемов текстовой информации, поиск информации, аннотирование документов и т.д. Во всех перечисленных задачах необходимо установить зависимость между темами, документами и словами, входящими в документ. Темы характеризуются наборами термов, которыми могут быть слова или словосочетания. Люди чаще всего в речи и написании текста манипулируют языком в определенной области или контексте, что сложно моделировать в интеллектуальных системах. Поэтому получают развитие методы квантовой математики, которые способны описывать состояние системы, состоящей из множества частиц, и учитывать влияние малейших изменений в одной из частей на состояние всей системы в целом. В работе показано, что можно использовать законы квантовой математики при анализе информации [4].

В работе исследуется применение математических основ и формулировок квантовой механики к задачам информационного поиска [5]. Приведены результаты, которые векторное пространство представляют гильбертовым пространством, а также состояние системы описывают с использованием суперпозиции, неопределенности. В общем случае в этих работах квантовое моделирование латентного тематического анализа объясняется отсутствием или наличием скрытых тем, кроме того, тем на

несколько порядков меньше, чем термов, поэтому проекция документа на пространство скрытых тем является процессом уменьшения размерности. Тогда скрытое семантическое пространство определяется подпространством гильбертова пространства в виде проектора Идеи квантового формализма, представляющая объекты в виде суперпозиции векторов и условий нормализации, позволяют учесть влияние частей системы друг на друга, отобразить это влияние через матрицу проекции. Поэтому существует возможность представления текстовых объектов в гильбертовом пространстве для отображения связей, контекста через базисные вектора, которые определяют подпространство.

Для реализации алгоритма за основу был взят pLSA – вероятностный латентно-семантический анализ, в котором рассматривается множество всех документов D и всех термов W. Причем термы ранее получены предобработкой с помощью «мешка слов» имеют квантовую запутанность. Следовательно, количество слова $w \in W$ в документе $d \in D$ равно n_{dw}. Значение n_{dw} в алгоритме вычисляется с использованием DTM матрицы, и используется гипотеза условной независимости

$$p(w|d,t) = p(w|t), \tag{1}$$

по которой вероятность появления слова w не зависит от документа d, а зависит от темы, t.

Скрытые темы $T_1, T_2, \ldots, T_K$, образующие множество T, будем использовать в качестве базиса размерности K. Для итерационного процесса начальные элементы базисных векторов выбираются случайным образом. Далее для соблюдение квантового формализма по методу Грама-Шмидта строим для первоначального базиса ортонормированный базис.

Исходя из принципа квантового формализма, суперпозиция каждого вектора терма $|w\rangle$ из множества W представляется в виде

$$|w\rangle = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_K \end{bmatrix} = w_1 T_1 + w_2 T_2 + \ldots + w_K T_K \tag{2}$$

при условии нормировки

$$\sum_{i=1}^{K} |w_i|^2 = 1. \tag{3}$$

Аналогичные рассуждения для каждого документа из множества D приводят к соотношению

$$|d\rangle = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_K \end{bmatrix} = d_1 T_1 + d_2 T_2 + \ldots + d_K T_K, \tag{4}$$

где

$$\sum_{i=1}^{K} |d_i|^2 = 1. \tag{5}$$

Тогда вероятность распределение термов в документе имеет вид

$$p(w|d) = \sum_{t=1}^{K} p(w|t) p(t|d). \tag{6}$$

Проекции вектора терма $|w\rangle$ на базис $T_1, T_2, ..., T_K$ представляются в виде матрицы проекций P_t и вероятность выбора темы $t \in T$ для терма $|w\rangle$ равна

$$p(t|w) = \langle w|P_t|w\rangle. \quad (7)$$

Тогда первые множители в сумме произведений (6) будем вычислять с использованием условной вероятности следующим образом

$$p(w|t) = \frac{p(t|w)p(w)}{p(t)} = \frac{\langle w|P_t|w\rangle p(w)}{p(t)}. \quad (8)$$

Здесь $p(t)$ – вероятность выбора конкретной темы t из всего множества тем T; $p(w)$ – вероятность выбора терма w из всего множества термов W.

Проекции вектора документа $|d\rangle$ на базис $T_1, T_2, ..., T_K$ представляются в виде матрицы проекций $\tilde{P}_t$, тогда вероятность выбора темы t для документа $|d\rangle$ равна

$$p(t|d) = \langle d|\tilde{P}_t|d\rangle. \quad (9)$$

Введенные обозначения для параметров модели принимают значения

$$\varphi_{wt} = p(w|t) = \frac{\langle w|P_t|w\rangle p(w)}{p(t)}, \quad \theta_{td} = p(t|d) = \langle d|\tilde{P}_t|d\rangle, \quad (10)$$

и задача тематического моделирования, построенная на основе принципа максимального правдоподобия, в разработанном алгоритме имеет вид

$$L = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} n(d_i, w_j)\, log \sum_{k=1}^{K} \frac{\langle w_j|P_{t_k}|w_j\rangle p(w_j)}{p(t_k)} \langle d_i|\tilde{P}_{t_k}|d_i\rangle \to max \quad (11)$$

при условиях

$$\sum_{w=1}^{M} \varphi_{wt} = 1, \varphi_{wt} \geq 0, \sum_{t=1}^{K} \theta_{td} = 1, \theta_{td} \geq 0; \quad (12)$$

N – размерность множества документов D; M – размерность множества термов W.

Решение задачи оптимизации (11), (12) проводится с использованием EM-алгоритма. Начальными значениями являются заданные случайным образом параметры φ_{wt}, θ_{td}, а также базис $T_1, T_2, ..., T_K$ после ортонормирования. Далее:

– на Е-шаге по найденным на предыдущем шаге параметрам $\varphi_{wt}, \theta_{td}$ определяется n_{dwt} количество слов w, порожденных темой t в документе d;

– на М-шаге по значениям n_{dwt} происходит переход к новому базису $T_1, T_2, ..., T_K$ с использованием матрицы поворота и пересчет оценок $\varphi_{wt}, \theta_{td}$ по формуле (10).

Итерационный процесс продолжается пока не будет решена задача максимального правдоподобия, то есть пока не найден максимум функционала L по формулам (11) с учетом условий (12).

Разработанный алгоритм представлен псевдокодом на рис. 1.

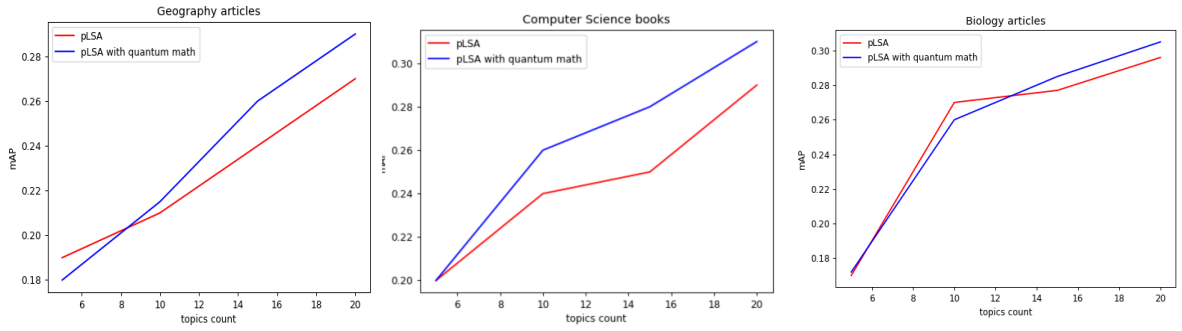
Исходные параметры: Множество документов D, число тем $|T|$
Выходные данные: Θ, Φ
Инициализация матриц φ_t, θ_d, T случайным образом;
Построение ортонормированного T базиса с помощью алгоритма Грама-Шмидта;
повторять
  для каждого $d \in D, w \in W$ **выполнять**
    $p(w|d) := \sum_{t \in T} \varphi_{wt}, \theta_{dt}$;
    для каждого $t \in T$ **выполнять**
      $p(t|d,w) := \varphi_{wt}\theta_{dt}/p(w|d)$;
    конец
  конец
  Преобразование базиса T к новому базису T';
  $\widetilde{P}_t := PROJ_{T'}d$ - нахождение проекции d на базис T' для каждого $d \in D$;
  $P_t = PROJ_{T'}w$ - нахождение проекции w на базис T' для каждого $w \in W$;
  $p(t|w) := wP_tw^T$;
  $\varphi_{wt} := \frac{p(t|w)p(w)}{p(t)}$;
  $\theta_{td} := d\widetilde{P}_td^T$
до тех пор, пока *не сойдутся* Θ *и* Φ;

Рис. 1. Алгоритм квантового вероятностного скрытого тематического моделирования

Проведение исследования по тематическому моделированию предполагает наличие датасета с текстами различной тематики. Потому были подобраны 1210 источников: книг, научных статей и журналов. Темы выбранных документов: программирование, информационные технологии, медицина, биология, география и геология.

Программная реализации разработанного ранее алгоритма вероятностного тематического моделирования на основе принципов квантовой математики, учитывающая вероятность появления слов в скрытых темах, вероятность принадлежности документа скрытым темам, геометрические проекции векторов слов и документов на базисные вектора, которыми являются скрытые темы, позволила провести численные эксперименты по определению скрытых тем. Результаты эксперимента отображены на рис. 2 и доказывают релевантность выбранных тем. Выявление скрытых параметров, которыми являются темы документов, происходит эффективно.

На рис. 2 показано изменение mAP в зависимости от количества тем. Для проведения сравнения и оценки разработанного алгоритма проведена программная реализация метода pLSA, Исследование проводилось для 5, 10, 15, 20 тем, поскольку на таком объеме можно явно увидеть релевантность полученных результатов. Несмотря на неравномерность выборки документов, из графиков можно увидеть, что исследуемый метод тематического моделирования показывает результат лучше базового метода pLSA. Следовательно, разработанный метод лучше справляется со скрытыми факторами для оцениваемых коллекций.



а) *б*) *в*)

Рис. 2. Сравнение точности алгоритмов pLSA и pLSA с применением методов квантовой математики: а) география; б) программная инженерия; в) биология

Таким образом, эксперимент, проведенный для полученного корпуса, показал эффективность для выделения тем и контекста разработанного алгоритма вероятностного скрытого тематического моделирования с применением аппарата квантовой математики по сравнению с методом pLSA.

По результатам проведенных экспериментов планируется дальнейшее улучшение алгоритма. Адаптивный выбор угла поворота базиса поможет уменьшить количество итераций необходимых для сходимости алгоритма. Также планируется замена выбора начального значения для инициализации матриц и добавление регуляризаторов для выделения фоновых тем и получения более устойчивой модели. Дальнейшее развитие алгоритма предполагает построение робастного алгоритма тематического моделирования и разработку системы, за счет которой можно значительно повысить качество извлечения данных из документов.

Литература

1. Deep Contextualized Word Representations / Matthew Peters, Mark Neumann, Mohit Iyyer et al. // Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. – Association for Computational Linguistics. 2018. Pp. 2227–2237.
2. Ianina A., Vorontsov K. Regularized Multimodal Hierarchical Topic Model for Document-by-Document Exploratory Search / A. Ianina, K. Vorontsov // Conference: 2019 25th Conference of Open Innovations Association. 2019. С. 131–138.
3. Feng Y. Topic Models for Image Annotation and Text Illustration / Y. Feng, Lapata, Mirella. 2010. P. 831–839.
4. An adaptive contextual quantum language model / Jingfei Li, Peng Zhang, Dawei Song, Yuexian Hou // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2016. Vol.456. P. 51-67.
5. How Quantum Theory is Developing the Field of Information Retrieval / Song D., Lalmas M, C.J van Rijsbergen, Frommholz I, Piwowarski B, Wang J, Zhang P., Zuccon G., and Bruza PD // In Quantum Informatics Symposium, AAAI Fall Symposia Series, AAAI Press. 2010. P. 11–14.

УДК 004.89

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ЧЕЛОВЕКООРИЕНТИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БЛАГОУСТРОЙСТВА ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ

А.С. Антонов
Научный руководитель – к.т.н., директор Института дизайна и урбанистики С.А. Митягин
Университет ИТМО
e-mail: asantonov@itmo.ru

Аннотация
В работе представлен подход к разработке методики для оценки качества благоустройства общественных пространств с позиции ценности для потребителей. Она включает в себя набор элементов, отображающих различные факторы, определяющие качество благоустройства, а также их взаимодействие. Разрабатываемую методику планируется реализовать на примере системы благоустройства в Санкт-Петербурге.
Ключевые слова
Благоустройство, потребительская ценность, качество общественных пространств, данные социальных сетей, электронное участие.

В условиях высокой урбанизации населения качество благоустройства городских территорий, как составляющая качества городской среды и жизни в целом, является важным показателем эффективности работы органов власти. Значительную часть городской территории занимают общественные пространства – дворы, улицы, парки, набережные и другие. Благоустройство подобных территорий требует существенных затрат ресурсов, что особенно значимо в условиях меняющегося запроса на их качество и ограниченного бюджета ответственных органов власти. Для наиболее эффективного поддержания уровня качества необходимо учитывать множество факторов, влияющих на динамику изменения состояния общественных пространств и находящихся в их составе элементов городской среды. Как объект управления, общественное пространство имеет как подконтрольные органам власти характеристики – физический износ объектов городской среды, транспортная и пешеходная доступность, набор предлагаемых активностей, эстетическое и санитарное состояние, так и неподконтрольные – популярность общественных пространств в социальных сетях, общественное восприятие и оценка опыта пребывания и пользования пространствами. Для того, чтобы учесть сложный системный характер подобного объекта исследования, методика оценки качества благоустройства должна включать в себя анализ социального, антропогенного и природного аспекта общественных пространств.

Изучение качества управления и благоустройства общественных пространств с позиции их пользователей начало проводиться с 80-х годов XX века. Отдельно следует отметить работу Яна Гейла [1], в которой он выделил 12 критериев качества общественного пространства, объединив их в три категории: защищенность, комфорт и удовольствие. Позднее «Project for Public Spaces» [2] также разработал 4 основных критерия оценки: доступность и связанность, комфорт и облик места, многофункциональность и ощущение безопасности и дружелюбности. Эти принципы впоследствии стали основными для многих аналогичных методик.

Так, например, в Новосибирске была разработана методика оценки состояния благоустройства [3] и востребованности общественных пространств. В ней 12 критериев были разбиты на 3 группы, первая из которых относится непосредственно к качеству

благоустройства как к состоянию городской инфраструктуры и качества предоставления городских услуг. При этом оценки по этой группе были получены при помощи анализа результатов натурного обследования. Вторая отображает значимость, идентичность и оценку пространств горожанами. Третья объединяет критерии, описывающие привлекательность пространства.

В Китае была разработана модель для измерения качества уличного пространства [4]. Она основывается на 5 характеристиках физического окружения (качество проектирования, транспортная доступность, расстояние для перемещения, плотности населения и зданий, а также разнообразие сервисов) и 3 социальных характеристиках (загруженность улиц, безопасность и значимость). Модель была использована для вычисления качества улиц города Ухань

В Индии группой исследователей [5] был разработан индекс качества общественных пространств, включающий в себя оценку по ряду качественных характеристик: доступность и связность, обслуживание, привлекательность, комфорт, инклюзивность, наличие активностей, целенаправленность и безопасность. Значения этих характеристик вычисляются с применением заданных при помощи социального опроса весов, переводятся в относительный вид от 0 до 100 и объединяются в итоговую оценку. Эта методика была апробирована на нескольких парках в разных городах Индии.

Подобные методики оценки качества общественного пространства отвечают требованиям учета факторов различного происхождения, но зачастую описывают качество без анализа его динамики и взаимодействия компонентов, входящих в пространство. Это обусловлено методами, при помощи которых производится получение данных об общественных пространствах и их пользователях. В большей части изученных работ исследователи опираются на экспертные обследования ограниченного количества территорий, что существенно ограничивает как временной, так и пространственный аспекты аналитики. При этом актуальный уровень развития социальных сетей и различных сервисов электронного участия предоставляет большие объемы данных о городе, создаваемых их жителями. Описание системы общественного пространства, которое представлено далее, основывается на информации из подобных источников и ориентировано на анализ качества благоустройства общественных пространств с позиции пользователей.

Общественное пространство можно разделить на различные составляющие, подлежащие благоустройству. Например, к ним по Правилам благоустройства территории Санкт-Петербурга [6] относятся следующие объекты и элементы:

- устройства декоративные, технические, конструктивные;
- планировочное устройство;
- элементы озеленения;
- оборудование;
- наружная реклама и информация;
- некапитальные нестационарные строения и сооружения;
- нестационарные торговые объекты;
- элементы оформления;
- малые архитектурные формы.

При этом они по отдельности, а также общественное пространство в целом имеют ряд характеристик, на основе которых можно рассчитать качество. В частности, можно выделить такие характеристики, как значимость, доступность, востребованность, состояние объекта и его потребительские свойства, а также контекст. Следует отметить, что все они находятся во взаимосвязи друг к другу.

Индекс ценностной нагрузки отображает значимость общественного пространства для разных социальных групп. Это характеристика, обозначающая то, насколько вероятно горожанин выберет посещение этого объекта среди других возможных

вариантов времяпрепровождения. При этом она выражается в виде суммы значимости отдельных объектов благоустройства и самого пространства.

На основе проанализированных исследований можно сформулировать четыре критерия значимости: безопасность, привлекательность, комфорт и потребительские свойства. “Безопасность” отображает, насколько, по субъективному восприятию горожан, они защищены от угроз материальному и психологическому состоянию (пример подобной угрозы – аварийное состояние дерева). “Комфорт” означает, что пространство позволяет удовлетворять различные потребности без существенных затруднений, а “Привлекательность”, в свою очередь, отображает, насколько пространство отвечает эстетическим ценностям горожан и формирует позитивный образ в общественном восприятии (объявления на стенах домов, например, снижают привлекательность двора). Отдельно следует выделить критерий «Потребительские свойства» - многообразие потребностей, которые можно реализовать в пространстве. Эта характеристика основывается на результатах анализа данных из социальных сетей.

Также должна учитываться доступность: баланс затрат ресурсов, требуемых на доступ к пространству с выгодой, получаемой от него. Так, парк со множеством разнообразных способов времяпрепровождения и доступом к воде может оправдывать для граждан время и стоимость поездки. Доступность определяет, насколько ценностная нагрузка реализуется в виде социальной.

Востребованность общественного пространства — это физическая характеристика пространства, отображающая существующую посещаемость. Она определяется по индексу социальной нагрузки, рассчитываемому как отношение количества пользователей к заранее определенным показателям вместимости. В случае с общественным пространством количество пользователей определяется при помощи анализа моделей пешеходной и транспортной мобильности горожан, а также данных социальных сетей.

Состояние общественного пространства отображает выполнение объектами городской среды своих функций. Следует отметить, что эта характеристика объединяет в себе антропогенный и социальный аспект, поскольку возникающие при использовании проблемы по-разному оцениваются разными группами населения. Таким образом, можно выделить физическое состояние общественного пространства и социальное ожидание состояния, сформированное на основе представления в медиа или предыдущего опыта пользования. Жалобы горожан являются видом обратной связи между органами власти и населением, а также одним из основных источников информации о состоянии пространств. Они образуются в результате конфликта между состоянием общественного пространства и его ожиданием.

Контекст пространства описывает внешние факторы, влияющие на упомянутые ранее элементы системы общественного пространства. Он включает в себя окружающие пространство объекты и другие условия. Например, высокая температура летом увеличивает значимость пространств с доступом к воде. Также следует учитывать морфологическую структуру окружающей общественное пространство застройки.

Все описанные элементы могут влиять друг на друга. В частности, высокая значимость объекта в сочетании с оптимальной доступностью приводит к высокой социальной нагрузке. Она, в свою очередь, с течением времени ухудшает состояние отдельных объектов благоустройства на территории общественного пространства и его самого, приводя к снижению значимости. Для предотвращения постепенной деградации инфраструктуры и потери положительного образа объекта необходимо осуществлять постоянный мониторинг и обслуживание пространства и, при необходимости, формировать программы по обновлению объектов благоустройства.

В работе были проанализированы методики оценки качества благоустройства общественных пространств. Они учитывают сложный характер этой системы при помощи индикаторов, отображающих свойства разных видов: социальных, природных,

технических и других. При этом результатом применения большинства изученных методик является статичный срез качества благоустройства, поскольку они основываются на статистических данных и материалах экспертных обследований территорий. Предлагаемая в подходе методика является человекоориентированной и может выполнять оценку в динамике, основываясь на данных из социальных сетей и других городских сервисов. В работе представлено описание элементов системы общественного пространства и их взаимодействия. В дальнейшем планируется ее реализация на примере общественных пространств Санкт-Петербурга. При этом необходимо учесть особенности социальных городских данных, которые могут повлиять на конечный результат.

Литература

1. Gehl J. Life between buildings. Island Press. 2011. 212 p.
2. Project for Public Spaces. What Makes a Successful Place? [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.pps.org/article/grplacefeat (дата обращения: 21.04.2022).
3. Ерохин Г.П., Тимофеенко К.О. Комплексная оценка состояния благоустройства общественных территорий города Новосибирска // Творчество и современность. 2019. Т.2. № 10. С. 91–109.
4. Wan T., Lu W., Sun P. Constructing the Quality Measurement Model of Street Space and Its Application in the Old Town in Wuhan // Frontiers in public health. 2022. V. 10. P. 1-18.
5. Praliya S., Garg P. Public space quality evaluation: prerequisite for public space management // The Journal of Public Space. 2019. V. 4. №. 1. P. 93-126.
6. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 9 ноября 2016 года № 961 «О Правилах благоустройства территории Санкт-Петербурга и о внесении изменений в некоторые постановления Правительства Санкт-Петербурга» [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.docs.cntd.ru/document/456024404 (дата обращения: 21.04.2022).

УДК 316.4

ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ НА УРБАНИСТИЧЕСКИЕ НАРРАТИВЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И РИСКИ

Д.Н. Ахметзянова
Научный руководитель – д.филос.н., доцент Г.В. Горнова
Университет ИТМО
e-mail: dn_akhmetzyanova@gmail.com

Аннотация
В рамках доклада раскрывается, что представляет собой «урбанистический нарратив», какое влияние оказала на его развитие пандемия COVID-19, и поднимается вопрос специфики формирования смысловых реальностей различных городских акторов в фокусе нарративного подхода. В рамках обзора предлагаемого метода исследования рассматривается значимость его применения в анализе социоэкономического пространства города, а также при проведении оценки потенциальных возможностей и рисков в городских практиках.

Ключевые слова
Модели наррации, нарративы, нарративный подход, пандемия COVID-19, урбанистический нарратив.

Введение

В широком смысле нарративами являются сюжеты, в которых последовательно отображено некое событие; в нарративном анализе исследуются элементы повествования – связь и характер событий, атрибуты героев, оценки рассказчика. Модели наррации есть комплексы языковых приемов моделирования реальности и способы передачи знаний о мире, поэтому изучение нарративов в урбанистическом контексте необходимо с целью создания ясного представления о сложившейся ситуации; нарративы влияют на решения, принимаемые горожанами как социальными и экономическими субъектами, в долгосрочной перспективе: «люди склонны к абсолютно нерациональному поведению и <...> такое поведение – не патология, а норма» [1]. Сегодня нарративный подход применяется практически во всех областях научного знания как способ работы со смысловой составляющей любого структурного образования и вопросами формирования идентичности, однако в урбанистике ощущается как нехватка комплексного осмысления существующих тенденций, так и нехватка методического инструментария для их исследований. Таким образом, актуальность исследования обусловлена научной значимостью изучения смыслового пространства города в рамках нарративных структур; малой изученностью форм повествования и повествовательной инстанции смыслового пространства города. Объектом исследования являются модели наррации как комплексы языковых приемов моделирования реальности и способы передачи знаний о мире; предметом исследования выступают тематические и стилистические особенности нарративных текстов на городскую тематику, обусловленные влиянием пандемии COVID-19. Цели работы: раскрыть особенности современного городского текста, обусловленные влиянием пандемии COVID-19, определить методологию его изучения в рамках урбанистической нарративной парадигмы, обозначить перспективы применения метода в городских исследованиях и практиках.

Урбанистические нарративы и пандемия COVID-19

В рамках данного исследования было сформулировано определение урбанистического нарратива — особой формы повествования, которая учитывает индивидуальный и социальный полюсы жизни горожанина, отражает конфликт между ними, содержит в себе конкретную пространственную привязку, и обладает менее строгими структурными характеристиками, чем лингвистический нарратив. Затем на основе ряда статей как академического, так и публицистического толка, были рассмотрены характеристики пандемического и постпандемического городов. По итогам первичного тематического анализа были выделены следующие типы нарративов:

- нарратив дезурбанизации как частный случай апокалиптического нарратива (тема «смерти города»);
- нарратив «здорового города» как одна из форм современной утопии;
- нарратив «умного города» в условиях пандемии.

Были выделены два глобальных городских нарратива, полноценно оформившихся за период пандемии:

- нарратив «здорового города», в основном присутствующий в текстах, связанных с властными структурами, метанарратив утопии;
- нарратив города – «тюремного архипелага», встречающийся как в академических публикациях, как в личных историях, так и в СМИ.

По итогам структурного анализа данных нарративов можно выделить следующие характерные для них черты:

- героями городских нарративов выступают горожане, предприниматели, городские власти, государство, комфортная/некомфортная городская среда, пандемия;
- типами конфликтов являются герой против обстоятельств (горожанин (город) против пандемии), герой против общества (конфликт идеологий – масочник против антимасочников), а также внутренний конфликт (тема личного переживания пандемических ограничений и последствий пандемии);
- пространство может выступать как в качестве фона, так и активного действующего персонажа.

Было выявлено, что существующий урбанистический нарратив отражает тот факт, что жизнь в условиях постоянного стресса привела к росту агрессивности и учащению случаев психологических расстройств среди горожан, также стала получать отражение тематика коллективной психологической травмы [2]. С одной стороны, двойственная политика государств через введение обязательных к соблюдению пандемических ограничений в общественных местах и вакцинации в сочетании с призывами к возвращению допандемийного режима работы вынуждает людей идти на уступки и жертвы в рамках идеологии неолиберализма; с другой стороны, текущая реакция горожан на ограничения показывает, что пандемические ритуалы поведения (обязательное ношение масок, использование санитайзеров, сокращение личных контактов и т.д.) в большей степени отражают мировоззренческую позицию, несмотря на очевидный риск для здоровья в случае их несоблюдения. Также в течение периода с 2020 по 2021 нередко звучали высказывания о «новом пространстве города», что коррелирует с тем фактом, что самыми популярными запросами в Google по итогам 2021 года стали «новая норма» («new norm») и «исцеление» («healing») [3]. Особого внимания заслуживает тот факт, что в рамках данного нарратива формируется убеждение «лучшая стратегия контроля над распространением болезней – это контроль над городской средой и поведением людей в ней», где здоровье начинает продаваться как «товар», стандартизированный, сертифицированный и доступный лишь немногим. Современная концепция здоровья и благополучия становится все более корпоративной, рассматривая тело горожанина и его физическое окружение в свете неолиберальных идеалов, поэтому не исключено, что постпандемические города, применяя стратегии по формированию

«здорового города» на практике, тем самым не смогут способствовать решению проблемы социального неравенства, а лишь усугубят ее [4].

Исследовательский метод

Далее было проведено формирование и начато апробирование методологии по выявлению текущих урбанистических нарративных тенденций. Первый уровень исследования представляет собой процесс сбора исходных данных с учетом того, что в приоритете находятся бесконтактные методы с применением цифровых инструментов. Затем идет уровень подготовки и анализа собранного материала, где проводятся:

- структурный подход к анализу нарратива;
- семантический анализ текста;
- нарративное картирование.

Промежуточными задачами являются:

- определение характеристик текстов на основе наиболее часто употребляемых слов;
- выявление преобладающей тональности отношения (позитивное/негативное/ нейтральное);
- визуализация полученных данных.

В качестве частного случая применения метода было выбрано изучение ситуации на рынке жилой недвижимости Санкт-Петербурга в период пандемии. Основные урбанистические нарративы по оценке после ознакомления с рядом публикаций это:

- нарратив «здорового города»;
- нарратив дезурбанизации.

Основные герои: застройщики, горожане, пандемические ограничения, государство, эксперты. Основные типы конфликтов:

- герой против обстоятельств (застройщик против ограничений);
- внутренний конфликт (горожане и ипотека).

Затем были определены следующие стадии исследования:

- контент-анализ тематического корпуса текстов для составления нарративного тренда, формируемого открытыми информационными источниками;
- выявление основных трендов на рынке жилой недвижимости;
- сопоставление полученных результатов, определение возможных зависимостей между изменениями в нарративе и динамикой ценообразования на рынке жилой недвижимости в Санкт-Петербурге.

На данный момент исследование находится в процессе разработки, но уже сейчас можно сделать определенные выводы. Так, вероятно, что в качестве потенциальных рисков нарративные структуры, сформировавшиеся под влиянием идей неолиберализма и пандемии, способны повлечь за собой:

- усиление социального расслоения посредством коммерциализации идеи здоровой среды; когда здоровье начинает продаваться как «товар», доступный лишь немногим;
- примирение с идеей недоступности качественных условий проживания, формирование у горожанина выученной беспомощности и усугубление психологических проблем.

Потенциальные возможности, которыми обеспечил нас опыт проживания сложившихся пандемических нарративов – это:

- возможность эффективно информировать горожан о неких нововведениях;
- представление о методах борьбы с паническими настроениями;
- опыт стимулирования продаж посредством формирования бренда, хорошо продаваемой истории о лучшей жизни.

Выводы

Изучение урбанистических нарративов является масштабируемым методом исследования, который позволяет изучать социоэкономическое пространство городов во всей полноте, так как внимание к нарративам дает большой массив эмпирического материала. Изучение урбанистических нарративов позволит создавать более реалистичные теории о действиях городских акторов; спектр применения концепции урбанистического нарратива на практике также весьма широк – от брендинга территорий до работы с сообществами. Пандемия COVID-19 является частным случаем чрезвычайной ситуации, повторение которой возможно в ближайшем будущем, поэтому нам требуется учесть весь полученный за это время опыт, и применение нарративного метода позволит обеспечить достаточный уровень абстракции для выделения структур, зависимостей, трендов без утраты самого главного: личного взгляда рассказчика.

Литература

1. Лютова М. «Нарративная экономика»: как вирусные истории и эмоции формируют реальность. Эконс. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://econs.online/articles/ekonomika/narrativnaya-ekonomika/ (дата обращения: 20.10.2021).
2. Iati M. The pandemic has caused nearly two years of collective trauma. Many people are near a breaking point. The Washington Post. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https:// www.yahoo.com/ entertainment/pandemic-caused- nearly-two-years-030108297.html (дата обращения: 20.10.2021).
3. Rogers S. In 2021, the world searched for healing. Blog Google. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://blog.google/products/search/year-in-search-2021/ (дата обращения: 30.12.2021).
4. Cummins E. What Past Plagues Tell Us About the Post-Covid City. The New Republic. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://newrepublic.com/article/164875/past-plagues-tell-us-post-covid-city (дата обращения: 30.12.2021).

УДК 911.375.3

РОЛЬ ЦВЕТА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ В ГОРОДАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

М.Ю. Башкатова
Научный руководитель – к.п.н., доцент И.А. Шмелева
Университет ИТМО
e-mail: 337196@niuitmo.ru

Аннотация
Данное исследование направлено на изучение влияния цветовых решений в городской среде на жителей городов Крайнего Севера. Рассмотрены основные разработки отечественных учёных и проведён анализ зарубежного опыта. Выявлен морфотип природы Арктики и проведено сравнение с колористической средой северных городов.
Ключевые слова
Северные города, Крайний север, колористическая гамма, дизайн-код, мурал.

Введение

В России около 7% населения страны проживают в зоне Крайнего Севера. Они проживают как в посёлках и маленьких городках, так и в самых крупных городах за Северным Полярным кругом – в Мурманске, в Норильске, в Воркуте и других. В этом регионе наблюдаются тяжёлые погодные условия – длинные (до 9 месяцев) зимы, сильные ветра, большое количество осадков, а так же полярная ночь – время, когда солнце не поднимается из-за горизонта. В это время для большинства жителей характерны негативные состояния, такие как депрессия, апатия и усталость.

Актуальность исследования. Как показывает опыт проживания в городах Крайнего севера, многие местные жители испытывают дискомфорт от нехватки ярких красок вокруг во время полярной ночи и длительных зим. В России принято в городах Крайнего Севера окрашивать дома, элементы городской среды в яркие цвета. Используются многоцветные светящиеся украшения в зимний период. Цветовые решения в городской среде влияют на её восприятие и оказывают серьёзное влияние на психологическое состояние человека. Но для северных регионов, из-за скудности красок природы и короткого светового дня, цветовые решения имеют намного большее значение.

В качестве задач настоящее исследования были определены следующие:

- анализ международного и российского опыта колористических решений для городов Севера;
- выявление морфотипа природы Арктики для сравнения с колористической средой городов Севера;
- анализ примеров «стрит-арта» в Мурманской области.

Обзор международных исследований

Анализ международных исследований показывает, что проблемы цветового дизайна изучаются на примере норвежских северных городов, таких как г. Осло и г. Тромсё. Представляет интерес для изучения колористический мастер-план для маленького города Лонгйир на острове Шпицберген. В этом мастер-плане [1] в 2016 г. была разработана оригинальная методика, которая, по замыслу градостроителей, должна была выделить центр города, но при этом создать целостный стиль, чтобы все элементы городской архитектуры имели общую концепцию. Этот мастер-план учитывал конструкции и здания, которые было сложно покрасить или перестроить. Сама методика

основана на Норвежском стандарте для описания цвета NCS (Natural Colour System) [2], а также на структуре символов и кодировании (рис. 1).

Рис. 1. Пример применения методики из мастер-плана г. Лонгйира (Норвегия) [1]

Обзор российских исследований

Отечественные учёные также разрабатывают концепции дизайн-кода, которые учитывали бы специфику региона Крайнего севера. Примером тому может быть утверждённый администрацией города в 2017 г. колористический паспорт г. Норильска [3], в котором проведена работа с визуальной организацией городской среды. Альбом разработан для создания оптимальной системы колористических решений фасадов зданий, строений и сооружений.

Ряд исследователей в области колористических разработок обращают внимание [4] на то, что цветовая палитра не должна быть слишком яркой или слишком монотонной. В данных исследованиях определено, что для городов Северного региона не подходит колористическая гамма городов средней полосы и юга. В них используется цветовая гамма, приближенная к природным материалам, что позволяло людям испытывать комфорт, ощущение «своего места». Для регионов Крайнего Севера такие цвета будут действовать обратно – создадут тёмную среду. Поэтому, необходимо использовать яркие и светлые оттенки, учитывать специфику региона и потребности местных жителей. Также, цветовая гамма должна быть гармонизирована, чтобы создать ощущение единого города.

В рамках Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации в 2021 году был разработан «Дизайн-код Арктических поселений» [5]. В данном документе на примере трёх городов Мурманской области были предложены рекомендации по улучшению внешнего вида городов. Сам документ носит рекомендательный характер, однако, в нём авторы затронули важность колористической гаммы. Цветовая гамма застройки может нивелировать проблемы нехватки солнечного света, недостатка ярких красок, аскетичности визуальных панорам.

При достаточно скудной растительности цветовая гамма ландшафта арктических поселений меняется от монотонного белого зимой до различных оттенков серого и чёрного – летом. В документе «Дизайн-код Арктических городов» используется методика А.В. Ефимова, которая основана на комплексной методике по разработкам колористики различных городов [6]. Эта методология основана на принципе «от общего к частному», то есть сначала определяется общая цветовая концепция поселения, затем, от определения цветовых решений микрорайонов и улиц, можно прийти к цветовому решению конкретных зданий. Таким образом, цветовое решение определённых зданий будет основано на общей колористики населённого пункта и на палитре окружающей среды (рис. 2).

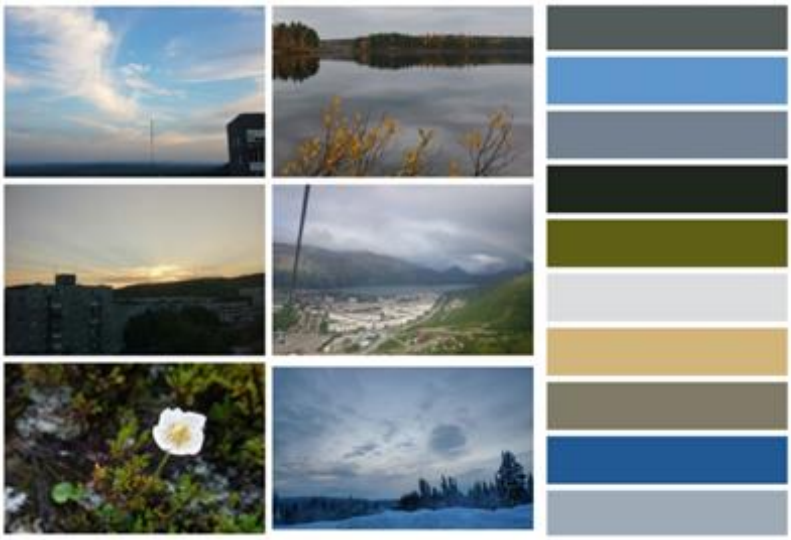


Рис. 2. Природный морфотип Арктики на примере природы Мурманской области

На основе данной методики была разработана палитра природного морфотипа Арктики на примере Мурманской области. Составление данной палитры позволяет понять, какие тона преобладают. На данной палитре заметно, что преобладают холодные оттенки. Исходя из этого, логичным в составлении колористического плана северного города использовать оттенки тёплого спектра, которые позволят компенсировать холодную гамму окружающей природы, а также использовать яркие тона. Однако, некоторые исследователи утверждают, что использование слишком ярких цветов тоже не выход – природный морфотип Арктики достаточно спокоен, и «баночные» цвета могут резко выделяться в «сложившейся визуальной экосистеме» [5].

Обзор некоторых проблем колористических решений северного города

Перейдём к рассмотрению проблемы использования искусственной цветовой гаммы в городах севера. Использование «баночных» цветов (ярких, не природных), не характерных для арктических поселений, в результате делают города и поселения универсально похожими друг на друга, нарушая их идентичность. Также, по исследованиям «Дизайн кода», слишком большое количество цветов на фасаде создаёт цветовую нагрузку и цветовой шум, который нивелирует достоинство цветных фасадов. Важно подбирать оттенки, которые сочетаются. Разные цвета на фасаде могут быть использованы, если архитектурный стиль позволяет так сделать. Не стоит окрашивать фасады домов 50-х годов в разноцветные цвета – это разрушает вид исторического облика здания, создаёт визуальный шум. Однако, если обратить внимание на колористическую гамму городов Крайнего севера (например, г. Лонгийр, Норвегия), то можно заметить, что используются именно яркие цвета, которые отвлекают жителей от скудных красок окружающей среды.

Рассмотрим ещё одну проблему цветовых решений в городах Крайнего Севера. На Крайнем Севере распространено размещение баннеров и муралов. Мурал (супер-граффити) – это вид монументального искусства, живопись на архитектурных сооружениях и других стационарных основаниях на торцах зданий. Это не является «стрит-артом», так как создаются по заказу города или согласуются с городской властью. Размещение баннера считается не всегда удачным решением для фасада (часто, баннерами прикрывают стену, на которой есть проблемы). Муралы же напротив, наносятся на подготовленную стену, которая подразумевает под собой косметический ремонт поверхности. Муралы на типовых зданиях служат цели разбавить монотонную среду. Кроме того, супер-граффити – это способ подчеркнуть идентичность поселения, изобразить его символы, отобразить уникальность объекта. При этом, если граффити

достаточно лаконично и содержит в себе несколько цветов, то в рамках жилой застройки оно начинает выглядеть как арт-объект. Достаточно часто в последнее время местные городские власти и градообразующие предприятия стали привлекать местных художников для создания на стенах домов «муралов». Например, в Мурманской области и в г. Норильск, ГМК «Норильский Никель» с 2017 г. финансировал [7] участников конкурса «муралов» – «Добавь городу красок». Такие работы учитывали специфику региона.

Использование световых решений для колористики города

Рассмотрим ещё одно решение колористических проблем городов Крайнего севера. Некоторые города на Крайнем севере используют различные световые технологии. В некоторых городах используются проекции в тёмное время суток на «глухие» стены домов как альтернатива «муралам». Свет часто используют в дизайне зданий – например, проект Арктический музей современного искусства (АММА) в г. Норильск [8] предполагает создание части фасада с помощью световой инсталляции. Архитекторы учли специфику региона и предложили вариант, который «создаёт атмосферу тепла, радует своим обликом» [8].

Заключение

В результате проведённого анализа можно сделать выводы о том, что для северных городов необходимо разрабатывать свою колористическую гамму, которая будет учитывать цветовые особенности окружающей природы региона. Также, можно сделать вывод о роли художников «супер-граффити». Для небольших городов, возможно, будет доступнее использовать муралы на фасадах. Такие работы, особенно те, которые отражают национальные мотивы, отсылают к традиционным занятиям и имеют подходящую колористическую гамму, помогают горожанам чувствовать принадлежность к этому месту. Проведённый анализ позволяет определить задачи будущего исследования, например, сформулировав вопросы:

1) Как сами жители относятся к ярким фасадам домов? Есть ли потребность в колористических планах для поселений с учётом морфотипа природы Арктики, или у жителей есть потребность именно в цветах для фасадов, нетипичных для природы?

Необходимо проверить утверждение о необходимости избегать ярких цветов, так как местные жители реагируют положительно именно на яркие фасады.

2) Необходимо провести анализ опыта других северных стран – Норвегии, Канады, Исландии, Финляндии, которые используют в своих колористических планах именно яркие цвета.

3) Присутствует ли у жителей Северного региона т.н. «цветовое голодание»? Если да, какие методики есть для его выявления?

Фасады в городах Крайнего севера окрашивались, «для борьбы с цветовым голоданием». Необходимо выявить, какие методики существуют для его выявления, и адаптировать их.

4) Эмпирическим исследованием выяснить, как проявляется идентичность и «принадлежность» к своему городу? Влияют ли колористические решения в городской среде на «идентичность» и «ощущение своего места»?

Термины «идентичность» и «принадлежность к своему городу» достаточно многозначны. В дальнейшем исследовании будут определены данные понятия, и рассмотрено, какое отражение они находят в отношении жителей.

Таким образом, данная работа позволяет наметить задачи дальнейшего эмпирического исследования, основным исследовательским вопросом которого будет - как должны выглядеть города Крайнем севере, чтобы местным жителям было комфортно в них проживать.

Литература

1. Компания Sentrum. Overordnet fargeplan Longyearbye (Колористический мастер-план для г. Лонгийр, Норвегия) пер. с норвеж. 2016.
2. Норвежский стандарт для описания цвета NCS (Natural Colour System) [Электронный ресурс] // Norwegian Colour Senters: [сайт]. URL: https://www.ncscolour.no/ (дата обращения: 28.02.2022).
3. Постановление Администрации г. Норильска Красноярского края N 47 "Об утверждении Альбома типовых колористических решений фасадов зданий (включая многоквартирные дома), строений и сооружений на территории муниципального образования город Норильск". 2017.
4. Цвет, свет и ритм за полярным кругом [Электронный ресурс] // Веб-сайт "Проектный офис развития Арктики": [сайт]. [2021]. URL: https://goarctic.ru/regions/tsvet-svet-i-ritm-za-polyarnym-krugom/ (дата обращения: 20.02.2022).
5. Ефимов А.В. Колористика города. Москва: Стройиздат. 1990. 272 р.
6. АНО «Информационно-аналитический центр Государственной комиссии по вопросам развития Арктики». Дизайн-код Арктических поселений. 2021.
7. Проекты «Норникеля» получили награды I Всероссийского конкурса «Создавая будущее» [Электронный ресурс] // Официальный сайт ПАО "ГМК "Норильский Никель": [сайт]. URL: https:// www.nornickel.ru/ news-and-media/ press-releases-and-news/proekty- nornikelya-poluchili- nagrady-i- vserossiyskogo- konkursa- sozdavaya-budushchee/ (дата обращения: 23.02.2022).
8. Тёплая АММА. Дом говорит [Электронный ресурс] // Веб-сайт "Seldon News": [сайт]. [2021]. URL: https://news.myseldon.com/ru/news/index/253272663 (дата обращения: 23.02.2022).

УДК 004.4’2

БИЗНЕС-ТЕЗИС «CTMAP»: ОСНОВАНИЯ ИЗБРАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕРВИСА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРКЕТИНГА

Е.Е. Бученков
Научный руководитель – к.в.н., доцент К.З. Билятдинов
Университет ИТМО

Аннотация
В статье рассматриваются современные архитектуры приложений, теоретическое обоснование их выбора, также параметры, на которые стоит обращать внимание при проектировании системы, и разрабатываемый в данный момент проект с его бизнес и функциональным описанием, на практическом примере которого составлена работа. Помимо этого, подробно расписана микросервисная архитектура, которая в данной момент является самой оптимальной для реализации приложений.
Ключевые слова
Архитектура приложений, микросервисы, маркетинговые задачи.

Каждый вид деятельности человека нуждается в некой структуре. Создание приложений, как и программирование в целом, нуждается в этом не меньше остальных. Огромное количество существующих приложений имеют большие проблемы с масштабированием и требуют большой команды для поддержки работоспособности. В большинстве случаев это связано с тем, что-либо изначальное проектирование проходило во времена, в которые просто не существовало хороших решений, либо, что часто встречается в новых приложениях, спроектированы неправильно и неосознанно.

Данный вопрос рассматривается на примере разрабатываемого бизнес-тезиса CTMap (Client Thinking Map, с англ. Карта Размышлений Клиента), который решает задачи маркетинга и является веб приложением. Для общего понимания приводится следующий функционал: создание интеллектуальных карт (mind maps) с возможностью совместной работы нескольких пользователей, а также с возможностью сохранения данной карты, а также создания новых. Сама карта имеет внутри себя множество визуальных элементов и связей между ними. Ключевая особенность – возможность преобразования данной карты в табличный формат для более удобной аналитики данных. Доступ к функционалу пользователь получает по принципу платных подписок того или иного уровня, который его расширяет. Подобного решения, предлагающего такой функционал, на рынке не существует. Суммируя, имеем обширный функционал, учитывая, что данное приложение в будущем должно обрастать прочим функционалом в виде маркетинговых инструментов.

Исходя из всего перечисленного встаёт вопрос, какую архитектуру приложения необходимо выбрать при условии дальнейшего масштабирования приложения, не теряя при этом в оптимизации? Также необходимо учесть, что приложение должно находиться в облаке [1], так как это позволит производить быстрые вычисления и доступность приложения в целом. На данный момент существует несколько типов архитектур [2]:

1. Многослойная архитектура: представляет собой принцип разделения ответственности, в котором приложение делится на несколько слоёв, каждый из которых выполняет определенную задачу, например, доступ к базе данных, бизнес функционал и передача данных. Эту архитектуру очень просто реализовать, однако она не позволит достичь необходимого уровня масштабируемости.

2. Многоуровневая архитектура: данная архитектура использует принцип «клиент-сервер», в котором мы разбиваем наше приложения на уровни, которые общаются друг с другом по шаблону «запрос-ответ». Это очень похоже на многослойную архитектуру, однако связь между уровнями более слабая, чем между слоями, что значительно увеличивает параметр масштабируемости, причем как горизонтально (уровни, работающие со схожим по принципу функционалом), так и вертикально (общение уровней с разной зоной ответственности). Это в целом является подходящим вариантом, однако такое приложение не удобно держать в облаке, также к каждому уровню необходимо разрабатывать собственную инфраструктуру, что нагружает код.

3. Сервис-ориентированная архитектура (SOA): содержит в себе сразу множество различных компонентов и приложений, которые общаются друг с другом с помощью промежуточных сервисов и общей шины сообщений, по которой приложения передают данные. Компоненты меньше зависят друг от друга, однако зависимость всё так же имеется, так как если один из промежуточных сервисов перестанет отвечать на запросы, то всё приложение может полностью отказать.

4. Микросервисная архитектура [3]: на данный момент является самым сложным в реализации, однако лучшим в отказоустойчивости и масштабируемости вариантом. Сервисы, из которых состоит приложение и которые решают различные бизнес-задачи, существуют полностью независимо друг от друга. Они также общаются с помощью шины или удалённого вызова процедур, при этом ядро приложения содержит всё необходимое для их работы. В данном случае если один сервис откажет, всё остальное приложение будет стабильно работать. Масштабируемость также значительно упрощается, так как имея грамотно прописанную архитектуру всё что нужно – это подключить ещё один сервис. В облаке сервисы также работают независимо и их очень просто разворачивать в том же облаке.

Выбор необходимо делать обосновано, для этого существуют подходы «куб масштабирования» [4] и CAP-теорема [5]. По первому подходу мы имеем некий куб с тремя измерениями:

– Sharding – расположение данных, которые различаются по содержанию, но работают в одной зоне ответственности;

– Mirroring – дублирование данных в пользу отказоустойчивости;

– Microservices – разбиение функционала соответствуя бизнес-задачам.

Основываясь на этом, а также на функционале приложения, выбор делается в пользу выполнения бизнес-задач, т. е. Microservices. При этом параметр Sharding не должен страдать, а параметр Mirroring можно сделать минимальным, так как можно реализовать должную независимость компонентов. В данном случае идеально подходит микросервисная архитектура с многослойной архитектурой самих сервисов. Это позволяет эффективно и независимо выполнять бизнес-задачи с должной оптимизацией.

CAP-теорема предлагает выбор комбинации двух параметров из трёх: согласованность, доступность и устойчивость к разделению. Исходя из функционала приложения, требуется как раз устойчивость к разделению и доступность, чему удовлетворяет микросервисная архитектура. Согласованность же данных будет выполняться в данном случае в своем минимальном виде, так как в целом сервисы используют свои собственные данные и базы данных, а что-то общее могут получить по коммуникационной шине.

Определившись с выбором архитектуры приложения и подкрепив данный выбор теоретически можно утверждать о минимальных затратах на дальнейшее масштабирование сервиса, а также о повышении общей его производительности. Однако, стоит учесть, что избрание архитектуры – это не просто принятие первоначальной структуры проекта. Это полное соглашение с принципами и правилами разработки, заложенных в общем определении структурированного кода приложения. В случае нарушения данных правил работа по выбору оптимальной архитектуры сводится

к нулю, что и является сложностью реализации и это необходимо учитывать в дальнейшем.

Литература

1. Les Jackson. The Complete ASP.NET Core 3 API Tutorial: Hands-On Building, Testing, and Deploying 1st edition. 2020. P.482.
2. 4 типа архитектуры программного обеспечения [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nuancesprog.ru/p/12019/ (дата обращения: 14.03.2022).
3. Sam Newman. Monolith to Microservices: Sustaining Productivity While Detangling the System. 2021. P. 327.
4. Михайлов В. Microservices. Как правильно делать и когда применять? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/company/dataart/blog/280083/ (дата обращения: 17.03.2022).
5. IBM Cloud Education. CAP Theorem [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ibm.com/cloud/learn/cap-theorem (дата обращения: 15.03.2022).

УДК 004.02

МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SPARQL ЗАПРОСОВ ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ УДАЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ

А.А. Волков
Научный руководитель – к.т.н., доцент практики Н.Н. Тесля
Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрен вопрос объединения данных из нескольких источников данных с частичным ограничением на доступ к полному набору данных. Для объединения гетерогенных данных в общий граф знаний рекомендован подход с использованием онтологии для описания семантики данных. Использование онтологии и запросов SPARQL требует полного доступа к набору данных. На примере расширения информации из открытых данных карточек дорожно-транспортных происшествий дополнительными историческими данными о погоде представлен метод, который позволяет использовать SPARQL запросы для источников данных с частичным доступом к набору данных. Этот метод позволит составлять SPARQL запросы к внешним веб сервисам, которые имеют ограничение на количество запросов в сутки и формат выходных данных.
Ключевые слова
Открытые данные, микросервисная архитектура, гетерогенные данные, умный город, онтология.

Введение

Результаты анализа данных напрямую связаны с качеством их источников. В данных могут встречаться пропуски или некорректные значения. При агрегации данных чаще всего ставится одна задача, в контексте которой эти данные и будут в дальнейшем использованы. С учетом этого осуществляется оптимизация хранения и доступа к информации, с целью повысить быстродействие и уменьшить стоимость решения. Такая фокусировка является проблемой при решении междисциплинарных, комплексных, задач, так как в процессе работы требуются объединять несколько источников данных, которые могут быть представлены в разных форматах. Для решения данной проблемы существуют разные решения по объединению данных: Data Lake, Data Warehouse, Data Fabric. Эти решения подходят в случае, если все используемые источники данных локальные и в их схему могут вноситься изменения. Для комплексного решения, когда часть источников данных являются локальными, а часть – удаленными, такие способы объединения не применимы.

Бесшовное объединение данных с помощью SPARSQL запросов

При работе с гетерогенными данными в первую очередь необходимо описать их семантику, понять какие концепты описывают одинаковую сущность, какие данные имеют разный тип, но при этом можно описать однозначное соответствие между значениями. Для этого семантику данных описывают, используя онтологию. Тогда для обращения к таким данным можно использовать язык запросов SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language), который в виде результата вернет таблицу решений (solution table). Используя онтологию для каждого источника данных и «единое окно» запроса SPARQL возможно бесшовно в декларативном виде описывать требуемый набор данных, не описывая, где находится сам источник.

Рассмотрим актуальность объединения нескольких источников данных на примере задачи расширение информации, представленной в карточках дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП), дополнительными данными о погоде. В карточках ДТП нет подробной информации о погодных условиях, только краткое словесное описание освещенности и осадков. В основном это ограниченный набор возможных значений, определяемый формой бумажного протокола ДТП. В некоторых случаях информация о погоде является противоречивой, например, указания сильного тумана и полной видимости одновременно. В случае использования сторонних источников данных о погоде, которые имеют ограничение на количество запросов в сутки, это позволит определить качество данных и определить способы его повышения.

Перед использованием любого источника открытых данных необходимо определить, насколько представленная информация достоверна. В случае низкого качества объединение нескольких источников позволит провести кросс-валидацию данных. Рассмотрим вопрос качества данных на примере карточек ДТП в Санкт-Петербурге, где результат фильтрации по значению поля «Название поселения», содержит геоточки располагающиеся на значительно большом расстоянии за областью. Это может быть связано как с тем, что в некоторых карточках координаты перепутаны местами, так и в ошибочном порядке цифр. Такую проблему можно выявить, если разместить все карточки ДТП на карте по их координатам. Данное распределение изображено на рис. 1.

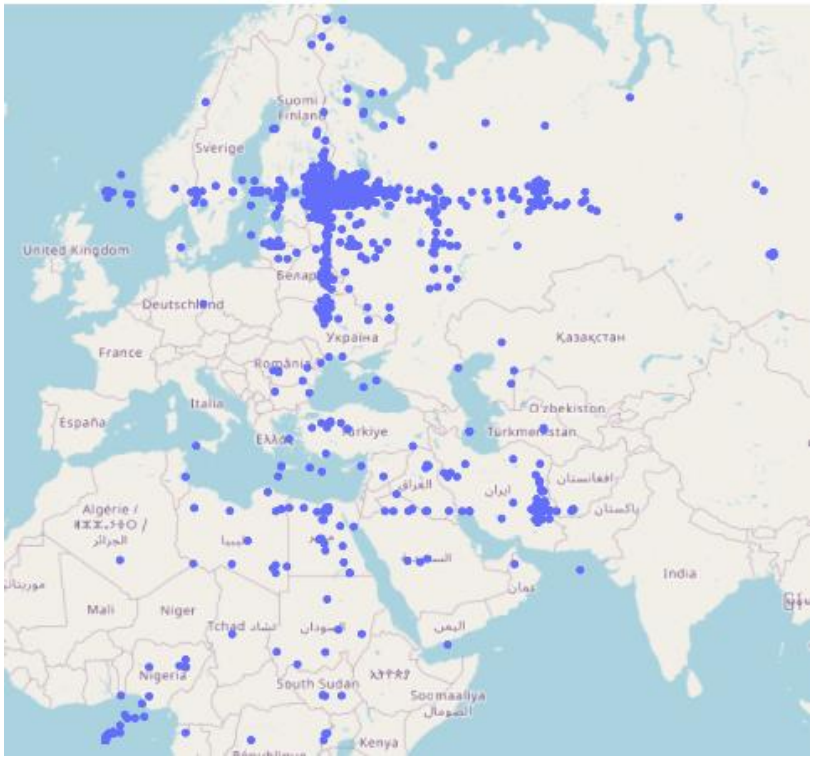


Рис. 1. Расположение геоточек карточек ДТП,
относящиеся территориально к г. Санкт-Петербург

В некоторых карточках долгота и широта координат представляют собой круглые числа. Из-за этого эти геоточки не привязаны к каким-либо дорогам, а располагаются на водных объектах. Все это уменьшает набор данных, пригодный для анализа, при этом в отфильтрованном наборе данных все равно могут присутствовать неточности, влияющие на результаты анализа. В случае построения пространственной кластеризации по адресам ДТП полученные кластеры могут значительно отличаться [3]. Пример построенной пространственной кластеризации карточек ДТП представлен на рис. 2.

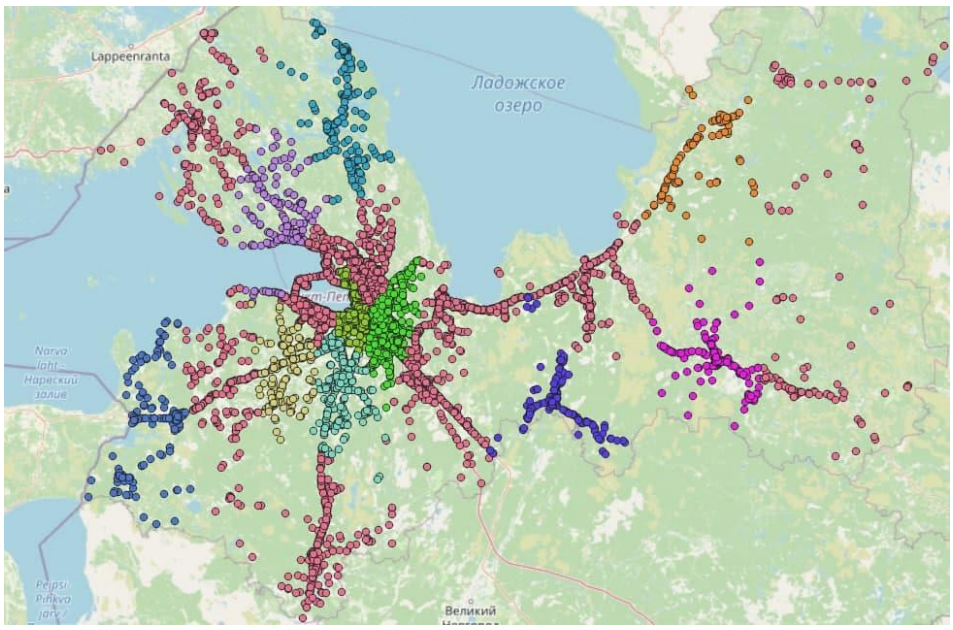


Рис. 2. Пространственная кластеризация карточек ДТП

Рассмотрим работу с источниками данных с помощью SPARQL запросов. В запросе указываются условия на требуемый набор данных. Каждое условие записывается на новой строке в формате «субъект-предикат-объект». По предикату чаще всего можно определить из какого источника данных запрашивается информация. Пример SPARQL запроса к карточкам ДТП представлен на рис. 3.

```
BASE <http://example.edu/smart-city/>

SELECT ?id ?accident_coordinates ?weather

WHERE {
  ?_cid <stat_gibdd_accident_cards#id> ?id .
  ?_awid <stat_gibdd_accident_weather#accident_id> ?id .

  ?_awid <stat_gibdd_accident_weather#weather_id> ?wid .
  ?_wid <stat_gibdd_weathers#id> ?wid .

  ?_cid <stat_gibdd_accident_cards#accident_coordinates> ?accident_coordinates .
  ?_wid <stat_gibdd_weathers#weather> ?weather.
}
```

Рис. 3. SPARQL запрос к карточкам ДТП

В запросе на рис. 3 используется только источник данных карточек ДТП. Это можно определить по началу названия предиката «stat_gibdd» в каждой строчке запроса. Продуманное именование предикатов позволяет упростить процесс написания и чтения запросов SPARQL.

Федеративный запрос SPARSQL

Интеграция гетерогенных источников данных с помощью онтологии позволяет использовать уже существующие источники без их преобразования [1]. Для отправки SPARQL запросов к нескольким источникам данных существует стандарт федеративных SPARQL запросов [2]. Схема работы федеративного SPARQL запроса представлен на рис. 4.

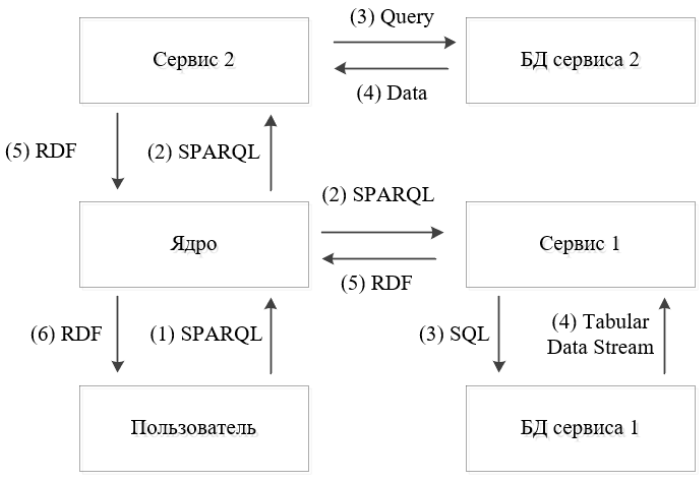


Рис. 4. Схема работы федеративного SPARQL запроса

Федеративный SPARQL запрос подразумевает, что один и тот же запрос будет отправлен независимо в каждый источник. Для источников данных погоды это малоприменимо, так как для получения исторических данных о погоде требуется в запросе указать геоточку и дату, что в случае объединения данных из двух источников требует сначала получения таблицы решений с первого источника. Погодные веб сервисы при этом имеют ограничения на количество возвращаемых результатов и формат запроса. Поэтому предлагается отправлять SPARQL запрос последовательно, сначала к источнику, который не имеет ограничений, далее уже к источнику данных с ограничениями. Рассмотрим схему метода, которая представлена на рис. 5. Каждый из пунктов соответствует шагу алгоритма.

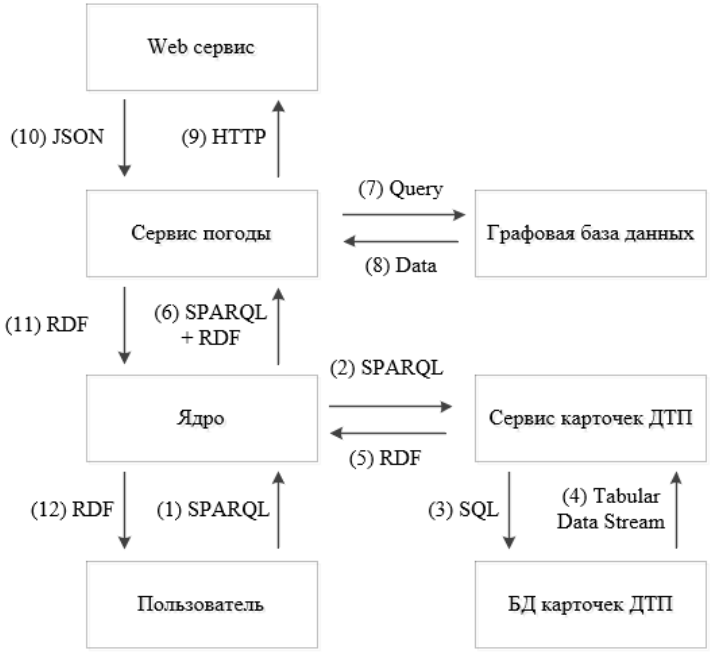


Рис. 5. Схема метода доступа к удаленному источнику данных

1. Пользователь платформы формирует SPARQL запрос, в котором декларативно описывается необходимый набор данных.
2. Ядро отправляет запрос в сервис карточек ДТП, который представляет собой SPARQL endpoint.

3. Сервис карточек формирует SQL запрос в реляционную базу данных карточек используя R2RML маппинг.
4. База данных возвращает табличный поток данных (Tabular Data Stream) в сервис.
5. Сервис карточек ДТП отправляет результирующий набор данных в формате RDF в ядро.
6. Ядро отправляет исходный запрос SPARQL и данные полученные на прошлом шаге в сервис погоды.
7. Сервис погоды пробует расширить полученные данные посылая запрос в кеширующую графовую базу данных.
8. Графовая база данных возвращает имеющийся набор данных.
9. В случае отсутствия или неполном наборе необходимых данных сервис погоды запрашивает данные в веб сервисе в формате HTTP запроса.
10. Веб сервис отправляет исторические данные о погоде сервису погоды в JSON формате.
11. Сервис погоды формирует и отправляет расширенные данные в формате RDF в ядро.
12. Ядро возвращает пользователю данные в RDF.

Разработка собственной онтологии имеет смысл только в случае внедрения в уже работающую систему. В большинстве случаев предпочтительнее описывать данные по существующей онтологии. Например, уже разработана онтология для описания ДТП, которая позволяет упростить процесс объединения данных [4]. Полученные данные уже можно проанализировать и выявить наиболее приоритетные участки для изменения транспортного потока.

Для данных о погоде разработаны несколько стандартов онтологии, которые полностью описывают предметную область [5]. Поэтому предлагается данные из удаленного источника форматировать в RDF, используя файл маппинга. Пример SPARQL запроса к нескольким источникам данных представлен на рис. 6.

```
SELECT
  # Локальный источник данных
  ?id ?accident_coordinates ?weather

  # Внешний источник данных
  ?remote_weather

WHERE {
  ?_cid <stat_gibdd_accident_cards#id> ?id .
  ?_awid <stat_gibdd_accident_weather#accident_id> ?id .

  ?_awid <stat_gibdd_accident_weather#weather_id> ?wid .
  ?_wid <stat_gibdd_weathers#id> ?wid .

  ?_cid <stat_gibdd_accident_cards#accident_coordinates> ?accident_coordinates .
  ?_wid <stat_gibdd_weathers#weather> ?weather .

  # Подключение внешнего источника.
  # Расширение данных по координатам ДТП.
  ################################################
  ?_rwid <remote_weather_datasource#coordinates> ?accident_coordinates .
  ?_rwid <remote_weather_datasource#remote_weather> ?remote_weather .
  ################################################
}
```

Рис. 6. SPARQL запрос с добавлением удаленного источника данных

В исходный запрос к карточкам ДТП добавляются две новые строчки в конце запроса, в остальном запрос идентичен представленному на рис. 3. Данные карточек ДТП и погоды объединяются по координатам, но можно указывать и другое объединение, например, по дате.

Сравнение видов федеративного запроса SPARSQL

Основные отличия использования параллельного и последовательного федеративных SPARQL запросов представлены в сравнительной таблице.

Таблица

Сравнение подходов к получению графов знаний

Характеристика	Параллельный федеративный SPARQL	Последовательный федеративный SPARQL
Работа пользователя с данными	Доступ к данным осуществляется через точку доступа SPARQL	Доступ к данным осуществляется через точку доступа SPARQL
Требования к источникам данных	Доступ ко всему набору данных	Доступ только к явно указанному ограниченному набору данных
Алгоритм работы запроса	Запросы во все источники могут быть выполнены параллельно	Сначала запрос к полному набору данных, затем к удаленному источнику
Принцип агрегации данных	Объединение данных	Расширение данных

Заключение и планы на будущее

В качестве заключения можно сказать, что объединение нескольких источников данных позволяет повысить качество выходных данных и расширяет возможный перечень задач анализа. В случае, когда это объединение происходит незаметно для пользователя это повышает удобство использования источников данных.

Для дальнейшей работы выбран метод последовательного федеративного SPARQL, так как у него нет ограничения на доступ ко всему набору данных. В дальнейшем предполагается, что данные погоды будут являться самостоятельным источником данных, в который можно как отправить запрос для расширения данных, так и получить только данные о погоде.

Литература

1. Muhammad Asfand-e yar and Ramis Ali. Semantic integration of heterogeneous databases of same domain using ontology // IEEE Access. 2020. P. 1–10.
2. SPARQL 1.1 Federated Query // The World Wide Web Consortium (W3C) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.w3.org/TR/sparql11-federated-query/. (дата обращения: 22.04.2022).
3. Yeran Sun, Yu Wang, Ke Yuan, Ting On Chan, and Ying Huang. Discovering spatio-temporal clusters of road collisions using the method of fast Bayesian model-based cluster detection // Sustainability. 2020. P. 2-8.
4. Barrachina J., Piedad Garrido, Fogue M., Martinez F., Cano Juan-Carlos, Calafate C. and Manzoni P. Veacon: a vehicular accident ontology designed to improve safety on the roads // Journal of Network and Computer Applications. 2012. P. 35-40.
5. Atemezing G., Corcho O., Garijo D., Mora J., Poveda-Villalon M., Rozas-Larraondo P., Vila-Suero D., and Villazon B. Terrazas. Transforming meteorological data into linked data // Semantic Web journal, Special Issue on Linked Dataset descriptions. 2012. P. 969-980.

УДК 004.934.2

РАСПОЗНАВАНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТИ СОБЕСЕДНИКОВ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА МЕЛ-СПЕКТРОГРАММ

А.А. Двойникова
Научный руководитель – д.т.н., доцент А.А. Карпов
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук;
Университет ИТМО
e-mail: dvoynikova.a@iias.spb.su

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента РФ (грант № НШ-17.2022.1.6).

Аннотация
В работе разрабатывается система для автоматического распознавания вовлеченности собеседников по речи дикторов. В качестве аудиальных признаков используются мел-спектрограммы, которые потом подаются на вход сверточной нейронной сети. Для экспериментальных исследований извлекались как узкополосные мел-спектрограммы, так и широкополосные, отличающие шириной полос (разрешающей способностью). Обучение и тестирование системы проходило на данных корпуса RECOLA, который включал в себя коммуникационные взаимодействия между собеседниками. Как показывают эксперименты наиболее эффективным подходом является извлечение узкополосных мел-спектрограмм после преобразования Фурье с оконной функцией Ханна, при таком подходе достигается точность F-мера = 82,21% для распознавания трех уровней вовлеченности: низкий, средний и высокий.

Ключевые слова
Вовлеченность, анализ речи, широкополосная мел-спектрограмма, узкополосная мел-спектрограмма, мел-спектральный анализ, оконное преобразование Фурье, сверточная нейронная сеть.

Введение

В настоящее время довольно часто люди коммуницируют между собой с помощью программного обеспечения в режиме онлайн. За счет того, что приложения виртуальной коммуникации зачастую ограничивают видимость собеседника, а также передача аудиовизуальной информации может идти с задержкой из-за низкого качества интернет-соединения, в таких условиях понимание невербальных сигналов собеседника становится затруднительным процессом. Невербальные сигналы содержат в себе информацию о социальном и психологическом настроении пользователя. Психологическое настроение выражается в проявлении эмоций, сентимента, социальное – в открытости, дружелюбии к собеседнику и заинтересованности, вовлеченности в разговор. Решению проблемы понимания невербальных сигналов собеседника может поспособствовать автоматическая система анализа психологического и социального настроения. Такая задача является большой, трудозатратной и требует наличие корпусов данных, содержащих все аспекты проявлений невербальных сигналов человека. Поэтому в данной работе рассматривается только подход к решению задачи автоматического распознавания вовлеченности.

Собеседники при виртуальной коммуникации анализируют аудиовизуальные данные своего оппонента. Однако бывают ситуации, когда передача видеоинформации невозможна. В таком случае акустические данные являются релевантной информацией проявления вовлеченности собеседника. Автоматическое распознавание вовлеченности

по акустической информации является малоизученной областью, и поэтому она является актуальной. Одним из основных подходов к цифровому представлению акустических данных является их визуальное отображение. Визуальное отображение аудиосигнала с помощью различных частотно-временных представлений, таких как спектрограммы, обеспечивает представление временной и спектральной структуры исходного сигнала. Основываясь на этой информации, в данной работе разрабатывается автоматическая система распознавания вовлеченности собеседника при помощи анализа речи посредством мел-спектрограмм и сверточной нейронной сети.

Предыдущие исследования

Многие исследователи в качестве признаков используют спектрограммы в различных задачах анализа аудиоинформации [1-4]. Однако, исследование влияния различной разрешающей способности спектрограмм (узкополосная и широкополосная) на эффективность автоматической классификации аудиозаписей является актуальным. Так, в работе [1] экспериментальным путем доказывается, что применение широкополосных спектрограмм для детекции звуков окружающей среды является наиболее эффективным решением. Напротив, для решения аналогичной задачи авторы работы [2] используют анализ узкополосных спектрограмм. Аналогично, результаты исследований в работе [3] показывают, что использование узкополосных спектрограмм в качестве признаков для решения задачи распознавания нормального и патологического голоса является наиболее эффективным подходом. В работе [4] для распознавания китайской речи авторы объединяют признаки узкополосных и широкополосных спектрограмм. Как видно из обзора предыдущих работ для каждой области задач и для разных данных необходимо индивидуально подбирать тип спектрограммы для эффективных результатов классификации аудиоинформации. На момент написания статьи не было найдено работ в области анализа вовлеченности с экспериментальными исследованиями типа спектрограмм. Таким образом, описанное в этой статье исследование является актуальным в области автоматического распознавания вовлеченности по аудиоинформации.

Корпус данных

В экспериментальных исследованиях был использован многомодальный корпус RECOLA [5]. Он содержит в себе аудиовизуальные данные, а также биологические сигналы собеседников. Участники экспериментов общались в парах на французском языке с помощью программного обеспечения Skype и обсуждали решение задачи на выживание. Перед экспериментами авторы корпуса заранее настраивали каждого участника на положительное, нейтральное или негативное настроение. Участники исследования сначала выполняли эту задачу индивидуально в течение 10 минут, а затем обсуждали ее решение со своим товарищем по команде, пока не пришли к консенсусу; средняя продолжительность составляла около 15 минут. Авторы корпуса размечали только первые 5 минут каждого диалога. Разметка осуществлялась непрерывно по валентности и интенсивности эмоций, а также такие классы, как вовлеченность, согласие, доминирование, активность и взаимопонимание были размечены по 7 бальной шкале. Каждую видеозапись размечали по 6 аннотаторов. Всего в эксперименте приняли участие 46 студентов-психологов, из них 27 женщин и 19 мужчин, средний возраст 22 года. Не все участники дали согласие на обработку своих персональных данных, поэтому в открытом доступе можно найти только видеозаписи 23 участников.

Предлагаемый подход

В корпусе RECOLA собеседники общаются между собой в парах, поэтому в аудиозаписях может на заднем плане присутствовать речь второго диктора. Также стоит обратить внимание на то, что аннотаторы сопоставляли только одну метку

вовлеченности на всю аудиозапись. Во время разговора диктор не всегда говорил, он также делал паузы между фразами, слушал другого диктора. В том случае, если диктор не проявляет речевой активности, значит вовлеченность в разговор становится низкой. Исходя из этого, все аудиозаписи проходили этап ручной предобработки, который заключался в выделение речевых сегментов основного диктора в каждой аудиозаписи, что приводит к разделению всех данных на небольшие отрезки. Несмотря на то, что аннотаторы присваивали одну метку вовлеченности всему аудио, участки аудиозаписи, которые не содержали речевой активности, размечались как низкий уровень вовлеченности. Как упоминалось в разделе выше, аннотаторы размечали вовлеченность по 7 бальной шкале. Однако, в корпусе нет данных, которые бы имели разметку 0–2 уровня вовлеченности. В данном исследовании предлагается распознавать 3 уровня вовлеченности: низкий, средний и высокий. Для этого данные, которые имеют разметку 3–5 уровня вовлеченности, сгруппировывались в средний класс, 6 уровень – в высокий и неречевые участки аудио относились к низкому классу вовлеченности. На рис. 1 показано распределение количества аудиофрагментов в каждом классе.

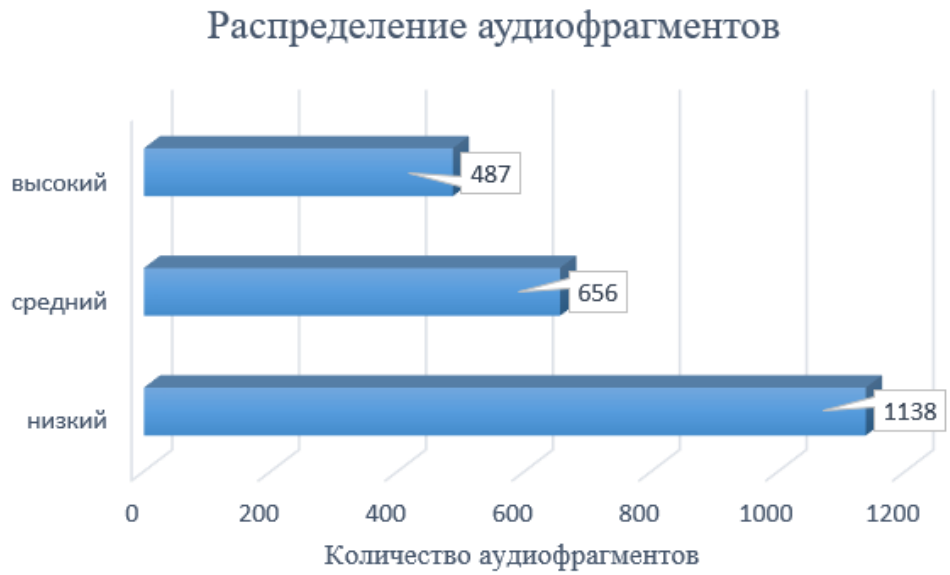


Рис. 1. Распределение аудиофрагментов в каждом классе вовлеченности

Затем, каждый аудиофрагмент разделялся на участки длиной 1 сек и из каждого участка извлекалась мел-спектрограмма. Затем все мел-спектрограммы подавались на вход сверточной нейронной сети (англ. Convolution Neural Network, CNN), архитектура которой показана на рис. 2.

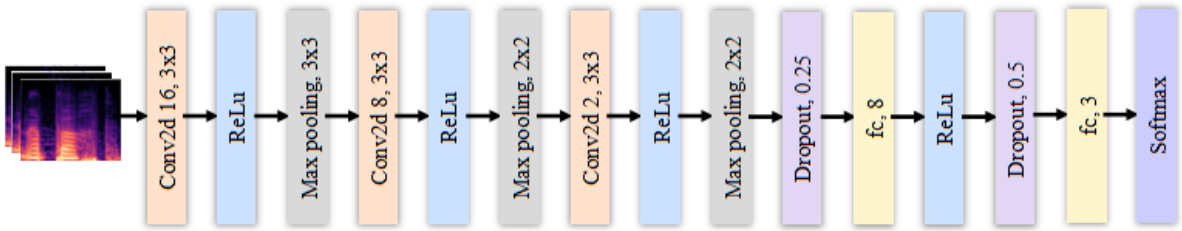


Рис. 2. Архитектура сверточной нейронной сети

При обучении нейронной сети использовались следующие параметры: размер пакета (batch) – 16, количество эпох – 10, оптимизатор – adam, функция потерь – категориальная кросс-энтропия.

Экспериментальные исследования

В ходе экспериментов исследовалось влияние вида мел-спектрограмм (узкополосной и широкополосной) на эффективность системы распознавания вовлеченности по речи диктора. Широкополосная мел-спектрограмма хорошо отражает информацию о положение речевых формант, но плохо отображает гармоническую структуру речи. Узкополосная мел-спектрограмма, наоборот, представляет информацию о текстурных характеристиках звука. Для получения узкополосной мел-спектрограммы преобразование Фурье производилось со следующими параметрами: ширина спектральной полосы 10 Гц, и длина кадра исходного аудио 2 мс, а для широкополосной мел-спектрограммы – ширина спектральной полосы 100 Гц, и длина кадра исходного аудио 20 мс. На рис. 3 показаны примеры узкополосной и широкополосной мел-спектрограммы.

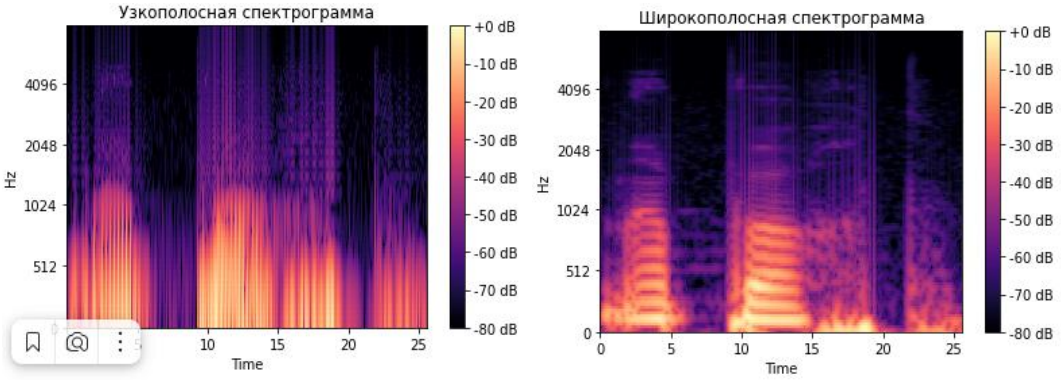


Рис. 3. Примеры узкополосной и широкополосной мел-спектрограмм

Экспериментальные исследования проводились также с различными функциями окон для преобразования Фурье, а именно оконными функциями Ханна и Хэмминга, формулы (1) и (2), соответственно.

$$w(n) = 0{,}5 * (1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)), \quad (1)$$

$$w(n) = 0{,}53836 - 0{,}46164 * \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad (2)$$

где w(n) – оконная функция, N – ширина окна.

Результаты экспериментальных исследований автоматического распознавания 3 классов вовлеченности: низкий, средний, высокий, с помощью анализа различных видов мел-спектрограмм показаны в таблице.

Таблица

Результаты экспериментальных исследований

Оконная функция / ширина полосы	Узкополосная мел-спектрограмма			Широкополосная мел-спектрограмма		
	Precision, %	Recall, %	F-мера, %	Precision, %	Recall, %	F-мера, %
Окно Ханна	91,69	78,47	82,21	89,46	68,75	75,20
Окно Хэмминга	91,13	73,61	78,44	90,44	65,97	72,27

Как видно из таблицы анализ узкополосных мел-спектрограмм является наиболее эффективным подходом в задаче распознавания вовлеченности собеседника по его

акустическим данным. Также можно заметить, что выполнение преобразования Фурье с оконной функцией Ханна позволяет достичь более высокой точности при анализе речевых сигналов. Наибольший результат точности, выраженной метрикой F-мера = 82,21% удалось достичь при извлечении из аудиосигналов узкополосных мел-спектрограмм после преобразования Фурье с оконной функцией Ханна.

Заключение

В данной работе разрабатывается автоматическая система распознавания степени вовлеченности собеседника при помощи мел-спектрограмм и сверточной нейронной сети. В работе проводятся исследования зависимости точности распознавания вовлеченности от вида мел-спектрограмм (узкополосной и широкополосной), извлекаемых из речи собеседника. Как показывают эксперименты наиболее эффективным подходом является извлечение узкополосных мел-спектрограмм после преобразования Фурье с оконной функцией Ханна, при таком подходе достигается точность F-мера = 82,21% для распознавания 3 уровней вовлеченности: низкий, средний и высокий.

Литература

1. Huzaifah M. Comparison of time-frequency representations for environmental sound classification using convolutional neural networks // arXiv preprint arXiv:1706.07156. 2017.
2. Lexfors L., Johansson M. Audio representation for environmental sound classification using convolutional neural networks // Master's Theses in Mathematical Sciences. 2018. 76 с.
3. Changwei Z. et al. Classification of normal and pathological voices using convolutional neural network // 2020 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the era of Artificial Intelligence (ICSMD). IEEE. 2020. С. 325-329.
4. Wei Y. et al. Recognition of two words Chinese lexical for non-specific people using feature fusion of broadband and narrowband spectrogram // 2016 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC). IEEE. 2016. С. 1238-1243.
5. Ringeval F. et al. Introducing the RECOLA multimodal corpus of remote collaborative and affective interactions // 2013 10th IEEE international conference and workshops on automatic face and gesture recognition (FG). IEEE. 2013. С. 1-8.

УДК 004.41

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ УЧЁТА ПОСЫЛОК И ДОКУМЕНТОВ

В.М. Залкин
Научный руководитель – С.А. Пантенков
Университет ИТМО
e-mail: zalkin.viktor@mail.ru

Аннотация
В работе рассмотрено проектирование и разработка модуля автоматической проверки документов, связанных с выпуском сертификата электронной подписи, для системы учёта посылок и документов. Модуль состоит из различных по функциональности компонентов, выполняющих сбор данных о документах и их проверку, и спроектирован с использованием микросервисной архитектуры. Взаимодействие компонентов осуществляется посредством корпоративной очереди сообщений.
Ключевые слова
Проектирование программного обеспечения, разработка программного обеспечения, автоматическая проверка документов, микросервисная архитектура, очередь сообщений, веб-приложение.

Введение

При выпуске сертификата электронной подписи (ЭП) необходимо оформление и сбор различных документов: заявлений, расписок, доверенностей, личных документов клиента и других. Их подготовкой занимаются сотрудники сервисных центров (СЦ), куда клиент приходит для подачи заявления и удостоверения личности. Далее в СЦ формируют посылки с документами и отправляют их в удостоверяющий центр (УЦ), где посылки принимают, разбирают и передают в отдел обработки документов (ООД). В ООД операторами проверяются и сверяются друг с другом оригиналы документов из посылок и их сканы, загруженные ранее во внешнюю систему. В случае обнаружения ошибок сотрудники ООД информируют об этом отправивший документы СЦ, который связывается с клиентом для исправления и повторной отправки документов. Если с документами на этапе проверки всё в порядке, то они попадают в архив для хранения и возможного предоставления контролирующим органам, а клиенту выпускается сертификат ЭП.

В настоящий момент весь описанный выше процесс происходит с использованием трёх независимых информационных систем, каждая из которых отвечает за свой этап обработки, что делает отслеживание жизненного цикла документов очень трудоёмким и не всегда возможным, а возможность контроля необходима, так как в процессе обработки документов участвуют разные организации и их отделы, и на каждом этапе могут возникать ошибки и задержки. К тому же этап проверки документов в ООД происходит в ручном режиме, что замедляет обработку документов и следовательно выпуск сертификата, а также увеличивается вероятность ошибок операторов.

Для обеспечения прозрачности отслеживания жизненного цикла документов была разработана отдельная система, призванная объединить в себе некоторые функции использующихся в данный момент систем и тем самым покрыть весь процесс обработки документов по выпуску сертификата ЭП от их сбора в СЦ до хранения в архиве. Тем самым решается проблема использования трёх независимых систем.

Для автоматизации процесса проверки документов для решения проблем, связанных с ручной обработкой документов, был разработан модуль описываемый в данной работе. Его основным предназначением является автоматическая проверка документов, которая состоит из двух подпроцессов:

1. Создание документа по событию из внешней системы при оформлении его в СЦ и получение его скана (рис. 1).
2. Распознавание документа при получении его в ООД и сопоставление с ранее полученным сканом (рис. 2).

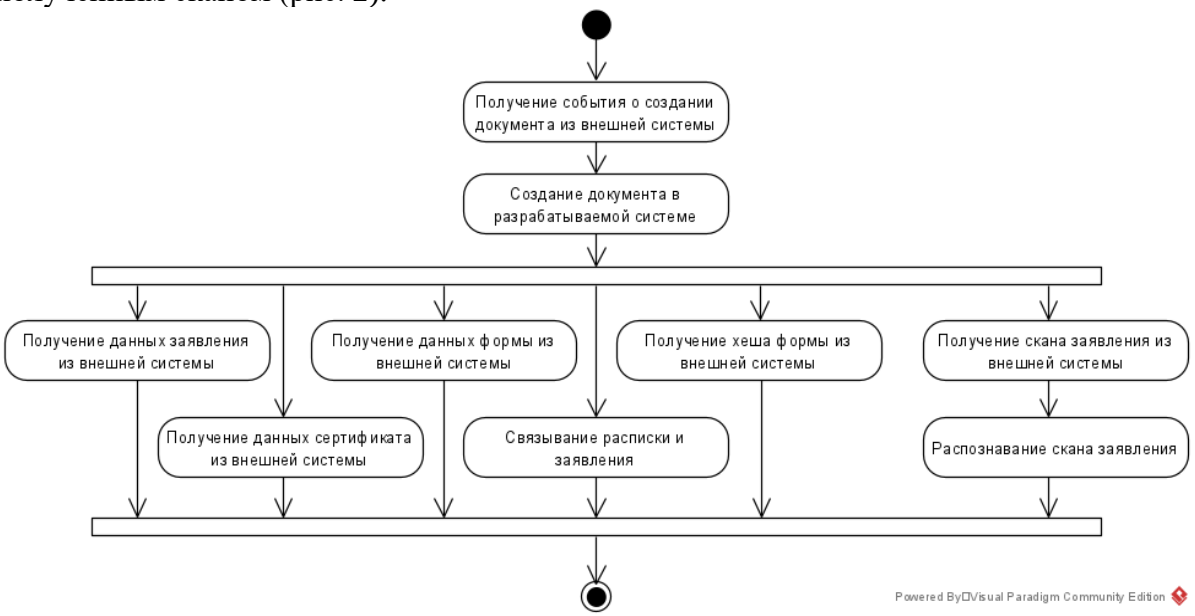


Рис. 1. Диаграмма активностей создания и наполнения данными документа для проверки

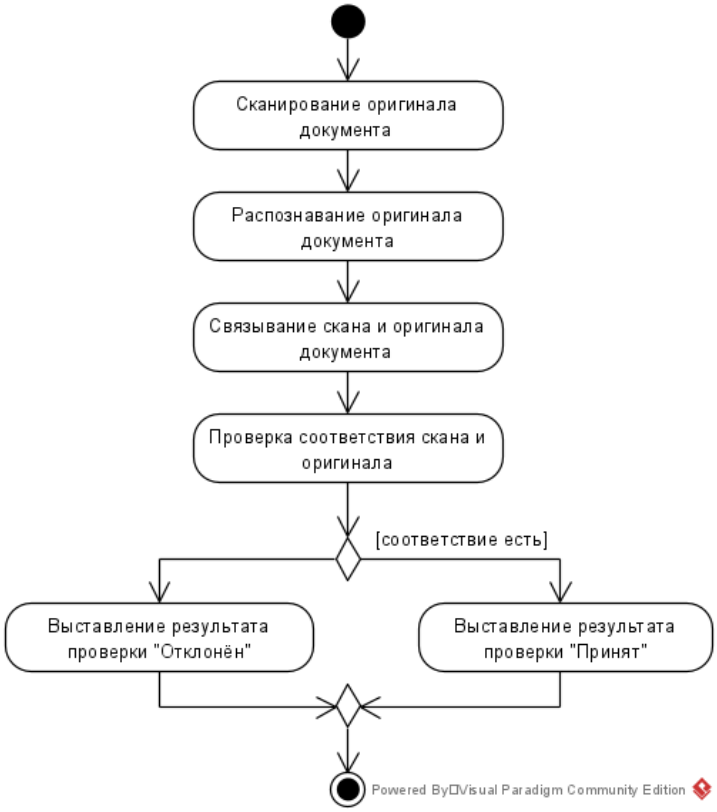


Рис. 2. Диаграмма активностей заключительного этапа проверки документа

Проверка соответствия скана и оригинала документа осуществляется отдельными компонентами, входящими в состав разработанного модуля. Их работа заключается в распознавании QR-кодов на скане, загруженном во внешнюю систему, и оригинале этого документа, пришедшим в ООД, извлечении из них созданных по данным документа хешей, и их сравнении друг с другом. Если хеши скана и оригинала совпадают, то документ считается корректным и принимается, в ином случае документ отклоняется. Генерация хешей, как и создание документов, выполняется внешней системой.

Сканирование оригиналов документов происходит в ООД с помощью поточного сканера, который после сканирования помещает сканы в общую директорию, откуда они извлекаются для последующего распознавания и проверки.

Архитектурные решения

По диаграммам выше видно, что модуль должен выполнять несколько типов задач, каждый из которых имеет различные зависимости на внешние системы и библиотеки, а также разные необходимые для работы вычислительные ресурсы, причём нагрузка на отдельные компоненты может меняться независимо от нагрузки на компоненты с другим типом задач, поэтому при проектировании было необходимо учесть возможность их горизонтального масштабирования. Учитывая эти особенности, в качестве архитектуры модуля была выбрана микросервисная архитектура, которую всё чаще выбирают в индустрии при аналогичных требованиях [1], особенно за счёт её масштабируемости, гибкости и расширяемости [2].

Для взаимодействия компонентов друг с другом была выбрана корпоративная очередь сообщений, которая предоставляется в виде готового сервиса без необходимости её конфигурации и поддержки, что стало одной из основных причин выбора такого способа коммуникации, в дополнение к стандартным преимуществам очередей сообщений: гарантия доставки сообщения, возможность масштабирования, самостоятельное определение потребителями своей загрузки, асинхронность взаимодействия [3].

Типы компонентов по способу взаимодействия с очередью сообщений

В процессе разделения задач между компонентами и их проектированим было получено 4 типа компонентов по способу взаимодействия с очередью сообщений. В списке ниже представлены полученные типы на примере конкретных компонентов:

1. Не взаимодействует с очередью сообщений (рис. 3).

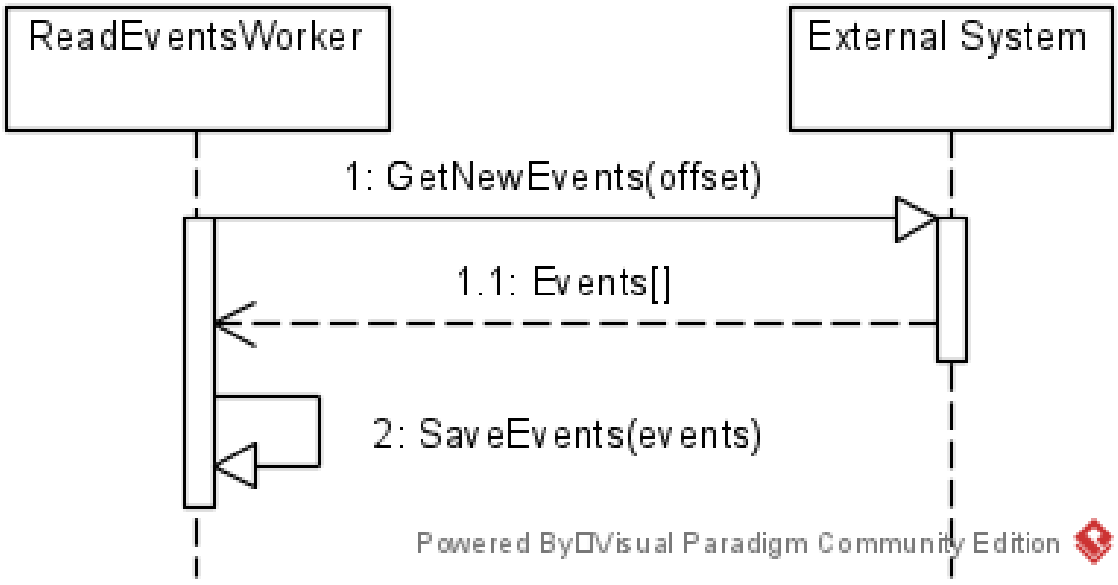


Рис. 3. Диаграмма последовательности компонента чтения ленты события

2. Только отправляет задания в очередь сообщений (рис. 4).

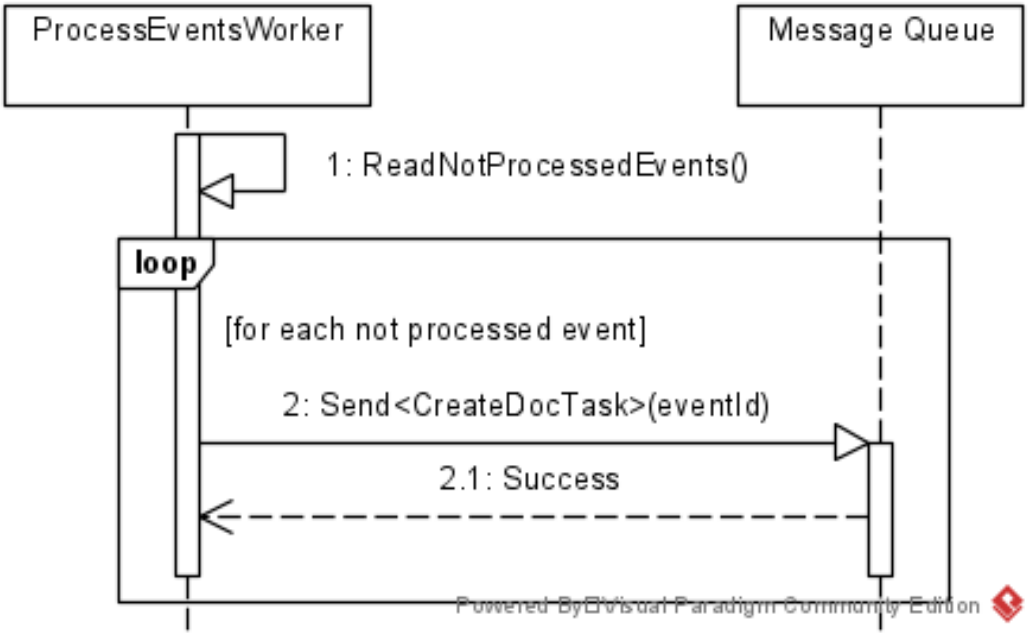


Рис. 4. Диаграмма последовательности компонента обработки событий

3. Только получает задания из очереди сообщений (рис. 5).

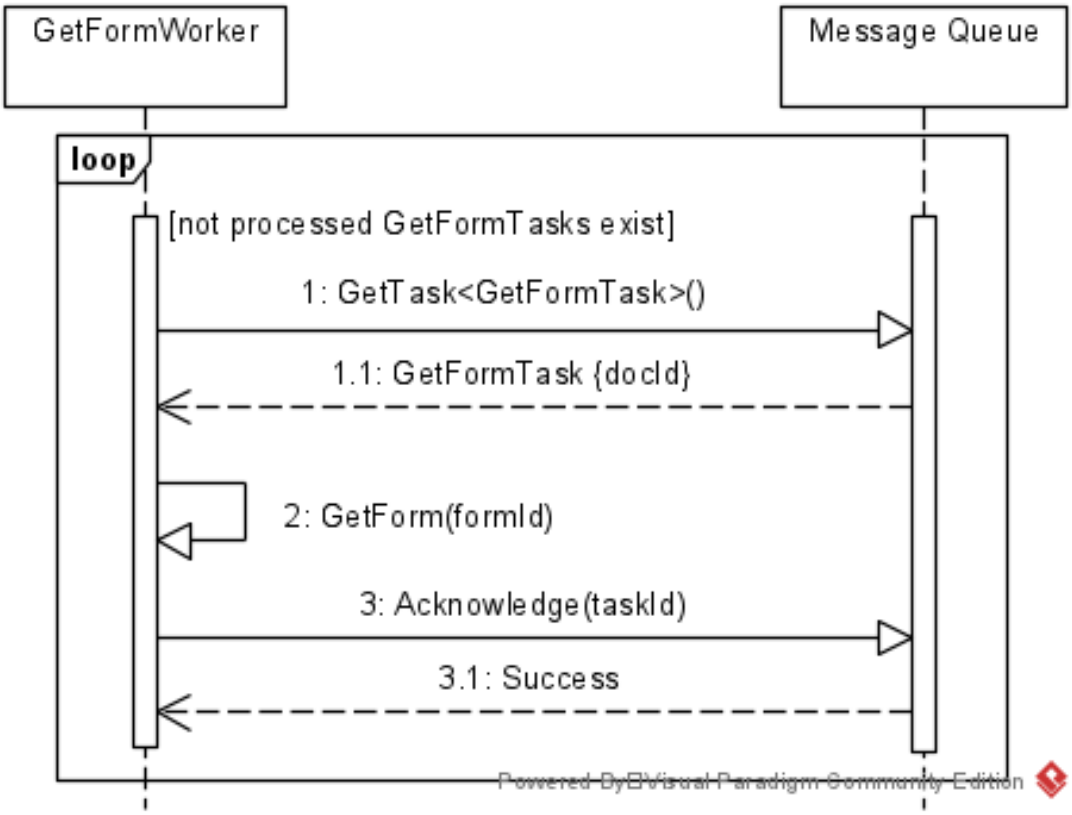


Рис. 5. Диаграмма последовательности компонента получения данных формы

4. Получает задания из очереди сообщений и отправляет их в неё (рис. 6).

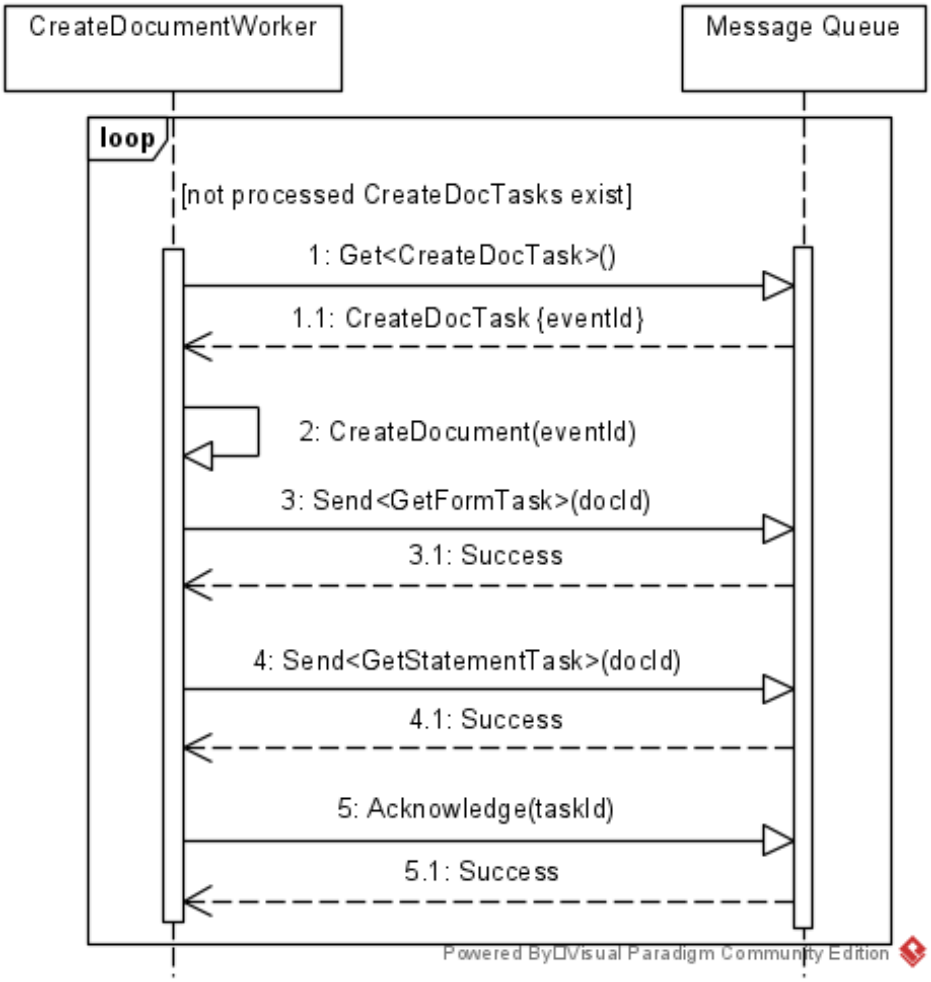


Рис. 6. Диаграмма последовательности компонента создания документов

Разработка модуля

Для разработки модуля использовались инструменты и технологии, используемые в других частях системы: язык программирования C#, фреймворк .NET Core, технология ASP.NET Core, база данных MongoDB [4].

Все спроектированные компоненты являются фоновыми процессами, поэтому называются «воркерами». Для обеспечения их работы в фоне они наследуются от двух классов: встроенного в фреймворк класса BackgroundService, если не получают задания из очереди и от класса MessageQueueWorker, если получают. Отправка заданий в очередь осуществляется посредством класса MessageQueueClientWrapper, который является наследником класса MessageQueueClient. Исходные классы для работы с очередью сообщений предоставляются командой разработки этой очереди в виде отдельной библиотеки.

Взаимодействие с базой данных выполняется через обобщённый интерфейс IMongoRepository, в реализации которого используется MongoDB C# Driver.

Обращения к базе данных, запросы к внешней систем и отправка заданий в очередь сообщений осуществлялась методами асинхронного программирования для увеличения производительности модуля за счёт улучшения утилизации процессорного времени [5].

На рис. 7 представлена диаграмма классов, на которой изображены представители всех типов компонентов модуля, показанные на рисунках выше, и зависимости каждого из них: для работы с очередью, базой данных и внешней системой. Не попавшие на диаграмму компоненты относятся к одному из этих типов и имеют аналогичные зависимости, но другие реализации.

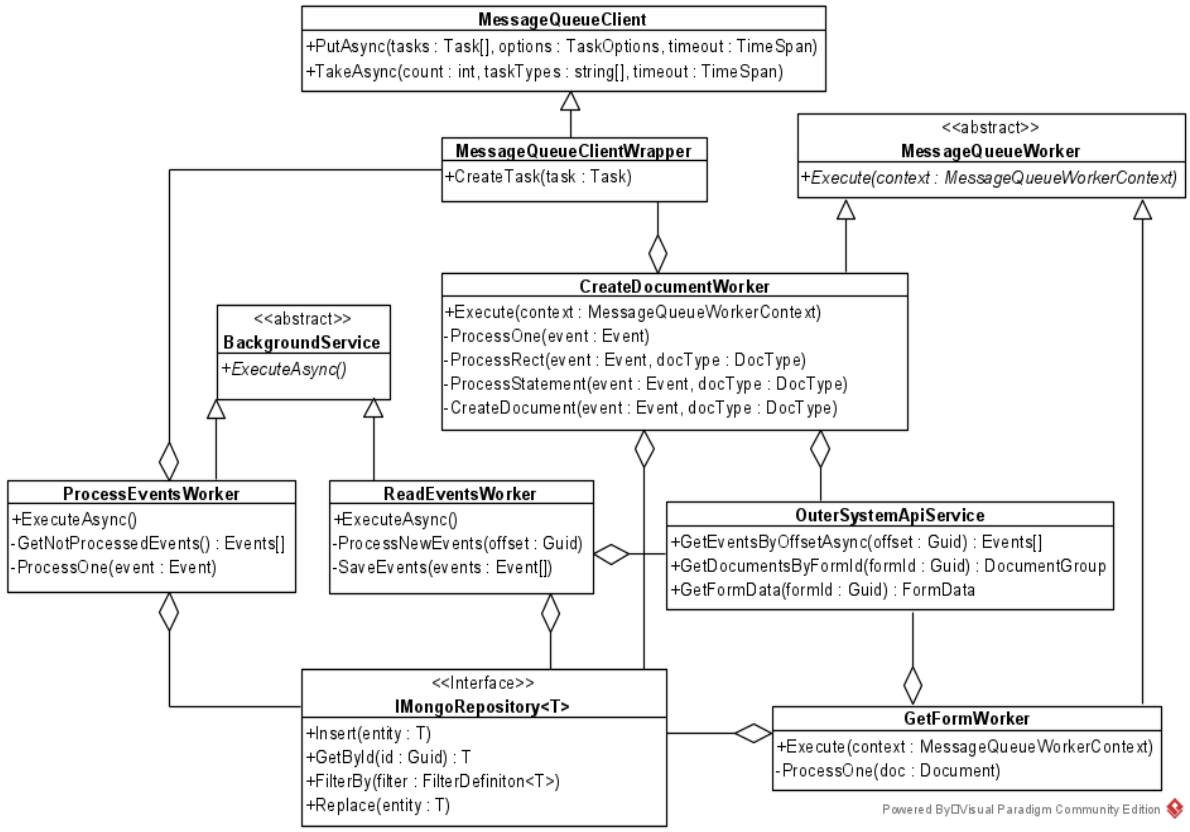


Рис. 7. Диаграмма классов некоторых воркеров и их зависимостей

Для проверки корректности работы модуля были написаны модульные и интеграционные тесты и дополнительно проводится ручное тестирование на тестовом окружении.

Заключение

В результате проделанной работы, на основе опыта других представителей индустрии разработки программного обеспечения и применяемых ими практик, для системы учёта посылок и документов был спроектирован и разработан модуль автоматической проверки документов, произведена его интеграция с корпоративной очередью сообщений, которая в дальнейшем может быть использована для других модулей системы, изменены существующие и написаны новые компоненты.

Разработанный модуль в составе системы используется в боевом окружении для обработки настоящих документов. Его внедрение позволило уменьшить количество сотрудников занимающихся проверкой документов с 18 до 7 человек, так как большая часть этого процесса была автоматизирована.

Значительно сократилось время получения в СЦ обратной связи от ООД о результате проверки документов за счёт ускорения проверки и внедрения самой системы и предоставлении доступа к ней сотрудникам СЦ и ООД. Так как до внедрения системы результаты проверки документов доносились до сотрудников СЦ в индивидуальном порядке по электронной почте.

Использование микросервисной архитектуры вместе с корпоративной очередью сообщений позволило независимо горизонтально масштабировать каждый из компонентов модуля для эффективного использования аппаратных ресурсов и выдерживания большей нагрузки, а также на программном уровне разделить разные этапы проверки документов. В настоящий момент настроена автоматическая репликация компонента распознавания QR-кодов, как наиболее требовательного к аппаратным ресурсам. Для остальных компонентов достаточно заранее заданного количества реплик.

Дальнейшая работа над модулем подразумевает добавление новых компонентов, например для перечитывания ленты за период до введения системы в эксплуатацию, реализацию поддержки других типов СЦ и других типов документов.

Литература

1. Dragoni N. et al. Microservices: yesterday, today, and tomorrow // Present ulterior Softw. Eng. Springer, 2017. P. 195–216.
2. Ghofrani J., Lübke D. Challenges of Microservices Architecture: A Survey on the State of the Practice. // ZEUS. 2018. Vol. 2018. P. 1–8.
3. Вульф Б., Хоп Г. Шаблоны интеграции корпоративных приложений. ЛитРес. 2022. 674 с.
4. Cole M.R. Hands-On Microservices with C#: Designing a real-world, enterprise-grade microservice ecosystem with the efficiency of C# 7. Packt Publishing, 2018. 256 p.
5. Малюга К., Перл И., Слапогузов А. Оценка применимости методов асинхронного программирования при решении проблемы согласованности данных в микросервисной среде // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21. № 4. С. 473–481.

УДК 004.891.2

МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ СРАВНИТЕЛЬНОЙ МЕТАГЕНОМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОМИКСНЫХ ДАННЫХ

А.Б. Иванов
Научный руководитель – к.т.н. В.И. Ульянцев
Университет ИТМО
e-mail: ivart07@mail.ru

Аннотация
Связь заболеваний человека с составом микробиоты его кишечника активно изучается в последнее время. В данной работе исследуются методы по извлечению метагеномных признаков из данных секвенирования для диагностирования воспалительных заболеваний кишечника. Предлагается использование метатранскриптомных данных для фильтрации выделенных признаков. Предложенные алгоритмы показывают улучшение качества классификации метагеномов на категории и являются перспективными для разработки системы поддержки принятия врачебных решений.
Ключевые слова
Извлечение признаков, метагеномика, метатранскриптомика, k-меры, сравнительный анализ, диагностирование заболеваний, машинное обучение.

Введение

Микроорганизмы распространены по всему миру и являются неотъемлемой частью различных экосистем. Бактерии населяют почву и водоемы, кисломолочные и ферментированные продукты, а также кишечник и кожные покровы животных. Метагеномика позволяет изучать микробные сообщества в совокупности на основе данных секвенирования, узнавать какие бактерии населяют образец, какую роль и функции они играют во взаимодействии друг с другом и по отношению к окружающей среде.

Одним из наиболее интересных образцов для исследования является микробиота кишечника человека. Она формируется с момента рождения и подвержена действию различных факторов, таких как питание, образ жизни, прием медикаментов. В то же время она играет уникальную роль в организме человека: участвует в усвоении питательных веществ и синтезе микроэлементов и регулирует иммунный ответ организма на различные патогены. Состав микробиоты изменяется при заболеваниях и применении антибиотиков. В настоящий момент ведутся исследования по установлению взаимосвязей между микробиомом кишечника и различными заболеваниями.

Одной из таких болезней являются воспалительные заболевания кишечника (ВЗК). Это группа неспецифических воспалительных процессов в желудочно-кишечном тракте человека, среди которых выделяют болезнь Крона (БК) и язвенный колит (ЯК). Диагностика данных заболеваний затруднена на ранних стадиях в связи со схожестью внешних симптомов и требует инвазивных процедур. Анализ данных микробиоты кишечника рассматривается как перспективный метод для аккуратного диагностирования.

Сравнительный анализ метагеномных данных может проводиться как с использованием референсных последовательностей из баз данных, так и без них. В последней работе нами был предложен безреференсный подход, основанный на извлечении k-меров, уникальных для группы образцов одной категории, с помощью программы MetaFast [1]. Полученные k-меры объединяются в признаки, которые

используются для классификации образцов с помощью машинного обучения. Результаты классификации показали более высокую точность по сравнению с другими методами, однако она еще недостаточна для применения алгоритма на практике. В данной работе рассматриваются дальнейшие улучшения методов по извлечению признаков и построению классификаторов для решения задачи диагностирования ВЗК.

Отбор признаков по степени их полезности

Предложенный ранее метод позволяет извлекать уникальные k-меры для групп метагеномных образцов. Они служат опорными вершинами в графе де Брейна для извлечения компонент, которые преобразуются в признаки для задачи классификации. Однако число получаемых признаков велико и может достигать десятков тысяч, в то время как обучающая выборка метагеномов мала и на данный момент состоит из нескольких сотен образцов по всем опубликованным исследованиям ВЗК. Такой дисбаланс негативно сказывается на качестве работы методов машинного обучения и значительно снижает возможность интерпретируемости моделей, что требует отдельного внимания.

Одним из подходов для решения данной проблемы является отбор признаков на основе их вклада в предсказательную модель. В данной работе для этой цели была применена программа SHAP [2], которая позволяет определить вклад каждого признака для разных алгоритмов классификации. В качестве набора данных для извлечения признаков использовались 220 образцов (88 БК, 76 ЯК, 56 контроль), описанных в статье [3]. Были обучены три типа классификаторов (дерево решений, случайный лес и метод опорных векторов) и проведена кросс-валидация с пятью разбиениями. Для первых двух моделей наиболее значимые признаки были плохо классифицированы, однако было отмечено наличие генов, отвечающих за сигнальные пути между клетками. В то же время для метода опорных векторов из пяти наиболее значимых признаков для определения контрольной группы четыре были классифицированы к виду *Faecalibacterium prausnitzii*, который известен своими противовоспалительными характеристиками.

Полученные результаты позволяют получить биологическое подкрепление разработанных методов, повышая уровень доверия к алгоритму среди биомедицинских специалистов. Также информация о наиболее важных признаках может быть использована для формулирования новых гипотез.

Применение метатранскриптомных данных

Предложенный выше метод позволяет отобрать наиболее значимые признаки после обучения модели, однако не решает исходную проблему большого числа признаков. Поэтому было принято решение использовать метатранскриптомные данные для фильтрации признаков. Они позволяют определить, какие клеточные процессы были активны, и какие гены транскрибировались с последовательностей ДНК микроорганизмов в образце. Таким образом, можно будет сосредоточиться только на тех признаках, которые играют активную роль в деятельности сообщества в момент взятия образца.

Для исследования был использован набор данных их 109 образцов (52 БК, 30 ЯК, 27 контроль) пар метагеномных и метатранскриптомных данных, собранных на протяжении Интегративного Проекта «Микробиом Человека» [4]. Данные обрабатывались следующим образом (рис. 1):

1. На первом этапе с помощью алгоритма извлечения уникальных k-меров и сборки контигов с помощью программы SPAdes [5] были построены признаки только из метагеномных данных. В результате было получено 14537 признаков для БК, 4169 для ЯК и 4974 для контрольной группы.
2. На втором этапе применялись метагеномные прочтения. Они были выровнены на полученные на первом шаге контиги с помощью программы Hisat2 [6]. Производилась

серия попарных выравниваний, то есть для каждого из трех классов метатранскриптомные прочтения из всех образцов фиксированного класса выравнивались на контиги каждого из трех классов по отдельности. В результате были отобраны только те контиги, которые были покрыты по всей длине со средней глубиной покрытия не меньше двух.

3. Затем для контигов каждого класса была построена диаграмма Венна, чтобы отобрать только те контиги, которые покрыты транскриптами соответствующего класса и не покрыты транскриптами других классов. В результат данной процедуры осталось 577 признаков для класса БК, 32 признака для класса ЯК и 56 признаков для контрольной группы.

4. В дальнейшем, опционально, был применен дополнительный фильтр, который отфильтровывал контиги со средней глубиной геномного покрытия меньше 10 и длиной меньше 100 пар нуклеотидов (500 пар нуклеотидов для БК). Это позволило еще больше сократить число признаков, получив 52 признака для класса БК, и по 22 признака для ЯК и контроля.

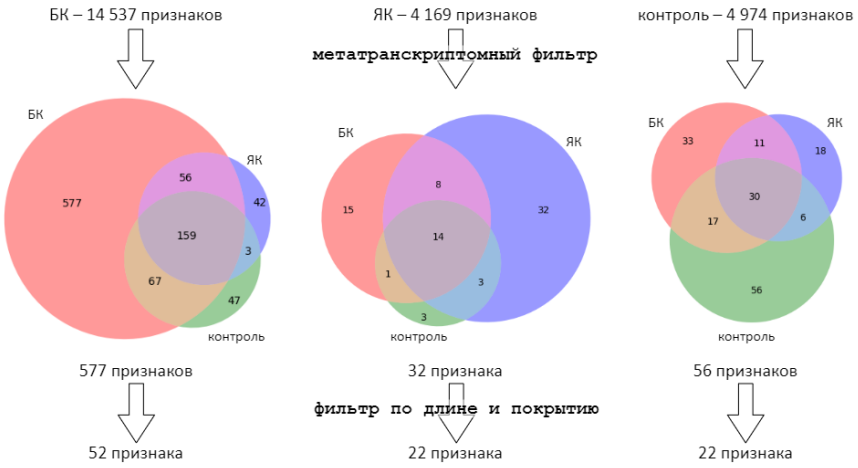


Рис. 1. Диаграммы Венна для фильтрации метагеномных признаков на основе метатранскриптомных прочтений и информации о контигах

Полученные после третьего и четвертого шагов признаки были использованы для обучения классификаторов методом случайного леса и с помощью нейронных сетей. Модели для трехклассовой классификации были обучены на наборе данных из статьи [4] и протестированы на наборе данных из статьи [3].

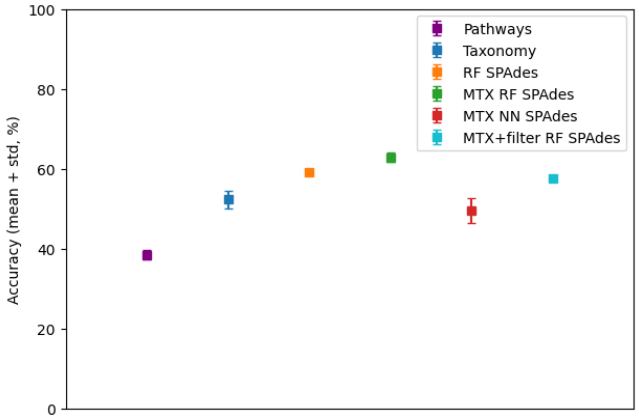


Рис. 2. График точности классификации метагеномных образцов с помощью различных методов извлечения признаков и машинного обучения

Всего было обучено шесть различных моделей (рис. 2):

а. Случайный лес на данных функционального состава *(Pathways)*.
б. Случайный лес на данных таксономического состава *(Taxonomy)*.
в. Случайный лес на признаках первого шага *(RF SPAdes)*.
г. Случайный лес на признаках третьего шага *(MTX RF SPAdes)*.
д. Нейронная сеть на признаках третьего шага *(MTX NN SPAdes)*.
е. Случайный лес на признаках четвертого шага *(MTX+filter RF SPAdes)*.

Как было показано ранее, модель (в) превосходит по результатам модели (а) и (б), что показывает перспективность разработки методов извлечения метагеномных признаков для диагностики. Вариант (г) превзошел по качеству все предложенные варианты, тем самым подтвердив тот факт, что метатранскриптомные данные позволяют отобрать наиболее полезные метагеномные признаки. Модель (д) показала невысокие результаты с большим разбросом, что может быть объяснено переобучением сложной нейронной сети. Метод (е) был хуже метода (г), однако показал одинаковые результаты с методом (в). При этом число признаков сократилось с 23680 до 96, что позволило значительно ускорить время обучения модели. Также малое число признаков позволяет детально изучить их с биологической точки зрения, что повышает их ценность в диагностических целях.

Таксономическая аннотация признаков

Поскольку модель, обученная на 96 признаках, показала один из лучших результатов классификации, была предпринята попытка исследовать биологическую природу отобранных признаков. Для этого каждый признак был таксономически проаннотирован в веб-сервисе BLAST [7]. Полученные результаты представлены в виде дерева таксономической аннотации на рис. 3. На ней можно отметить отдельные небольшие кластеры, специфичные для разных групп, однако на более высоком уровне не наблюдается хорошей кластеризации. В дальнейшем планируется изучить отобранные признаки с точки зрения их участия в функциональных биологических путях, влияющих на функционирование сообщества.

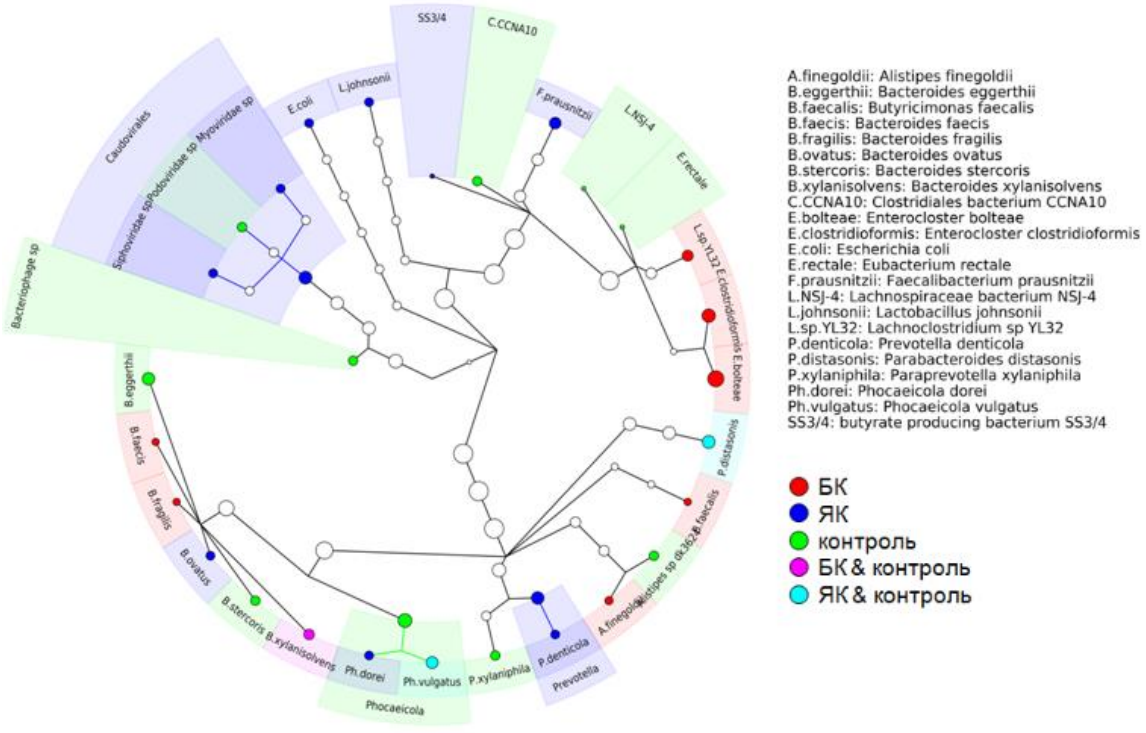


Рис. 3. Дерево таксономической аннотации отобранных признаков для задачи диагностирования воспалительных заболеваний кишечника

Выводы

В данной работе был предложен метод по отбору метагеномных признаков с использованием метатранскриптомных данных. Это позволило повысить точность классификации и значительно сократить число признаков, сделав модель более интерпретируемой. Также был применен метод по определению вклада признаков в итоговый результат классификации, что позволило изучить наиболее значимые из них.

В дальнейшем планируются полномасштабные вычислительные эксперименты предложенного метода на наборах метагеномных и метатранскриптомных данных с целью построения диагностирующей модели и выявления биомаркеров воспалительных заболеваний кишечника.

Иванов А.Б. и Ульянцев В.И. были финансово поддержаны грантом РНФ № 21-71-00051.

Литература

1. Ulyantsev V.I. et al. MetaFast: fast reference-free graph-based comparison of shotgun metagenomic data // Bioinformatics. 2016. Т. 32. №. 18. С. 2760-2767.
2. Lundberg S. M. et al. From local explanations to global understanding with explainable AI for trees //Nature machine intelligence. 2020. Т. 2. №. 1. С. 56-67.
3. Franzosa E.A. et al. Gut microbiome structure and metabolic activity in inflammatory bowel disease // Nature microbiology. 2019. Т. 4. №. 2. С. 293-305.
4. Lloyd-Price J. et al. Multi-omics of the gut microbial ecosystem in inflammatory bowel diseases // Nature. 2019. Т. 569. №. 7758. С. 655-662.
5. Bankevich A. et al. SPAdes: a new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing //Journal of computational biology. 2012. Т. 19. №. 5. С. 455-477.
6. Kim D. et al. Graph-based genome alignment and genotyping with HISAT2 and HISAT-genotype //Nature biotechnology. 2019. Т. 37. №. 8. С. 907-915.
7. Altschul S. F. et al. Basic local alignment search tool //Journal of molecular biology. 1990. Т. 215. №. 3. С. 403-410.

УДК 004.93’11

МОДЕЛЬ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗВУКОВЫХ АНОМАЛИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСАМИ И ОБРАБОТКИ ВНЕВЫБОРОЧНЫХ ДАННЫХ

С.А. Казакова
Университет ИТМО
e-mail: sophia.kazakova-00@yandex.ru

Аннотация
Выявление аномалий функционирования промышленного оборудования по акустическим данным с использованием нейросетевых алгоритмов является перспективной отраслью развития предиктивной аналитики в промышленности. Соответствующая задача ставится и в рамках международного конкурса DCASE (Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events). В данной работе обучение модели проводится на датасете DCASE 2022. Обучающая выборка содержит звуковые события, сопровождающие нормальное функционирование оборудования, аномалии представлены только в тестовых данных. Для решения задачи акустической детекции аномальных событий предложена архитектура автокодировщика, дополненная методами воздействия выбросами и обработки вневыборочных данных.

Ключевые слова
Звуковые аномалии, акустические аномалии, воздействие выбросами, вневыборочные данные, детектирование аномалий, автоматизированный мониторинг оборудования.

Актуальность

В рамках данной работы рассматривается задача автоматизированного мониторинга промышленного оборудования. Её прикладное решение подразумевает создание системы отслеживания состояния оборудования с привлечением человеческого оператора в случае детектирования аномалий. Данная статья ограничивается научно-исследовательской стороной вопроса, исследованием методов повышения точности работы с вневыборочными данными (англ. out-of-distribution) и разработкой базовой модели нейронной сети, имеющей потенциал достижения точности достаточной для практического применения (более 80 % на сложных данных).

Рынок мониторинга оборудования не ограничивается системами звуковой аналитики, но отражает глобальность запроса на подобные технологии. За последние три года было проведено несколько международных исследований, последнее – в 2021 году. Эксперты оценили рынок в 3 миллиарда долларов. Предполагается, что к 2026 году он будет составлять уже 5,2 миллиарда [1].

Быстрое развитие и повышение спроса на технологии мониторинга со стороны бизнеса создало этот спрос и в научной среде – в «State of the Art Review» 2021 года эксперты назвали крупнейшие лаборатории по этому направлению – они открылись уже в сорока университетах США, Канады, Китая, Индии и по всей Европе [2].

Аналогичная задача сформулирована на международном конкурсе DCASE (Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events) в треке «детектирование аномальных звуков для мониторинга состояния оборудования без обучения на аномалиях» [3]. В качестве организаторов трека в конкурсе выступают крупные коммерческие предприятия (Hitachi, Google, NTT) и представители университетов. Данная задача рассматривается с 2020 года, и развивается с последовательным усложнением датасета. Базовая система, предлагаемая для улучшения организаторами

трека, основывается на простом автокодировщике (англ. autoencoder, автоэнкодер) и показывает результат близкий к случайному (около 50%). В данной работе решение разрабатывается и тестируется на основе предложенных в задании 2022 года датасетов DCASE.

Датасет DCASE 2022

Авторы задачи предлагают датасет, состоящий из 10-секундных записей работы 7 типов устройств: обдув/вентилятор (fan), коробка передач (gearbox), подшипник (bearing), рельс (slide rail), игрушечная машинка (ToyCar), игрушечный поезд (ToyTrain), клапан (valve). Участникам предлагают обучить нейронную сеть исключительно на звуковых фрагментах «нормального» класса, т. е. записях исправной работы оборудования. «Аномалии» появляются только в тестовой выборке, данные получены путём целенаправленного повреждения оборудования. Характеристики поломок не приводятся, нет никаких дополнительных данных кроме класса wav-аудиофайла (нормальный/аномалия).

Сложность датасета заключается в сдвиге домена, т. е. изменении условий записи данных. Это значит, что аудио работы для каждого типа оборудования записывались при разной загрузке оборудования, характеристиках окружения (температура, фоновый шум), с разных записывающих устройств и т.д. Тестовая выборка содержит записи в условиях, которые не были представлены в обучающей выборке.

Кроме того, при дополнительном исследовании данных выяснилось, что бóльшая часть данных для человеческого слуха неочевидна. Без дополнительной подготовки сложно, а иногда и невозможно определить границу между целевым звуком и фоновым шумом, разницу между нормальной записью и аномалией. Далее в качестве примера рассмотрим анализ одного из классов – обдува.

Событие класса обдув/вентилятор монотонно, длится все десять секунд записи. Аномалии не всегда различимы; слышимые выражены изменением громкости работы оборудования, скрипом или слабыми периодическими звуками ударов. В ряде случаев фоновый шум практически полностью перекрывает целевой звук и сильно видоизменяет осциллограмму (рис. 1).

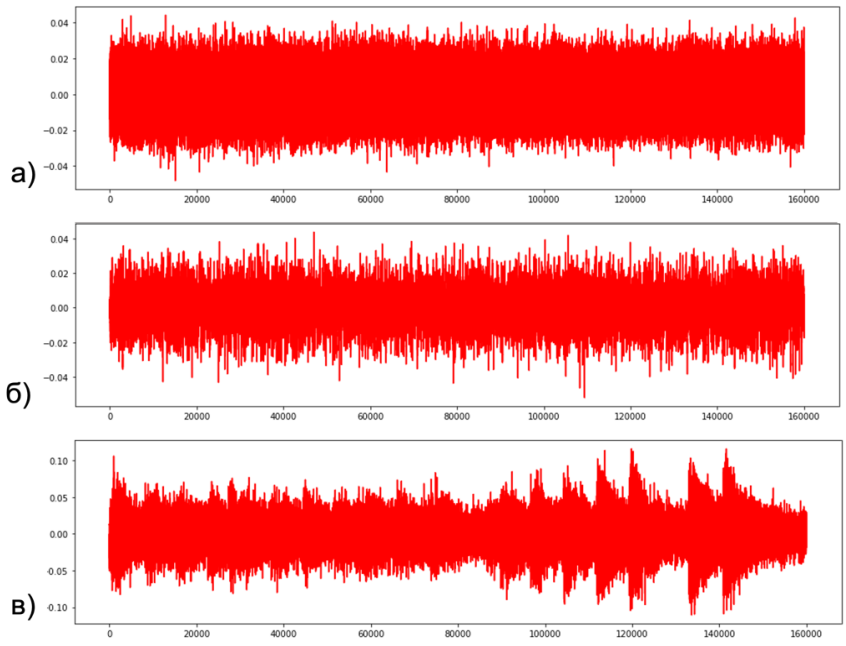


Рис. 1. Осциллограммы аудиозаписей класса обдув:
нормальная (а), аномалия (б), зашумлённая (в)

Спектральный анализ, частотный анализ и кластеризация были проведены по всем классам, но дали мало информации – отличия аномальных записей от нормальных обучающих видны, однако обучающие нормальные и тестовые нормальные в частотной области различаются не меньше (рис. 2).

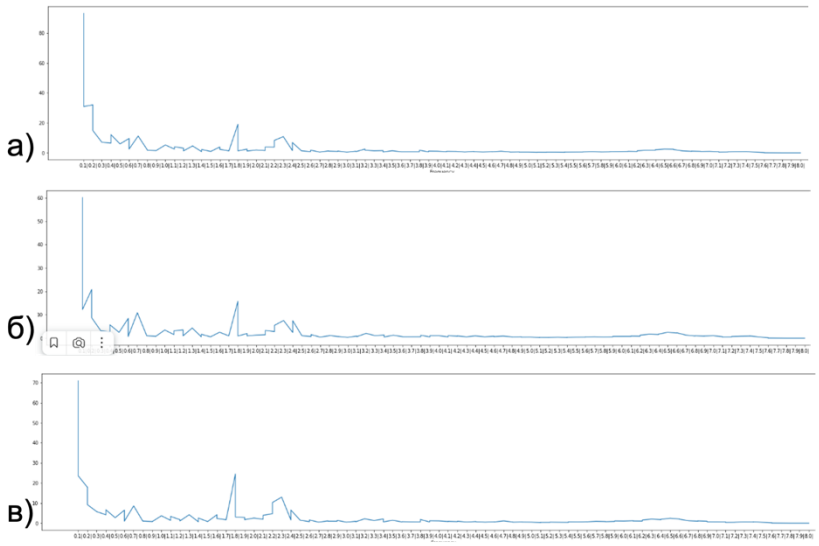


Рис. 2. Частотный анализ записей класса обдув (удельная энергия на заданный интервал частот, 128 диапазонов): обучающая нормальная (а), тестовая нормальная (б), аномальная (в)

Выдвигалась гипотеза, что снижение размерности данных для проекции их на плоскость и последующее применение методов кластеризации позволит отличить нормальные и аномальные записи, или же поможет разделить данные на категории по видам/типам аномалий или сдвигов домена. Она не подтвердилась – например, метод k-средних для 6 кластеров (по количеству типов сдвига домена) по результатам работы разных алгоритмы снижения размерности (PCA, TSNE, MDS, SVD) четкого разделения не предлагает (рис. 3). Последующий ручной анализ показал, что полученные кластеры соответствуют скорее схожим фоновым шумам, чем не целевому классу.

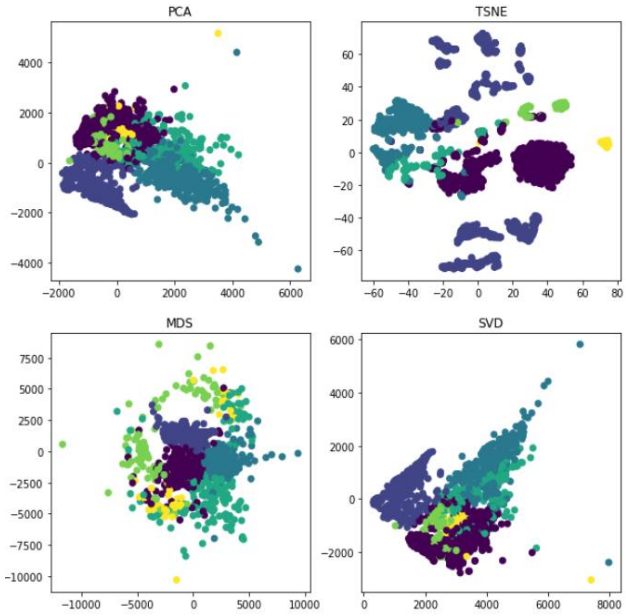


Рис. 3. Кластеризация датасета класса обдув

На основании проведенного анализа очевидных оптимальных подходов к решению задачи подобрать не удалось. Было принято решение отталкиваться от архитектуры, предложенной организаторами.

Базовая архитектура

Автокодировщик – одно из решений, предложенных организаторами трека. Архитектура представляет собой нейронную сеть с прямой связью; между входным и выходным слоем находятся один или несколько скрытых слоев меньшей размерности. Структуру можно представить в виде двух составляющих – кодировщика и декодировщика. Кодировщик f кодирует выборку X в свое внутреннее представление H (иначе – скрытое состояние), а декодировщик g восстанавливает исходную выборку. Автокодировщик относится к моделям обучения без учителя, то есть не требует размеченных входных данных.

Автокодировщик считается одной из наиболее эффективных и легковесных архитектур для детектирования аномалий во входных данных. Если после обучения сеть не смогла точно реконструировать входную информацию, то можно предположить, что на вход попали аномальные данные, которые не встречались в обучающей выборке. На простом датасете такая система отрабатывает с высокой точностью, однако в условиях настолько сложной выборки показывает AUC = 49.19% [3], что соответствует случайному угадыванию ответа. Количество и размерности слоев подбирались экспериментально, наилучший результат показала модель, состоящая из 9 слоев – в четыре первых по 128 нейронов, скрытое состояние – 8, далее снова четыре слоя по 128.

Воздействие выбросами

В 2021 году австрийская команда из университета имени Иоганна Кеплера предложила использовать подход *outlier exposure* (далее – воздействие выбросами) [4]. Он подразумевает дополнение исходного датасета вневыборочными примерами для повышения точности классификатора [5].

Авторы подхода выяснили, что близость добавляемых данных (англ. close-to-distribution) к исходной обучающей выборке повышает качество работы модели эффективнее, чем использование непохожих данных. Так, в приведенных в оригинальной статье [5] экспериментах, авторы используют предобработку данных, чтобы исключить нахождение сетью простых признаков, по которым данные можно разделить на выбросы и целевые классы.

В данной работе в качестве выбросов используются обучающие выборки других классов.

Сложность связана с тем, что анализ датасета не показал никаких ярких сходств между классами ни во временной, ни в частотной области. Вследствие этого, для эксперимента были протестированы все шесть сочетаний: обдув + коробка передач, обдув + подшипник, обдув + рельс, обдув + игрушечная машинка, обдув + игрушечный поезд, обдув + клапан.

Метрики

Для анализа эффективности воздействия выбросами (ВВ) были выбраны метрики, используемые организаторами. На конкурсе модели оцениваются поклассово на основании двух метрик – AUC и pAUC [3]. pAUC – метрика, введённая организаторами, представляет собой AUC, вычисленную по определенному фрагменту кривой ошибок. В 2022 году ограничение стоит на низкий false positive rate, от 0 до 0.1. Это связано с возможностью практического применения полученных моделей – в приоритете низкое количество ложноположительных срабатываний.

Эксперименты

Виртуальный экспериментальный стенд разрабатывался на языке Python версии 3.9. Проект реализован на PyTorch 1.10.0+cu111, тестировался в Google Colaboratory. Для чистоты эксперимента архитектура системы не менялась, единственное отличие заключалось в содержании обучающей выборки. Результаты экспериментов приведены в таблице.

Таблица

Результаты эксперимента

	AUC секция 0, %	AUC секция 1, %	AUC секция 2, %	AUC общее, %	pAUC, %
Автокодировщик (обдув)	39.35	44.74	63.49	49.19	50.29
ВВ (коробка передач)	64.39	53.09	61.62	59.70	51.75
ВВ (подшипник)	62.11	53.22	61.63	58.98	51.49
ВВ (рельс)	65.45	51.49	60.29	59.07	52.71
ВВ (машинка)	58.37	51.52	61.18	57.02	51.17
ВВ (поезд)	61.36	52.86	61.31	58.51	51.82
ВВ (клапан)	58.61	52.47	61.24	57.45	51.36

Строкам соответствуют эксперименты. Первый эксперимент, строка «автокодировщик» – результаты работы «чистой» архитектуры из базового предложения авторов на классе обдув/вентилятор (в табл. «обдув»). Далее описаны шесть экспериментов на том же классе с применением метода воздействия выбросами; класс использованных добавочных данных указан в скобках. Таким образом, запись «ВВ (коробка передач)» соответствует эксперименту на данных класса «обдув/вентилятор» с использованием данных класса «коробка передач» как «выбросов» по методу воздействия выбросами. Жирным шрифтом выделены максимальные достигнутые значения по всем экспериментам.

Колонки соответствуют результатам по метрикам, описанным выше. Первые три колонки – выделенные значения AUC по секциям, т. е. соответствующие разным типам сдвига домена. Последние две – общие результаты по всему тестовому датасету.

Использование метода воздействия выбросами добавило в среднем 7-10% к показателю AUC. По pAUC прирост составляет 1-2%.

Выводы

Полученный результат позволяет считать данный подход перспективным, и дальнейшее развитие модели с увеличением pAUC позволит превысить результат базовой архитектуры авторов задачи.

Для увеличения точности работы модели предполагается попробовать применить аугментацию данных для расширения и ребалансировки обучающей выборки, а также протестировать другие виды добавляемых «выбросов». В результате ожидается получить модель с точностью не ниже 80% и AUC более 65%.

В дальнейшем фокус на обработку звуков настоящего оборудования и дополнительные исследования на практике позволят применять данную модель в производстве.

Литература

1. Mordor Intelligence. Machine condition monitoring market – growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2022-2027) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.

mordorintelligence.com/. industry-reports/machine- condition-monitoring-market (дата обращения: 02.04.2022).
2. Ali Ahad & Abdelhadi, Abdelhakim. Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review. // Applied Sciences. 2022. 12. 688p.
3. Unsupervised Anomalous Sound Detection for Machine Condition Monitoring Applying Domain Generalization Techniques [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dcase.community/ challenge2022/task- unsupervised- anomalous-sound-detection-for-machine-condition- monitoring#autoencoder-based-baseline (дата обращения: 14.04.2022).
4. Primus Paul and Zwifl Martin and Widmer Gerhard. CP-JKU Submission to DCASE'21: Improving Out-of-Distribution Detectors for Machine Condition Monitoring with Proxy Outliers & Domain Adaptation via Semantic Alignment // DCASE2021 Challenge [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dcase.community/ documents/ challenge2021/technical_reports/DCASE2021_Primus_82_t2.pdf. (дата обращения: 01.04.2022).
5. Hendrycks D., Mazeika M. & Dietterich T. Deep anomaly detection with Outlier Exposure // arXiv.org/abs/1812.04606 – 2019.

УДК 004.58

ЭЛЕКТРОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КЛИНИКИ И ПАЦИЕНТА С ПОМОЩЬЮ ЧАТ-БОТА: ВЫБОР СЕРВИСОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИС

П.С. Калинин
Научный руководитель – к.т.н., доцент И.А. Посов
Санкт-Петербургский государственный университет
e-mail: pashkalini2000@ya.ru

Аннотация
Статья посвящена теме разработки сервисов для пациента медицинской организации, реализуемых с помощью чат-бота, в части выбора сервисов для проектирования и разработки информационной системы. В статье представлены результаты опроса пациентов ФГБУ СЗОНКЦ им. Л.Г. Соколова ФМБА России. Приведена логика взаимодействия пользователя с чат-ботом, а также описание реализованного тестового функционала.

Ключевые слова
Чат-бот, медицинский чат-бот, диалоговый агент, электронное взаимодействие, цифровое здравоохранение, сервисы для пациента.

В современных тенденциях всеобщей цифровизации здравоохранение не является исключением. Общая цель процесса цифровизации здравоохранения – упрощение взаимодействия пациента и медицинской организации, а также решение актуальных проблем, связанных с обеспечением максимального количества жителей страны медицинскими услугами, доступности медицинской помощи в условиях транспортной разобщенности и масштабности территории [1]. Приближение к этой цели представляется в создании простых и полезных медицинских сервисов, доступных в привычном для повседневного общения и работы мессенджере.

Чат-боты в настоящее время могут быть реализованы на привычных для повседневного общения и работы платформах, таких как Telegram, ВКонтакте, а также веб-сайтах. Многие компании и организации, в том числе государственные, внедряют в свои бизнес-процессы диалоговых агентов как для внутреннего, так и для внешнего (с клиентами) взаимодействия. Практика показывает, что пользователи хорошо реагируют на коммуникацию с помощью чат-ботов, которые в свою очередь помогают автоматизировать общение и сбор необходимой информации [2, 3].

Рассматривая вопрос применения чат-ботов в сфере здравоохранения, важно отметить, что современному человеку, решающему вопросы в формате «здесь и сейчас», крайне необходимы сервисы, помогающие максимально упростить и ускорить посещение медицинской организации. Кроме того, экономия времени пациентов при получении медицинской помощи позволяет проводить более полные обследования и значительно повышает качество жизни граждан [4].

Обосновывая выбор мессенджер Telegram в качестве основной платформы для реализации и размещения разрабатываемого чат-бота, нужно сказать, что Telegram считается одним из самых защищенных мессенджеров в мире. Переписки хранятся в зашифрованном виде. Шифрование происходит с помощью специально разработанного протокола MTProto. Переписки и ключи шифрования хранятся на разных серверах – если злоумышленник сможет украсть данные с перепиской с сервера, у него не получится их расшифровать, так как ключи шифрования могут находиться на серверах, расположенных в другой точке мире. Всё это касается и переписки с чат-ботом [5].

Обмен сообщениями с ботом происходит через GET/POST запросы по протоколу HTTPS, данный протокол используется на всех современных сайтах и обеспечивает целостность и конфиденциальность данных при их передаче между сайтом/сервером и устройством пользователя. Принцип взаимодействия клиента и чат-бота изображен на рис. 1.

Рис. 1. Схема взаимодействия клиента и чат-бота

В ФГБУ «Северо-Западный окружной научно-клинический центр имени Л.Г. Соколова» Федерального медико-биологического агентства в августе 2021 года был проведен опрос, участие в котором приняли участие более 700 пациентов центра. Респондентам было предложено ответить на 6 вопросов, связанных с популярностью использования мессенджера Telegram, применением чат-ботов, также необходимо было выбрать наиболее нужные и важные сервисы для пациента.

Результаты опроса показывают, что пациенты имеют представление о цифровых способах связи с медицинскими учреждениями – более 60% респондентов пользуются Telegram и знают, что такое чат-боты. Однако приоритетными в настоящее время остаются традиционные виды взаимодействия, такие как звонок в колл-центр или личное посещение регистратуры.

Полученные данные также свидетельствуют о том, что есть большой потенциал в выборе телеграм-бота (16,7% голосов за телеграм-бот) в качестве платформы для размещения медицинских сервисов для пациента. С точки зрения психологии гражданам привычнее использовать мобильное приложение для получения услуг, это подтверждается результатами в 22,5% голосов. Telegram – это и есть приложение, причём с точки зрения безопасности более предпочтительное для пользователя, чем неизвестное приложение медицинской организации. Использование мессенджера также экономит место на мобильном устройстве, что играет важную роль при выборе пользователем канала связи. Учитывая все перечисленные факты, представляется возможным учесть голоса за мобильное приложение в пользу Telegram. Таким образом, общий результат в почти 40% позволяет сделать вывод о том, что реализация сервисов для пациента с помощью чат-бота будет востребована среди пациентов клиники [6].

По результатам проведенного исследования были выделены следующие сервисы для реализации в информационной системе (ИС):

1. Сервис «Запись на приём».

С помощью данного сервиса пациент сможет посмотреть расписание приема врачей клиники, выбрать подходящего врача и записаться на прием на конкретную дату и время. Данный сервис будет интегрирован с информационной системой клиники.

2. Сервис «Заключение врача».

Функционал этого сервиса предполагает следующее: пациенту через заданный промежуток времени после приема присылается заключение и рекомендации врача по дальнейшему лечению – список лекарств и т.д.

3. Сервис «Напоминание о приёме».

Сервис предназначен для уведомления пользователя о том, что он записан на приём. За определенное время до приема пользователь получит точную информацию о приеме: время, кабинет, имя врача. Также будет предусмотрена возможность перенести или отменить визит к врачу.

4. Сервис «Оплата услуг».

Данный сервис предназначен для оплаты услуг, оказываемых на платной основе.

5. Сервис «Штрих-код на вход».

С помощью этого сервиса пациент может получить штрих-код, необходимый для входа в медицинский центр. Данный сервис будет связан с информационной системой клиники, упростит и ускорит входную процедуру.

6. Сервис «Консультация».

Данный сервис предполагает внедрение искусственного интеллекта для консультации пациента по симптомам того или иного заболевания. Важно: диагноз может поставить только врач, а данный сервис поможет сэкономить время приема, а также оптимизировать планирование приемных часов – принимать пациентов в зависимости от их состояния; данный сервис достаточно непрост в реализации, но абсолютно точно будет востребован среди пациентов.

На этапе проектирования информационной системы (ИС) была разработана схема взаимодействия пользователя с ботом (т.н. Userflow, https://disk.yandex.ru/i/9my_z5AWREOvig) (рис. 2). Далее приводится описание данной схемы.

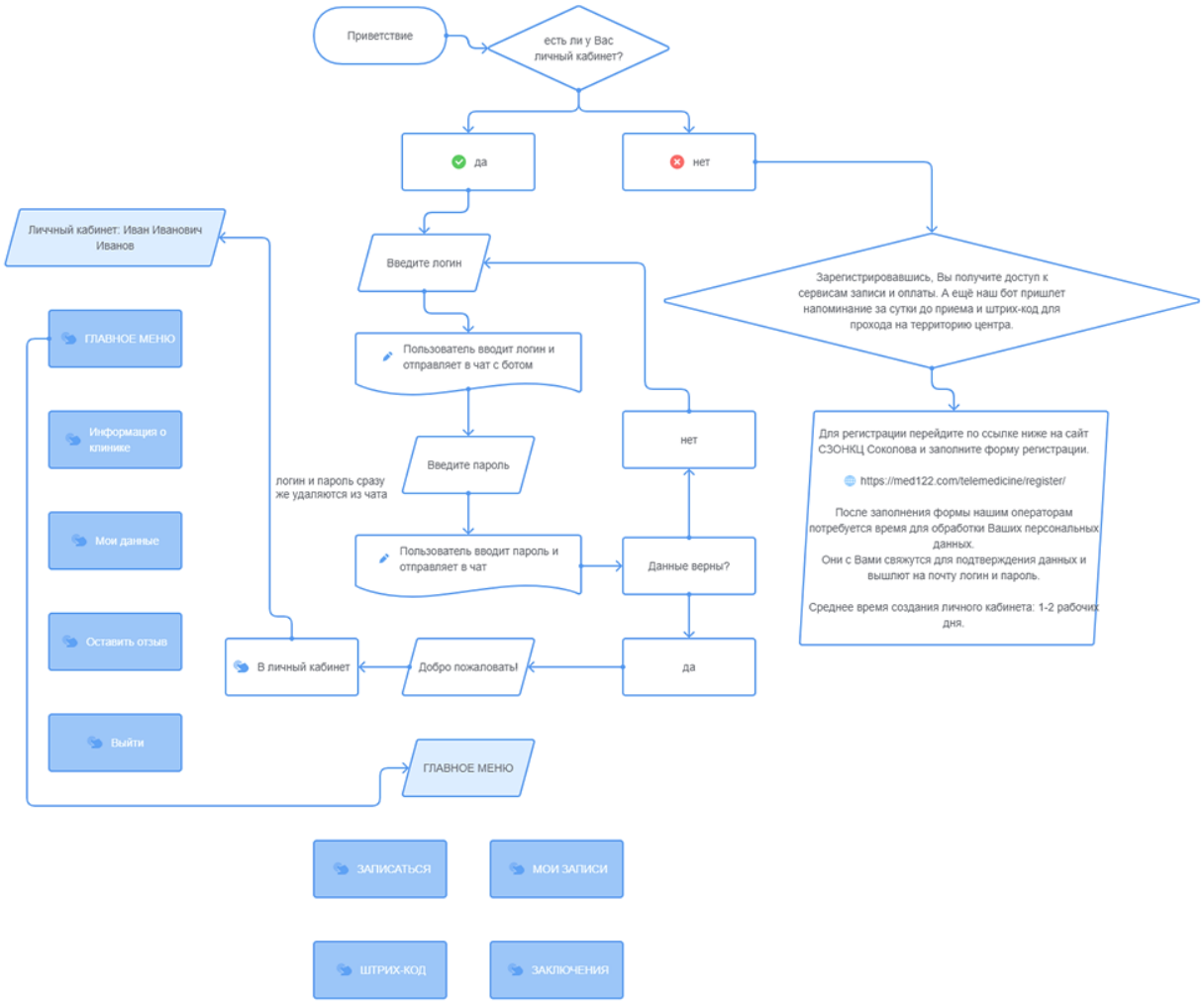


Рис. 2. Краткая схема взаимодействия пользователя с ботом

Работа/общение с ботом начинается с вопроса: «Есть ли у Вас личный кабинет?». Личный кабинет (далее – ЛК) находится на сайте медицинского центра, создается по желанию пользователя сотрудниками центра вручную. Если у пользователя нет ЛК, то

он не может получить доступ ко всем функциям и сервисам, только к ограниченному функционалу. Рассмотрим два случая: (1) у пользователя нет ЛК и (2) у пользователя есть ЛК:

1. У пользователя нет ЛК.

Пользователь может получить базовую информацию о медицинской организации, а также получить ссылку на форму для регистрации ЛК. Далее в течение 1-2 рабочих дней оператор Call-центра медицинской организации свяжется с пациентом для подтверждения создания ЛК и вышлет логин и пароль на электронную почту. Пользователю нужно будет первично авторизоваться в ЛК и дать согласия на обработку персональных данных, далее пациент может осуществить вход в чат-бот и получить доступ к сервисам.

2. У пользователя есть ЛК.

Для доступа к сервисам бота пользователь должен ввести логин и пароль от ЛК, бот проверит данные, и, если все верно, поприветствуют пациента по имени и отчеству и выдаст список доступных сервисов, если данные не верны, бот попросит выполнить процедуру авторизации заново. Авторизация в боте происходит только при первом входе, далее авторизоваться не нужно. Пациенту доступны следующие сервисы в чат-боте (представлено в виде меню, в котором пользователь может выбрать сервис, нажав на кнопку с названием сервиса): «Запись на приём», «Мои записи», «Штрих-код на вход», «Заключение врача».

Рассмотрим главный сервис, на котором основывается функционал всех остальных – «Запись на приём». При выборе данного сервиса пользователь поэтапно (с помощью появляющихся меню) выбирает:

- специализацию врача;
- самого врача по ФИО;
- удобный день и время приёма (из доступных).

Далее пользователь должен подтвердить или отменить запись, нажав на соответствующую кнопку. При нажатии на кнопку «Отмена» пользователь возвращается в Главное меню с доступными сервисами. Если пациент выбирает вариант «Записаться», то он переходит к сервису «Оплата услуг». У пользователя есть 15 минут для оплаты. С этого момента начинается отсчет времени и в чате появляются способы оплаты, один из которых должен выбрать пользователь. За 5 минут до истечения срока оплаты, если операция не была совершена, пользователь получит напоминание о необходимости оплаты услуги.

Если оплата не поступит в указанный срок, запись будет автоматически отменена, в чате появится сообщение: «Оплата не была произведена в установленное время. Запись была автоматически отменена. Запишитесь на прием заново».

Проверить свои записи пользователь может с помощью сервиса «Мои записи», доступного в Главном меню. При выборе данного сервиса отобразится список записей с информацией. Если пользователь хочет отменить запись, он может это сделать, нажав на кнопку «Отменить запись». Для отмены необходимо выбрать нужную запись из меню со списком записей, которое появится после нажатия на кнопку, при этом отменить запись можно не позднее 2 суток до времени приема. Далее бот попросит подтвердить отмену или предложит вернуться к списку записей, которые можно отменить.

За сутки до даты приёма пользователь получит напоминание об этом, а также бот пришлёт штрих-код для входа на территорию медицинского центра. Штрих-код также появится в сервисе «Штрих-код» в Главном меню. Через некоторое время после посещения врача в сервисе «Заключение врача» появится информация с рекомендациями врача по итогам приёма.

В соответствии с логикой бота был реализован первоначальный функционал бота (рис. 3), а именно:

– приветствие неавторизованного пользователя по имени, указанному в профиле в мессенджере Telegram, при старте бота;

– меню «Есть ли у Вас личный кабинет» с кнопками «да» и «нет» и последующая обработкой ответа пользователя;

– функционал при отсутствии у пользователя личного кабинета (информация о преимуществах регистрации, информация о медицинском центре, регистрация ЛК для пользователя);

– авторизация пользователя с помощью логина и пароля от личного кабинета;

– возврат к меню «Есть ли у Вас личный кабинет» в случае ввода неверного логина/пароля;

– приветствие пациента по имени и отчеству в соответствии с данными, полученными из личного кабинета, при успешной авторизации;

– меню Личный кабинет пациента с информацией о клинике, данными пациента и возможностью оставить отзыв о боте;

– интерфейс главного меню с доступными сервисами;

– сервис «Мои Записи» с возможностью отменить запись к специалисту.

Рис. 3. Интерфейс чат-бота

Подводя итог, важно отметить, что проведенное исследование показало важность и необходимость создания цифровых сервисов для упрощения взаимодействия клиники и пациента, а также позволило спроектировать информационную систему и реализовать первоначальный функционал.

При дальнейшей разработке каждый сервис будет организован в виде отдельных модулей с целью сохранения потенциала дальнейшего развития ИС и интерфейса чат-бота для внедрения в другие медицинские учреждения Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Также планируется проведение бета-тестирования на пациентах и сотрудниках ФГБУ СЗОНКЦ им. Л.Г. Соколова с последующей доработкой.

Литература

1. Карпов О.Э., Субботин С.А., Шишканов Д.В., Замятин М.Н. Цифровое здравоохранение. Необходимость и предпосылки // Врач и информационные технологии. 2017. № 3. С. 6–22.
2. Бацина Е.А., Попсуйко А.Н., Артамонова Г.В. Цифровизация здравоохранения РФ: миф или реальность? // Врач и информационные технологии. 2020. № 3. С. 73-80.
3. Будущее цифровых систем здравоохранения. Отчет о проведении симпозиума «Будущее цифровых систем здравоохранения в европейском регионе» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://apps.who.int/ iris/bitstream/handle/ 10665/330370/9789289059985-rus.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
4. Как устроены медицинские чат-боты – разбираемся на примере бота DOC+ [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr. com/ru/company/ docplus/blog/374493/ (дата обращения: 13.04.2022).
5. MTProto Mobile Protocol [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://core.telegram.org/mtproto (дата обращения: 13.04.2022).
6. Калинин П.С., Лисицинский С.Г., Орлов Г.М. Исследование применения диалоговых агентов в сфере здравоохранения // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2022. Т. 2. С. 275-279.

УДК 004.934

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ДЕТЕКЦИИ АНОМАЛИЙ В ЗВУКОВЫХ ДАННЫХ

И.Л. Кодуа
Научный руководитель – к.т.н. М.Б. Столбов
Университет ИТМО

Аннотация
В работе проводится обзор различных методов машинного обучения для задачи детектирования аномалий звуков, издаваемых механизмами. В качестве данных для обучения и тестирования используется датасет с соревнования DCASE 2020 с задания 2, в котором представлено 6 классов звуковых данных. Задача заключается в том, что после обучения на тренировочных фонограммах нормальных данных детектировать среди тестовых фонограмм фонограммы штатно работающих или неисправных механизмов (аномалии звуковых данных). Рассмотрены методы, основанные на использовании классификаторов и автоэнкодеров.

Ключевые слова
Детектирование аномалий, детекция аномалий, машинное обучение, автоэнкодер, MobileNet.

Введение

Задача о детектировании аномалий заключается в том, что есть набор фонограмм без аномалий, а также тестовый набор фонограмм, среди которых есть фонограммы с аномалиями. Обучение происходит по данным без аномалий. Это делается из-за того, что тяжело предсказать выборку всевозможных аномалий. Детектирование аномалий применимо к широкому кругу областей, таких как обнаружение неисправностей оборудования, мониторинг здоровья, обнаружение нарушений в экологической сфере и так далее. В последние годы для решения этих задач широкое распространение получили методы машинного обучения, благодаря их высокой эффективности. В данной статье рассмотрена задача детектирования применительно к аудиоданным.

Датасет

По задачам детектирования акустических событий проводится конкурс DCASE, и вот уже несколько лет в него включена задача о детектировании аномалии. В 2021 и 2022 годах данная задача являлась более усложненной, но в данной работе был выбран 2020 год, т.к. в нем нет сдвига домена обучающих событий. Под сдвигом домена подразумеваются условия, при которых модель обучается на одном распределении данных, а выполняет предсказания для другого распределения. Например, выборка звука насоса и звук насоса при изменении параметров какой-либо из деталей. Это усложняет решение задачи детектирования. Датасет 2020 года был выбран потому, что в нем нет сдвига домена. Данные делятся на 6 классов, принадлежащих к разным механизмам: клапан, игрушечный конвейер, игрушечная машина, ползунок, насос и вентилятор (для каждого из которых проводится своя тренировка модели и решается своя задача детектирования). Тренировочные и тестовые данные представлены wav-файлами длительностью 10 секунд и частотой дискретизации 16 кГц [1].

Метрика качества

В качестве метрики качества используется AUC (Area Under the ROC Curve) и pAUC. Данная метрика показывает на сколько данные из одного множества разделимы

с данными из другого множества. Более детальную информацию о данной метрике можно найти в статье [2].

Звуковые признаки

В качестве звуковых признаков используются спектрограммы и мел-спектрограммы. Спектрограмма – визуальное представление спектра сигнала. Мел-спектрограмма – это спектрограмма, переведенная из герц шкалы в мел шкалу для подчеркивания низких частот. Те команды, которые использовали эти звуковые признаки в конкурсе DCASE 2020 показали более высокий результат в задаче детектирования аномалий. Также в статье Мухаммада Хузайфа на датасетах ESC-50 и UrbanSound8K, которые представляют из себя различные звуки окружающей среды, было показано, что для классификации звуков на этих датасетах лучше всего подходит мел-спектрограмма, а вейвлет-преобразование, мел кепстральные коэффициенты и обычная спектрограмма дают более низкую точность [3]. В бейзлайне задания использовалась спектрограмма с разрешением в 128 мел.

На рис. 1 представлен пример мел спектрограммы сигнала длительностью 10 секунд, частотой дискретизации 16 кГц, с окном Ханна длинной 1024, шагом окна 512 отчетов.

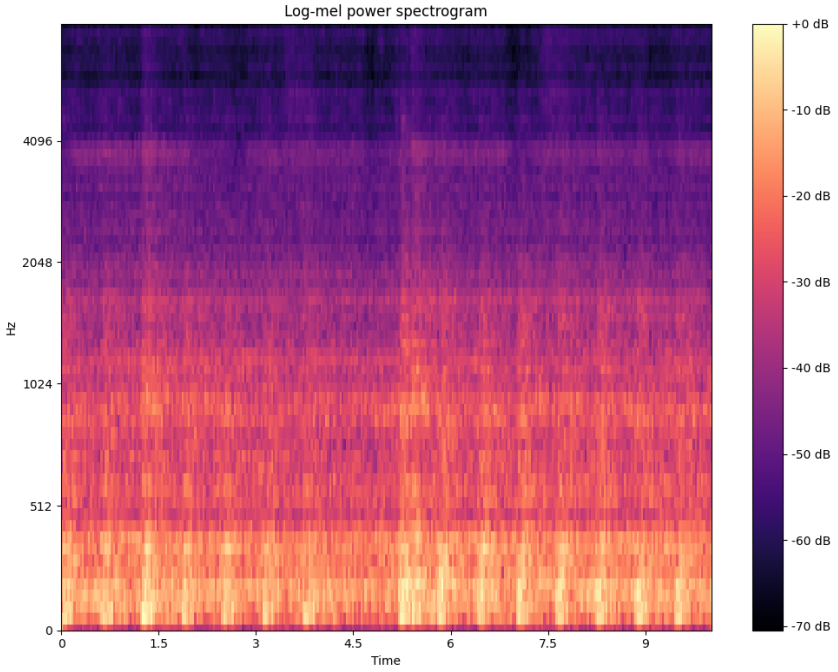


Рис. 1. Пример мел-спектрограммы в децибелах

Автоэнкодер

Один из под подходов к вычислению уровня аномальности является использование автоэнкодера. Автоэнкодер – нейронная сеть, состоящая из кодера и декодера. Кодер - сжимает данные в латентное пространство, декодер преобразует их. Для данной задачи используется декодер, который восстанавливает данные. Данный метод работает таким образом, что, обучаясь исключительно на нормальных данных, автоэнкодер не сможет корректным образом сжать и восстановить данные и тогда можно будет отследить аномалию, подсчитав среднеквадратичную разницу между входными и выходными данными нейронной сети. Обзор данной архитектуры можно найти в статье [4]. На рис. 2 представлена схема автоэнкодера. Данный бейзлайн автоэнкодер работает с точностью 66 - 84 % в зависимости от класса по метрике AUC.

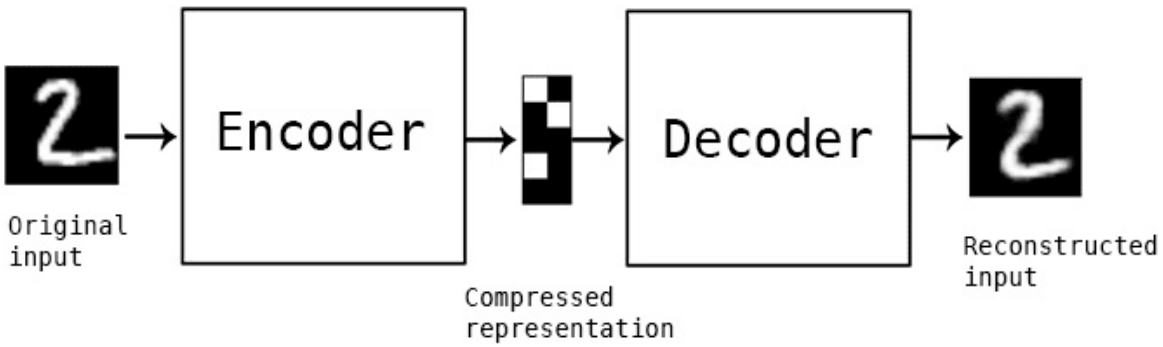


Рис. 2. Общая схема автоэнкодера [5]

В конкурсе DCASE 2020 был использован автоенкодер MADE (Masked Autoencoder for Distribution Estimation). Данный автоэнкодер также использовался Ритвиком Гири - исследователем из компании Amazon [6]. Данный автоэнкодер пытается восстановить данные по условной вероятности между выходными данными, которую мы задаем, это делается с помощью масок между весами, которые задаются по определенным правилам, подробнее об этом можно прочитать в оригинальной статье [7]. На рис. 3 представлена схема данного автоэнкодера.

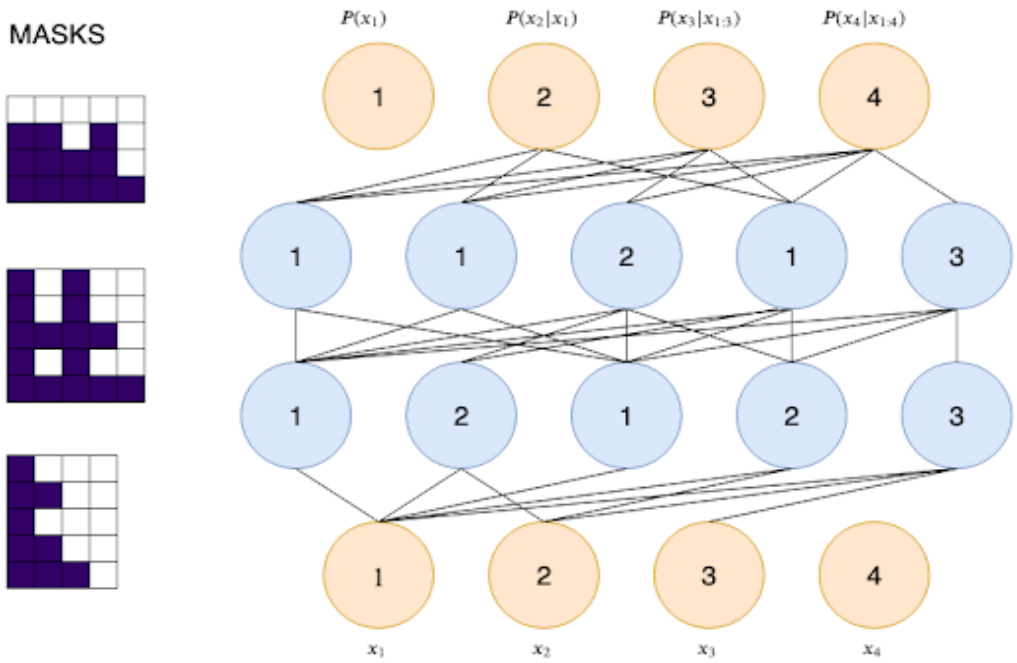


Рис. 3. MADE автоэнкодер (схема) [8]

У этой архитектуры автоэнкодера есть значительный плюс. Он заключается в том, что можно устанавливать условную вероятность разными способами, и таким образом получать ансамбль моделей. Ансамбль из MADE автоэнкодеров работают с точностью 70 - 94 % в зависимости от класса по метрике AUC [9].

Эмбеддинг с предпоследнего слоя классификатора

Эмбеддинг – высокоуровневая информация о объекте. Например: спектрограмма звука музыкального инструмента - низкоуровневая информация, а информация о том, какой инструмент звучит на данной спектрограмме - высокоуровневый признак. В контексте данной статьи, эмбеддинг - выход с предпоследнего слоя нейронной сети.

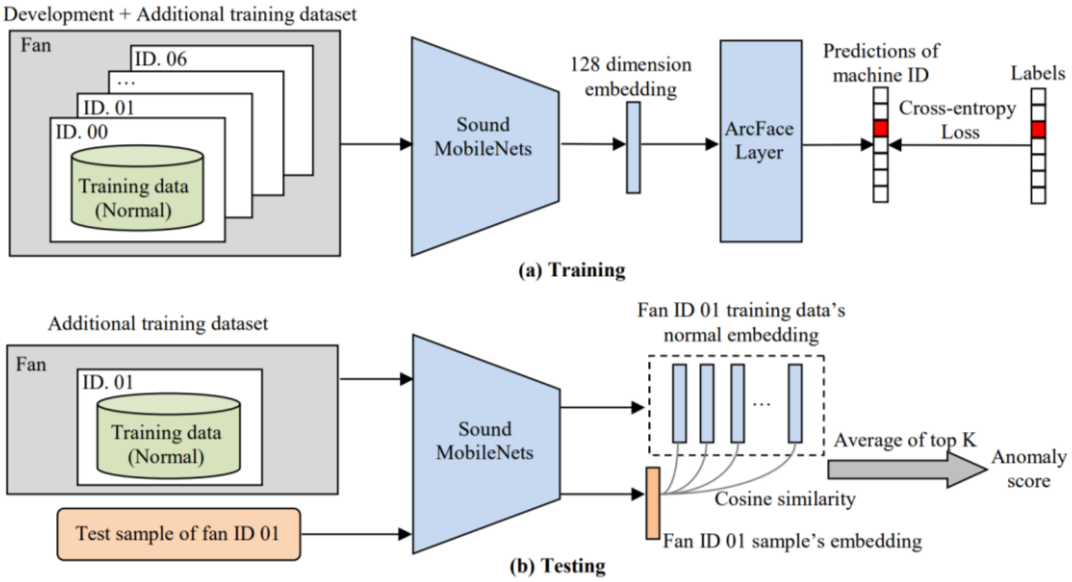


Рис. 4. Иллюстрация подхода использования классификатора для детектирования аномалий [10]

Подход на рис. 4 заключается в том, что обучается классификатор на наборе данных с различными классами или используется уже предобученный классификатор на различных спектрограммах. Далее на тестовых данных получают эмбеддинги, после чего рассчитывается расстояние от него до центра кластера нормальных данных, которые были использованы при обучении, для соответствующего класса. На данном рисунке указано косинусное расстояние, хотя можно использовать и другие. Данный подход дает точность в 64-99 % в зависимости от класса по метрике AUC (таблица).

Таблица

Сравнение методов ансамбля автоэнкодеров и эмбеддингов с классификатора по метрикам AUC и pAUC

Тип механизма	Ансамбль из MADE автоэнкодеров		Эмбеддинг с классификатора	
	AUC, %	pAUC, %	AUC, %	pAUC, %
Машинка	80,20	69,70	93,99	89,23
Конвеер	75,10	61,30	64,83	57,23
Вентилятор	70,30	53,20	88,12	83,12
Насос	74,96	65,92	91,59	81,52
Ползунок	94,00	83,00	99,99	99,95
Клапан	93,36	76,15	92,98	84,56

Выводы

В рамках работы был проведен обзор существующих методов детектирования аномалий. Из представленного обзора можно сделать вывод, что существует несколько различных подходов для решения данной задачи. Данные методы будут актуальны и полезны для сферы детектирования аномалий в звуковых данных. По итоговой таблице можно сделать вывод, что использование эмбеддингов с классификатора является более точным методом для детектирования аномалий по метрикам AUC и pAUC, чем использование ансамбля из MADE автоэнкодеров, тем не менее для класса конвеер ансамбль MADE автоэнкодеров показал более точный результат.

Литература

1. DCASE 2020 task 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dcase. community/ challenge2020/task-unsupervised-detection-of-anomalous-sounds (дата обращения: 23.04.2022).
2. Shaomin Wu, Peter Flach. A scored AUC Metric for Classifier Evaluation and Selection // Department of Computer Science, University of Bristol, School of Construction Management and Engineering, The University of Reading 2005. pp. 1-6.
3. Muhammad Huzaifa. Comparison of Time-Frequency Representations for Environmental Sound Classification using Convolutional Neural Networks // Arxiv 2017. pp. 1-5.
4. Dor Bank, Noam Koenigstein, Raja Giryes. Autoencoders / Arxiv 2021. pp. 1-22.
5. Building Autoencoders in Keras 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://blog.keras.io/building-autoencoders-in-keras.html (дата обращения: 23.04.2022).
6. Ritwik Giri, et al. Unsupervised anomalous sound detection using self-supervised classification and group masked autoencoder for density estimation / Technical Report DCASE 2020. pp. 1-4.
7. Mathieu Germain, Karol Gregor, Iain Murray, Hugo Larochelle. MADE: Masked Autoencoder for Distribution Estimation / Arxiv 2015. pp. 1-10.
8. Ritchie Vink [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. ritchievink.com/ blog/2019/10/25/distribution-estimation-with-masked-autoencoders (дата обращения: 04.05.2022).
9. Ritwik Giri, Fangzhou Cheng, Karim Helwani, Srikanth V. Tenneti, Umut Isik, Arvindh Krishnaswamy. Group masked autoencoder based density estimator for audio anomaly detection / Amazon Web Services 2020. pp. 1-5.
10. Qiping Zhou. Arcface based sound mobilenets for DCASE 2020 task 2 / Technical Report DCASE 2020. pp. 1-3.

УДК 004.03

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ NOSQL И SQL СУБД

Е.М. Куприянчик
Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.В. Зудилова
Университет ИТМО
e-mail: kleila800@gmail.com

Аннотация
В работе исследуются реляционные (SQL) и нереляционные (NoSQL) СУБД. Приводится сравнение параметров данных, хранимых в БД, указанных типов СУБД, которые могут оказывать влияние на выбор подходов к разработке ПО.
Ключевые слова
Реляционные СУБД, нереляционные СУБД, разработка ПО, база данных.

Введение

В настоящее время объем рынка российского корпоративного программного обеспечения растет, так, например, по итогам 2020 года он вырос на 6,7% по сравнению с 2019 годом. При этом в 2022 году были определены Правительством РФ меры поддержки ИТ-сферы, в частности, в области разработки ПО, что приводит к неуклонному росту разработок различных систем автоматизации, где для обеспечения полной функциональности информационных систем необходимы БД и системы управления базой данных (СУБД). В настоящее время актуальными являются вопросы выбора определенного типа СУБД, так как от данного выбора зависят алгоритмы решения ряда задач и качество их решения на предприятиях.

Основная часть

Рассмотрим преимущества и ограничения, присущие реляционным и нереляционным подходам.

Преимущества реляционного подхода

Для работы с данными используется язык запросов SQL, что обеспечивает простоту перехода с одной системы на другую [1]. При этом язык SQL позволяет анализировать данные, то есть кроме извлечения, чтения, создания и обновления данных можно их исследовать и обрабатывать. Помимо прочего, в реляционных СУБД обеспечивается целостность данных за счет поддержки ACID-требований [2].

Ограничения реляционного подхода

Возникает сложность масштабирования данных по горизонтали [3]. Реляционная СУБД предназначена для работы со структурированными данными, которые могут быть представлены только в виде двумерных таблиц, что ограничивает представление ряда предметных областей, которые не всегда можно представить в виде набора таблиц, то есть логическое проектирование может привести к множеству таблиц, что усложняет структуру данных. При этом при использовании реляционного подхода необходима тщательная подготовка, то есть создание схемы БД и определение типов данных должны выполняться заранее [4]. Прежде чем приступить к непосредственной разработке БД, необходимо проанализировать предметную область, затем спроектировать логическую и физическую модели. Как правило, трудно вносить изменения в структуру данных из-за жесткой схемы БД.

Преимущества нереляционного подхода

Одним из основных преимуществ использования NoSQL технологии является ее гибкая масштабируемость по горизонтали. При данном подходе характерны гибкие схемы БД, благодаря которым приложение можно реализовывать поэтапно. В частности, ввиду использования динамических схем данных можно иметь в БД два документа разной структуры. Такая схема позволяет легко добавлять и удалять поля. Нереляционные СУБД подходят для хранения слабоструктурированных и неструктурированных данных. Данные можно хранить в виде документов, пары «ключ-значение», графов или широких столбцов [5]. Помимо прочего, такие системы позволяют объединять объекты и хранить их вместе, что создает возможность при запросе получать весь объект, и нет необходимости собирать и объединять информацию. Нереляционные решения позволяют использовать процедуру репликации и помогают добиться большей отказоустойчивости и масштабируемости системы. Такие системы используют свои собственные API-методы для работы с данными [6], что в ряде случаев становится намного проще, чем язык запросов SQL.

Ограничения нереляционного подхода

Приложение сильно «привязывается» к конкретной СУБД, так как такая система использует свои API для работы с данными. Отсутствуют функции бизнес-аналитики и аналитики. Используется принцип «согласованности в конечном итоге», из-за которого пользователь может получить временные, устаревшие или частично обновленные данные. Схему БД не требуется проектировать заранее, что при дальнейшей разработке может привести к непредвиденным трудностям и отказу от данного решения.

Ниже в таблице приведены сравнительные характеристики параметров SQL и NoSQL СУБД, которые требуется учитывать при разработке ПО.

Таблица

Сравнительная характеристика параметров SQL и NoSQL СУБД

Характеристика	SQL	NoSQL
Схема БД	Жесткая	Динамическая
Модель хранения данных	Таблицы с фиксированными строками и столбцам	JSON-документы, пары ключ-значения, таблицы со строками и динамичными столбцами, графы с узлами и рёбрами
Данные	Структурированные	Неструктурированные, слабоструктурированные, структурированные
Доступ к данным	SQL	Собственные API
Масштабируемость	Вертикальная	Горизонтальная
Поддержка ACID-требований	Есть	Нет
Поддержка принципов BASE	Нет	Есть
Функции бизнес-аналитики и аналитики	Есть	Нет
Необходимость в объединении таблиц	Требуется	Не требуется
Запросы на создание/изменение таблиц/документов, чтение, вставку данных	Есть	Есть

На основании представленных в Таблице параметров реляционной и нереляционной СУБД можно предложить следующие рекомендации по их использованию.

Реляционную СУБД лучше выбирать в следующих случаях:

- имеются заранее определенные логические требования к данным;
- необходимо обеспечить целостность данных в системе;
- необходимо использовать стандарт, который хорошо себя зарекомендовал (например, MySQL);
- имеется команда с достаточным опытом работы и хорошая техническая поддержка;
- возможен быстрый переход с одной СУБД на другую.

Нереляционную СУБД следует выбирать в случаях:

- к данным не предъявляются определенные требования;
- систему необходимо разрабатывать быстро, но при этом данные могут со временем корректироваться;
- необходима огромная скорость обработки и хорошая масштабируемость.

Перейдём к характеристикам СУБД, которые влияют на разработку программного обеспечения. К ним можно отнести:

- тип модели данных;
- модель данных должна быть адекватна рассматриваемой предметной области;
- запас функциональных возможностей выбранной СУБД;
- надежность и поддержка СУБД;
- возможность хорошего масштабирования.

Если неправильно подобрать тип СУБД, то это может привести к тому, что увеличится время разработки системы, либо функционал системы будет реализован не весь. Кроме того, выбор СУБД может повлиять на дальнейшее масштабирование системы. Не стоит забывать и про дальнейшую разработку запросов для извлечения, модификации и добавления данных. Также выбор может повлиять на тщательность подготовки перед разработкой программного обеспечения, или же, наоборот, систему можно будет разрабатывать прямо сейчас и поэтапно.

Заключение

В заключении стоит отметить, что реляционные СУБД не всегда удовлетворяют потребностям разработчиков при работе с большими данными, что влияет на увеличение популярности нереляционных решений. Также при использовании реляционного подхода необходимо более тщательно подготовиться перед тем, как приступить к разработке системы, потому что структуру данных необходимо определить заранее. В свою очередь, при использовании NoSQL-подхода необходимость в тщательном проектировании БД отпадает, так как при таком подходе используются гибкие схемы, которые позволяют разрабатывать систему поэтапно.

Литература

1. Кара-Ушанов В.Ю. SQL – язык реляционных баз данных: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2016. 156 с.
2. Wajid Ali, Muhammad Usman Shafique, Muhammad Arslan Majeed, Ali Raza Comparison between SQL and NoSQL Databases and Their Relationship with Big Data Analytics // Asian Journal of Research in Computer Science. 2019. Vol. 201. No. 4(2). P. 1-10.

3. Марк Дрейк. Знакомство с реляционными базами данных [Электронный ресурс]. 2020 Режим доступа: https://www.digitalocean.com/community/tutorials/understanding-relational-databases-ru (дата обращения: 02.02.2022).
4. Илюшечкин В.М. Основы использования и проектирования баз данных: учебник для академического бакалавриата. М.: Юрайт. 2019. 213 с.
5. Робинсон Ян, Вебер Дж., Эифрем Э. Графовые базы данных: новые возможности для работы со связанными данными / пер. с англ. Рагимова Р.Н.; науч. ред. Кисилев А.Н. 2-е изд. М.: ДМК Пресс. 2016. 256 с.
6. Якушин А.Ю., Муковозов А.М., Исмоилов М.И. Сравнительный анализ реляционной базы данных и документоориентированной NoSQL базы данных в разрезе их применения при создании локального чата/мессенджера // ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА. 2018. №4. С. 73-84.

УДК 004.932.2

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ЛИЦА НА ОСНОВЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ МОДЕЛИ PDM ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

П.А. Леонтьева
Университет ИТМО
e-mail: polinleonteva@gmail.com

Аннотация
Построена модель определения ключевых точек лица. В основе работы лежит предсказание главных компонент для модели распределения точек (PDM). В отличии от существующих методов, предлагается для определения значений главных компонент использовать сверточную нейронную сеть. Полученная в результате модель позволяет учитывать связи между ключевыми точками лица и избегать нежелательных отклонений/выбросов. Сделаны выводы относительно возможности дальнейших исследований.

Ключевые слова
Ключевые точки, сверточные нейронные сети, метод главных компонент, модель распределения точек, биометрия лица.

Проблема сопоставления изображений – это одна из передовых областей развития лицевых биометрических систем. На данный момент существует несколько вариантов решения. Непосредственно прямое сопоставление фотографий. Оно осуществляется путем выполнения преобразований, которые приводят большинство пикселей картинки к одинаковым значениям. Однако данный метод не инвариантен относительно масштаба, света и точки, откуда производилась съемка.

Для решения этой проблемы существуют методы, основанные на поиске ключевых точек на изображении. В ходе анализа вычисляются характеризующие объект значения. Это могут быть координаты некоторых значимых для конкретной задачи объектов: расположение центров глаз, формы рта, суставов скелета. Применение ключевых точек зависит от задачи: для получения из изображения конкретной области для анализа (Lip reading [1], Eye tracking и т.д.) или для извлечения характеризующих признаков (SURF, SIRF [2]).

Существующие детекторы сталкиваются с проблемой устойчивости к искажению изображения, а именно вращение, смещение, положение камеры, размер изображения, яркость. В случае если ключевые точки определяются некорректно, то полученное после выравнивания по ним изображение будет отличаться от остальных, что приводит к увеличению ошибки распознавания. В дополнение к этому, не учитывается связь между ключевыми точками, что может приводить к нежелательным выбросам и к невозможным в реальной жизни положениям ключевых точек относительно друг друга.

Поэтому в настоящее время задача поиска метода для практического применения решения так актуальна для распознавания лиц. Это ставит исследователей перед необходимостью поиска актуального для практического применения решения особенно в рамках задачи распознавания лиц на изображении.

В работе проблему устойчивости ключевых точек предлагается решить, при помощи модели распределения точек (Point Distribution Model) [3]. Модель позволяет описать изменение формы объекта на основе некоторого входного набора данных, которых ей подают при тренировке.

Имея обучающий набор данных, мы можем представить любую часть данных (т.е. семпл) из набора при помощи среднего семпла и добавки в виде вектора главных компонент с заданными коэффициентами:

$$X' = \bar{X} + Pb. \quad (1)$$

Приведенное выражение (1) означает, что форма может быть выражена как сумма базовой формы и линейной комбинации собственных форм, содержащихся в матрице. Изменяя вектор параметров b, мы можем получать разного рода деформации формы для подгонки ее под реальное изображение. Поскольку в данной модели учитывается взаимосвязь точек из входного набора данных, то тем самым обеспечивается их устойчивость к выбросам и корректность положения относительно друг друга.

Однако для начала необходимо нормализовать положение всех форм для того, чтобы компенсировать различия в масштабе, наклоне и смещении. Для этого используется так называемый обобщенный Прокрустов анализ.

Построение PDM модели тесно связано с методом главных компонент (PCA). Представленный в данной научной статье метод является ортогональным линейным преобразованием. Его главная особенность заключается в отображении исходных данных пространства признаков в некоторое пространство, но меньшей размерности. Строящаяся первая ось на новой системе координат, позволяет максимизировать дисперсию. Последующая ось выстраивается строго ортогонально предыдущей максимизируя дисперсию их оставшихся возможных. Таким образом, наибольшая изменчивость входного набора некоторых данных отражается в первоначальной компоненте, а далее по убыванию в следующих компонентах.

На рис. 1 представлена программная реализация PDM. Демонстрируется построение ключевых точек по усредненным значениям пяти первых главных компонент.

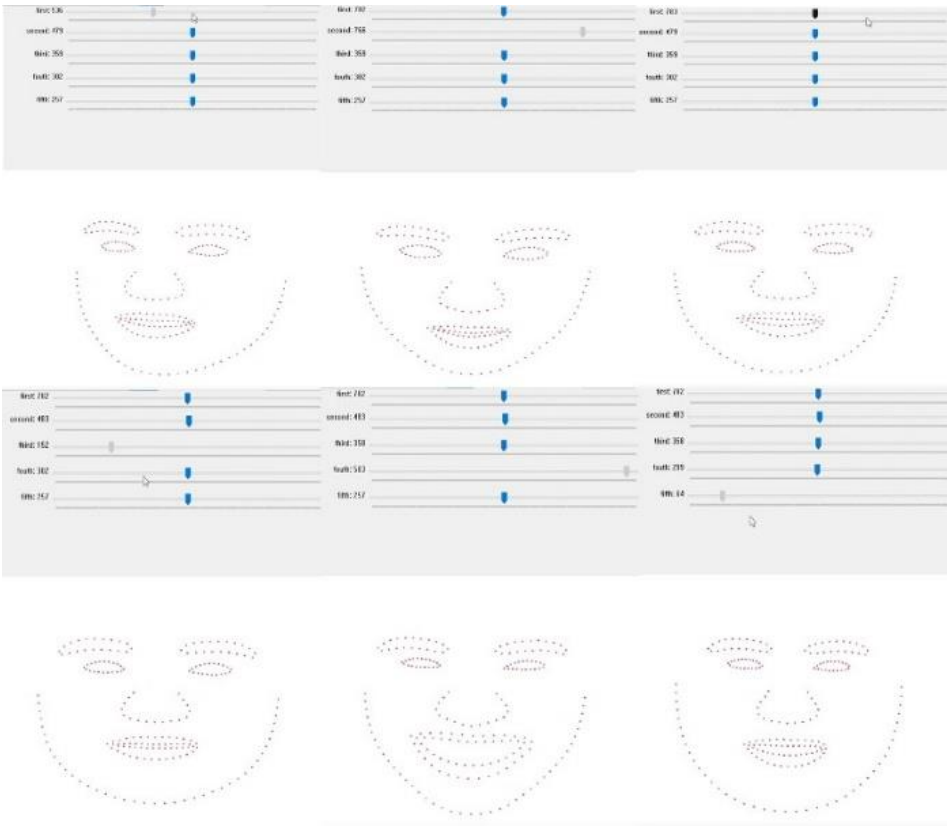


Рис. 1. PDM модель. Зависимость искажения модели от пяти первых главных компонент

Отображается влияние пяти главных компонент на искажение и наклон лица. Первая соответственно отвечает за поворот головы, вторая за наклон, третья за ширину, четвертая за эмоцию, пятая за расстояние между частями лица.

Основное отличие рассматриваемого в данной работе подхода заключается в том, что для предсказания коэффициентов используется свёрточная нейронная сеть. В результате исчезает необходимость предварительно применять алгоритмы выделения границ и итерационные подходы. Ввиду доступных на данный момент мобильных архитектур нейронных сетей это позволяет существенно повысить производительность методов.

Рис. 2 демонстрирует архитектуру нейронной сети, выбранной для экспериментов. Была взята ResNet-50.

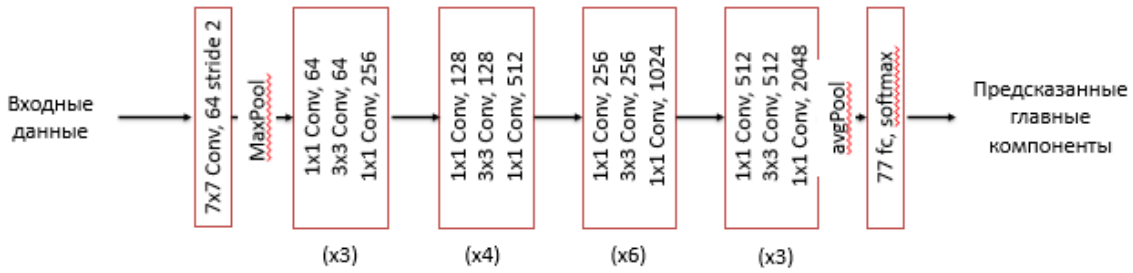


Рис. 2. Архитектура нейронной сети ResNet-50

Она имеет более 23 миллионов обучаемых параметров. В качестве функции потерь был использован MSE (Mean squared error). Обучение выполнялось на датасете HELEN, который содержит 194 лендмарки и 2300 фотографий. Для обучения были выбраны 2000 фотографий, на 300 происходит валидация. Предварительно до самого обучения датасет приводится к нормальному виду поворотом, масштабированием.

Нормирование функции потерь приводилось к единице. Рис. 3 представляет результаты функции потерь.

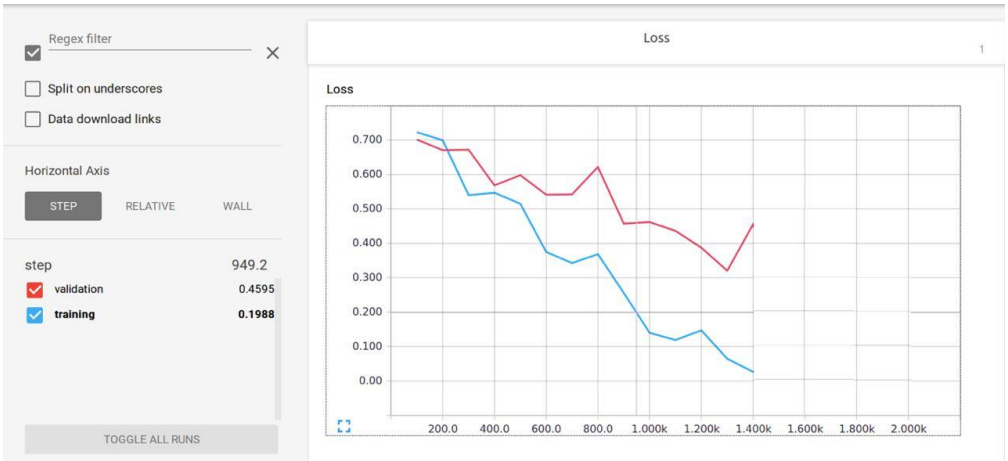


Рис. 3. Результат функции потерь по результатам обучения и валидации модели

Как можно заметить, на 1300 примерно итерации валидации началось переобучение. Поэтому обучение остановилось на данном этапе.

Проводилось несколько экспериментов с разным количеством главных компонент. Оптимальными для сравнения были выбраны 30, 60, 120 и 180 главных компонент эмпирическим способом. Из рис. 4 видно, что при меньше, чем 120 главных компонент модель плохо справляется с распознаванием. Поэтому было выбрано оптимальное число 120 для продолжения экспериментов.

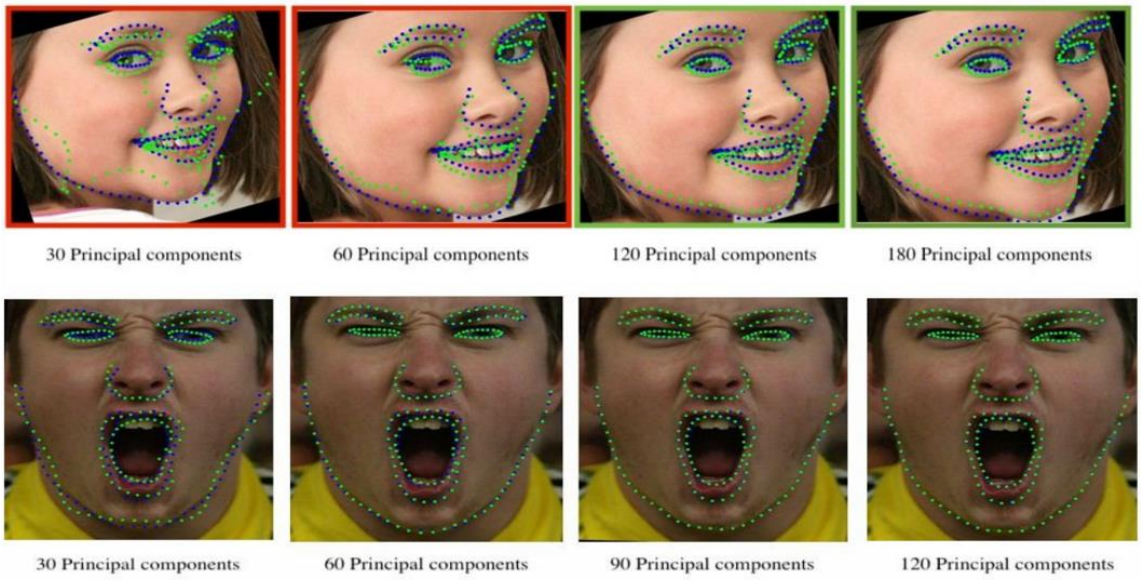


Рис. 4. Зависимость построения модели от количества главных компонент

Предложенная модель позволяет учитывать взаимосвязь между ключевыми точками и обеспечивает большую робастность точек к выбросам и некорректным смещениям. При применении с мобильной архитектурой сверточной сети позволяет также обеспечить хороший уровень производительности, несмотря на необходимость большого разнообразия обучающих семплов для построения PDM модели. Данная модель может применяться для получения ключевых точек лица для задач распознавания лиц.

Литература

1. Mingfeng H., Mutallip M., Nurbiya Y., Alimjan A. and Kurban U. A Survey of Research on Lipreading Technology // IEEE Access. 2020. V. 8. P. 204518-204544.
2. Huang Xu, Huang X., Wan Xue, Wan X. and D. Peng. Robust Feature Matching with Spatial Smoothness Constraints // Remote Sensing. 2020. V. 12. № 19. doi.org/10.3390/rs12193158.
3. Cootes T.F., Taylor C.J., Cooper D.H., J. Graham. Active Shape Models-Their Training and Application // Computer Vision and Image Understandin. 1995. V. 61. № 1. P. 38-59.

УДК 004.42

ПРИМЕНЕНИЕ ИКТ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МЕДИА: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Н.С. Лещук
Научный руководитель – старший преподаватель А.З. Арсеньева
Университет ИТМО
e-mail: 334751@niuitmo.ru

Аннотация
В работе произведен анализ программных средств визуализации с использованием интеллектуального анализа данных, касательно применения в аналитике данных, в частности бизнес-аналитике. Были рассмотрены стадии общего случая ИАД, обозначена роль визуализации в цифровых медиа, приведены методы ее реализации. Произведено сравнение характеристик зарубежных и отечественных BI-инструментов, используемых в процессе принятия решений организациями.

Ключевые слова
Цифровые медиа, визуализация, интеллектуальный анализ данных (ИАД), инфокоммуникационные технологии (ИКТ), программные инструменты, бизнес-аналитика (BI).

Введение

Внедрение инфокоммуникационных технологий в цифровые медиа расширило способы реализации их применения для удовлетворения потребностей общества, в том числе информирования и разработки средств межличностной коммуникации. Важную роль в определении понятия «цифровые медиа» играет культурное и социальное развитие, которое воплощается в понятии «грамотность».

«Информационная грамотность» возникла в 1970-х годах благодаря библиотекам и первому использованию компьютеров в классах, а «цифровая грамотность» появилась в 1990-х годах, когда Интернет превратился в средство коммуникации [1]. С этого времени цифровизация все больше формирует коллективное мышление современных обществ. Следовательно, «цифровая грамотность» содержит в себе не только овладение техническими навыками, но и инкультурацию.

Цифровой носитель может быть носителем, содержание которого представлено в машиночитаемой форме или чьи методы производства и распространения включают информационные технологии различного рода. Формируется главное определение, что цифровые медиа – это сочетание технологий и контента, сгенерированного при помощи цифровых средств.

Главным примером в XXI веке является пользование Интернетом, информационно-коммуникационная сеть или всемирная система объединённых компьютерных сетей для хранения и передачи информации. Почти 60% людей во всем мире использует Интернет, а за год с 2020–2021 количество пользователей увеличилось на 7,3% [2]. Касаемо России уровень проникновения Интернета в повседневную жизнь на январь 2021 года составил 85%, а социальными сетями пользуются 67,8%, что составляет около 99 миллионов человек [2]. С помощью цифровых технологий мы не только в момент можем узнать любую информацию или отправить сообщение, но и сделать денежный перевод или собрать аналитику для интернет-бизнеса [4].

Основная часть

Популяризация цифровых медиа приводит к увеличению электронных данных, которые следует обрабатывать с помощью интеллектуального анализа и представлять их в новом виде для дальнейшей работы. Главной целью любой коммерческой компании является получение прибыли, для этого следует вести отчетность и анализировать данные, чтобы делать выводы о деятельности бизнеса и его успешном развитии. Информация, которая используется в принятии решений, собирается различными методами, помещается в хранилище, а далее обрабатывается с применением современных программных средств анализа данных и полученный результат визуализируется для дальнейшего принятия решений. Более наглядно данный процесс продемонстрирован на рис. 1.

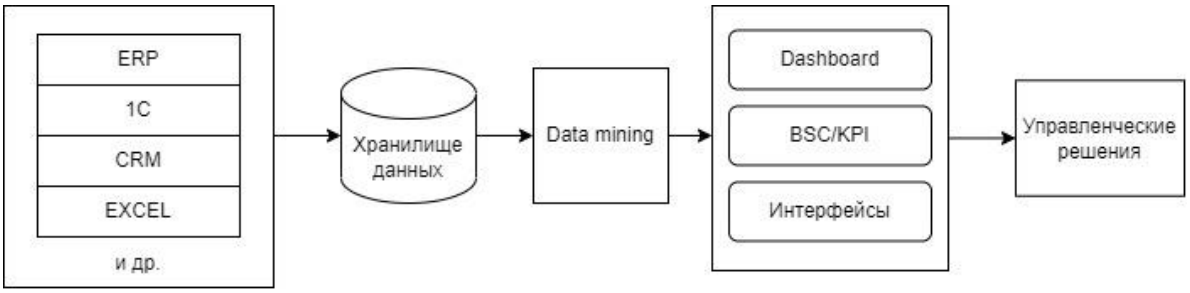


Рис. 1. Процесс обработки информации для принятия решений

Интеллектуальный анализ данных (ИАД), Data mining (в переводе на русский «добыча данных», «глубинный анализ данных») – это совокупность методов, включающих в общем случае поиск закономерностей, дальнейшее прогнозирование и выявление аномалий в больших наборах данных [3]. Большинство методов ИАД работают с электронными таблицами, также информация может храниться в виде баз данных или информационных хранилищ. Перед использованием данные нужно подготовить: убрать повторяющиеся значения, обозначить типы данных, определить набор параметров.

С каждым годом ИАД внедряется в большее количество сфер, в основном, где происходит цифровая трансформация. На интеллектуальном анализе данных работают рекомендательные системы, например, в интернет-магазинах совершается автосборка корзин заказов или предложение товаров по предпочтениям, на образовательных платформах строится индивидуальной траектории обучения.

Визуализация данных

В разработке программ для цифровых медиа одним из наиболее важных акцентов ставится на визуализацию обрабатываемой информации. После обработки и анализа данных их следует представить в комфортном для пользователя виде. Визуальные методы используются в дальнейшем анализе, позволяют увидеть закономерности и участвуют в процессе принятия управленческих решений. Программные инструменты на базе инфокоммуникационных технологий используются для сбора, агрегирования, визуализации и даже предсказывания дальнейших результатов.

Визуализация – это метод предоставления абстрактной информации в форме, удобной для зрительного восприятия, анализа явления или числового значения [5].

Программное обеспечение для визуализации варьируется от создания интеллект-карт (MindMap) до интерактивных дашбордов. Именно в последнем инструменте можно воплотить несколько методов, описанных выше, и чаще всего его используют в аналитике, в том числе и бизнес-аналитике.

Визуализация может использоваться для исследования, где изначально ответ неизвестен, его требуется предсказать, используется в области аналитики данных и Data

Science с использованием Machine Learning (ML) на базе языков программирования R, Python и других. Таким образом, может быть решена одна из задач визуализации, которая состоит в том, чтобы убедить людей в выводах и продемонстрировать их в визуальной форме. Следует задать цель исследования, предсказать и показать диапазон возможных результатов.

BI-аналитик помогает бизнесу принимать решения на основе данных, выявляя тенденции, закономерности и определяет, как компании увеличить прибыль, производительность и другие важные метрики. Следовательно, решается другая задача визуализации – показать тенденции изменения результатов и помочь сделать выводы.

Задачей BI (Business intelligence) является обработка большого количества данных, делая акцент на факторах эффективности и позволяя увидеть результат различных вариантов действий, что помогает в процессе принятия решений. BI-аналитик собирает информацию из разных источников в одном месте, анализирует её с помощью программных инструментов и представляет выводы в виде отчетов. Существует 3 основных вида отчетов: оперативные (таблицы, например, в MS Excel), аналитические (интерактивные дашборды, BI-инструменты) и стратегические (картография, презентации, с использованием инфографики). В зависимости от типа варьируется содержание и методы визуализации.

Главным инструментом BI является дашборд (dashboard) – это интерактивная информационная панель, которая наглядно представляет, визуализирует, объясняет и анализирует различные типы данные, импортируемые в виде таблиц из хранилищ. В дашборд входят различные методы визуализации данных, такие как: диаграммы и графики, облака слов, карты и иерархические деревья, с текстовым и цветовым сопровождением.

Рынки BI, науки о данных, машинного обучения (DSML), облачных данных и аналитики продолжают сближаться, часто в форме интеллектуальных компонуемых приложений для клиентов. Поставщики вынуждены улучшать свои аналитические возможности, одновременно помогая своим клиентам поддерживать баланс между контролем и гибкостью, поскольку их платформы масштабируются для нескольких пользователей, расширенных аналитических возможностей, разнообразных данных и новых вариантов использования.

Современные платформы аналитики и бизнес-аналитики позволяют пользователям создавать рабочие процессы и приложения с минимальным или нулевым кодом. Облачные экосистемы и совместимость с инструментами цифрового рабочего места являются ключевыми факторами выбора. Это исследование помогает лидерам в области данных и аналитики планировать и выбирать эти платформы.

Каждый год компания Gartner проводит исследования программных продуктов, которые позволяют получить представление об актуальной ситуации на рынке и выбрать для компании и своего бизнеса подходящий вариант. 22 марта 2022 года был представлен новый магический квадрант для платформ аналитики и бизнес-аналитики (рис. 2) [6].

Квадрант делится на 4 части, преимущественный акцент в индустрии ставится на Лидеров (Leaders). Они демонстрируют глубокое понимание ключевых возможностей продукта и успех клиентов, что и требуется покупателям на этом рынке. «Лидерами» оказались:

- Microsoft;
- Salesforce (Tableau);
- Qlik.

Претенденты (Challengers) - имеют хорошие возможности для достижения успеха на рынке, близки к Лидерам. Они ограничены конкретными вариантами использования, техническими средами или областями применения. Существенное отставание происходит с точки зрения эффективного маркетинга, каналов продаж, географического присутствия, отраслевого контента и инноваций. Главные «Претенденты»:

– Google;
– Domo.

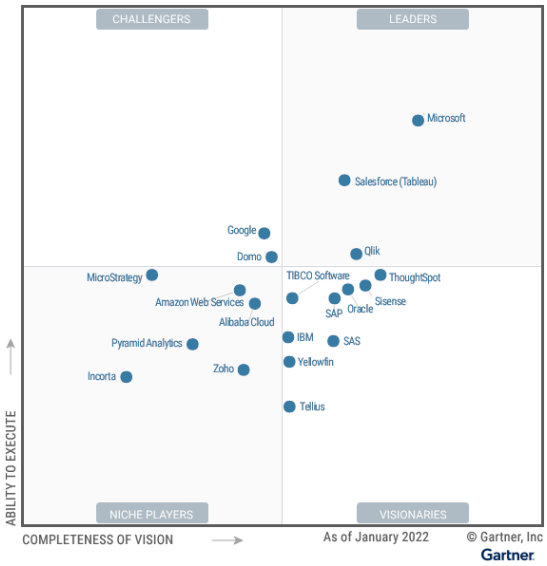


Рис. 2. Магический квадрант для платформ аналитики и BI

Все ПО, представленные в магическом квадранте, занимают значимое место на рынке, но Нишевые игроки (Niche Players) и Провидцы (Visionaries) выбираются исходя из необходимых функций и специфики сферы, являясь также актуальными в настоящий момент.

В связи с политической ситуацией в начале 2022 года большинство представленных лидеров на рынке отказались предоставлять лицензии своих продуктов для на территории России. Появилась потребность во внедрении отечественных продуктов для выполнения BI-аналитики. В таблице демонстрируется сравнение двух наиболее известных российских инструментов для бизнес-аналитики и зарубежных из квадранта «Лидеры» по измеряемым критериям, которые входят в критерии Gartner [6].

Таблица

Сравнение зарубежных и отечественных систем бизнес-аналитики (BI)

Критерий	BI-инструмент			
	Microsoft Power BI, США	Salesforce (Tableau Desktop), США	Visiology, Россия	Yandex DataLens, Россия
Поддерживаемые языки	13 (русский, английский, испанский, итальянский, французский, немецкий, нидерландский, португальский, датский, шведский, арабский, китайский, японский)	5 (английский, испанский, немецкий, португальский, французский)	2 (русский и английский)	2 (русский и английский)

продолжение таблицы

Критерий	BI-инструмент			
	Microsoft Power BI, США	Salesforce (Tableau Desktop), США	Visiology, Россия	Yandex DataLens, Россия
Вид продукта	Программа	Система, интернет-сервис	Программа, система	Интернет-сервис
Развёртывание на различных аппаратных платформах	Персональный компьютер	Мобильное устройство, сервер предприятия, персональный компьютер, облако (SaaS)	Персональный компьютер, сервер предприятия	Облако (SaaS)
Поддерживаемые ОС и интерфейсы	Веб-браузер, Windows, iOS, Android	Веб-браузер, macOS, iOS, Windows, Linux, Android	Windows, Linux, macOS/iOS,	Веб-браузер
В зависимости от размера организации	Малый и Средний бизнес, НКО, Корпорация	ИП, Малый и Средний бизнес, НКО, Корпорация	Малый и Средний бизнес, ИП, Корпорация	Малый и Средний бизнес, ИП, НКО
Тарификация	Бесплатно, Ежемесячная оплата	Бесплатно, Ежемесячная оплата	По запросу Ежегодная оплата	Бесплатно, Ежемесячная оплата
Демо версия	нет	нет	есть	есть
Пробная версия	нет	есть	нет	есть
Расширенные возможности аналитики (ML)	поддерживает язык R, инструменты для прогнозирования, кластеризации и деревья решений	поддерживает язык R и Python, инструменты для кластеризации и прогнозирования	Python, C#, JS, есть возможность прогнозирования	Нет прогнозирования
Возможности облака, совместимость	совместим с Microsoft Azure, требует учетную запись	совместим с надежными облачными платформами, такими как Microsoft Azure, Amazon Web Services и т. д.	не может использоваться из публичного облака (SaaS)	Yandex Cloud Marketplace
Пределы хранения по подписке	до 10 ГБ, можно увеличить за доп. плату	до 100 ГБ хранилища данных в облаке	До 10 ГБ, но не более 10млн строк в датасете, в серверной версии до 1 ТБ	DataLens нет ограничения на объем данных в источнике, до 75000 строк в 1 датасете, Максимальный размер CSV-файла - 200 МБ

Вывод

В результате сравнения видно, что программные продукты российских производителей имеют существенные ограничения, влияющие на масштабирование системы. Для постоянной эксплуатации большими корпорациями требуется наибольший объем хранилищ и размер допустимых строк в файлах. В большинстве примеров тарифные планы специализируются под конкретные запросы рынка, но не универсальны. В зарубежных аналогах таких ограничений нет, поэтому строковые пределы не вносились в таблицу. Но для задач малого и среднего бизнеса отечественные продукты активно используются и имеют разнообразие тарифов для облачного и сервисного пользования, например, Visiology имеет 4 серверных тарифа, в том числе для корпоративной платформы с объемом 1 ТБ. Данный обзор полезен для выбора подходящего программного инструмента ведения интерактивных отчетов посредством BI.

Заключение

В заключении стоит отметить, что внедрение технологий для обработки и визуализации информации для цифровых медиа модернизирует представление данных, тем самым позволяя стимулировать прогресс в сферах жизни, например, от составления учебных опросов или интеллект-карт (MindMap) до построения интерактивных дашбордов.

Применение ИКТ для визуализации данных с применением ИАД позволяет:

- ускорить рабочие процессы;
- увидеть закономерности, паттерны;
- проверить систему на адекватность;
- создать визуализацию в реальном времени или модель процесса в будущем, что используется в обучении моделей и в задачах прогнозирования в области Data Science;
- демонстрировать отчетность в простой для понимания форме, с помощью BI-инструментов, чтобы быстрее принимать решений об управлении бизнесом, что стимулирует его развитие.

Основным достоинством является представление информации в удобном и комфортном для пользователя виде, что повышает эффективность ее восприятия для дальнейшего использования.

Нельзя не отметить и недостатки. Главный недостаток – это неопределенность, то есть недостаток определения данных. Также появляются вопросы о когнитивном восприятии, которые выражаются в неточном представлении или недостоверности [7]. Кроме того, требуется заранее подготовить и обработать исходные данные, чтобы избежать искажений результатов.

При анализе зарубежных и отечественных программных средств по одним критериям было выявлено отставание российских разработок. В основном проблема с оптимизацией хранилища для больших документов (более 10млн. строк) и нет совместимости с большинством облачных систем, а также возможности интеграции машинного обучения в аналитику.

В дальнейшем планируется исследование данных продуктов в работе на конкретном наборе данных, чтобы определить положительные и отрицательные тенденции работы, а также специфику конкретного ПО. Разработать рекомендации для доработки и внедрения отечественных разработок в конкретные сферы.

Литература

1. Bateman J.A. What are digital media? // Discourse, Context & Media. 2021. (41). P. 16.

2. Measuring digital development: Facts and figures 2021. Committed to connecting the world. [Электронный ресурс]. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx (дата обращения: 27.01.2022).
3. Parsaye K.A. A Characterization of Data Mining Technologies and Processes // The Journal of Data Warehousing. 1997. P. 1–22.
4. Алексеева Т.В., Америди Ю.В., Лужецкий М.Г. Информационные аналитические системы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Алексеева Т.В., Амириди Ю.В., Лужецкий М.Г., Дик В.В. и др.; под ред. Дика В.В. Москва: МФПУ Синергия. 2018. 384 с. (Университетская серия). ISBN: 978-5-4257-0092-6. Текст: электронный. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21260998 (дата обращения: 24.03.2022).
5. Берченко Д.А. Аналитический обзор методов визуализации данных / Берченко Д.А., Круг П.Г. // Евразийский Научный Журнал. №5. 2017. Режим доступа: http://journalpro.ru/pdf-article/?id=8506. (дата доступа: 15.01.2022).
6. Gartner research: Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms [Электронный ресурс]. URL: https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2955ETOT&ct=220215&st=sb (дата обращения: 28.03.22).
7. Афанасьев А.А. Технология визуализации данных как инструмент совершенствования процесса поддержки принятия решений // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». № 4. 2014. [Электронный ресурс]. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2619. (дата обращения: 28.03.22).

УДК 004.83

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУРРОГАТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ COVID-19 С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А.С. Матвеева
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент В.Н. Леоненко
Университет ИТМО
e-mail: alexandra_matveeva@niuitmo.ru

Работа выполнена в рамках проекта НИР №621301 «Совместное использование методов математического моделирования и машинного обучения для снижения ущерба от эпидемии COVID-19».

Аннотация
Проведен анализ методов суррогатного моделирования для оценки динамики распространения COVID-19 с учетом неопределенности. В результате исследования исходная популяционная SEIRD модель была заменена на регрессию гауссовского процесса, выступающую в качестве суррогата. Продемонстрирована возможность использования данного подхода для предсказания числа активных инфицированных в момент вспышки, дня наибольшей активности, а также полной динамики распространения инфекционного заболевания.

Ключевые слова
Суррогатное моделирование, популяционный подход, мультиагентный подход, регрессия гауссовского процесса, COVID-19, математическое моделирование.

Математическое моделирование широко применяется для описания поведения процессов реального мира. Эпидемиология не является исключением. В настоящее время существуют различные виды моделей оценки динамики распространения болезней, некоторые из них активно применяются для моделирования COVID-19.

Одним из самих распространенных методов является популяционный подход. Модели, построенные с использованием данного подхода, имеют упрощенную структуру, что дает возможность быстрой настройки на реальные данные. Но в случае учета дополнительных параметров, таких как неоднородность популяции или индивидуальные характеристики каждого агента, происходит значительное усложнение математического описания модели [1].

Для более детального описания процессов передачи вируса в популяции, а также для возможности учета индивидуальных параметров агентов была разработана мультиагентная модель распространения вирусов, которая также может быть применена для моделирования динамики процесса передачи COVID-19. Многопараметрическое описание индивидов требует использования детальных данных для калибровки модели, а также значительных вычислительных ресурсов. В силу наличия стохастических процессов для калибровки модели, а также проведения анализа неопределенности и чувствительности [2] необходимо проводить многократные запуски, что значительно сказывается на времени выполнения моделирования. Распараллеливание вычислений приводит к незначительному ускорению работы модели. Чтобы минимизировать трудоемкие вычислительные процессы, необходимые для проведения анализа, предлагается применить методы суррогатного моделирования [3]. Алгоритм использования суррогатов заключается в следующем: исходная модель (или ее часть) заменяется на суррогат и представляется в виде «чёрного ящика», в котором главной

проблемой является нахождение функции зависимости выходных данных от параметров, подающихся на вход модели.

В данном исследовании в качестве суррогата была использована модель регрессии гауссовского процесса [4] для минимизации времени работы SEIRD-модели, а также для демонстрации возможности оценки динамики распространения COVID-19 при различных наборах входных параметров.

В ходе выполнения работы путем многократного запуска исходной SEIRD-модели был сформирован набор данных с различными значениями входных параметров, диапазоны коэффициентов приведены в табл. 1. Для обучения и тестирования работы суррогата полная выборка (280 наборов) была поделена на обучающую и тестовую в соотношении 3:1.

Таблица 1

Диапазоны входных параметров модели

Параметр	Описание	Диапазон
R_0	Базовое репродуктивное число	[4,35; 5,0]
δ	Интенсивность перехода из состояния инкубационного периода в активную фазу	[0,5592; 1,0]

Модель предназначена для расчета следующих параметров:

– оценка пикового (максимального) числа инфицированных;
– оценка дня пиковой заболеваемости;
– оценка динамики протекания COVID-19.

На рис. 1 показан результат работы первой модели, а именно распределение ошибок предсказанных величин.

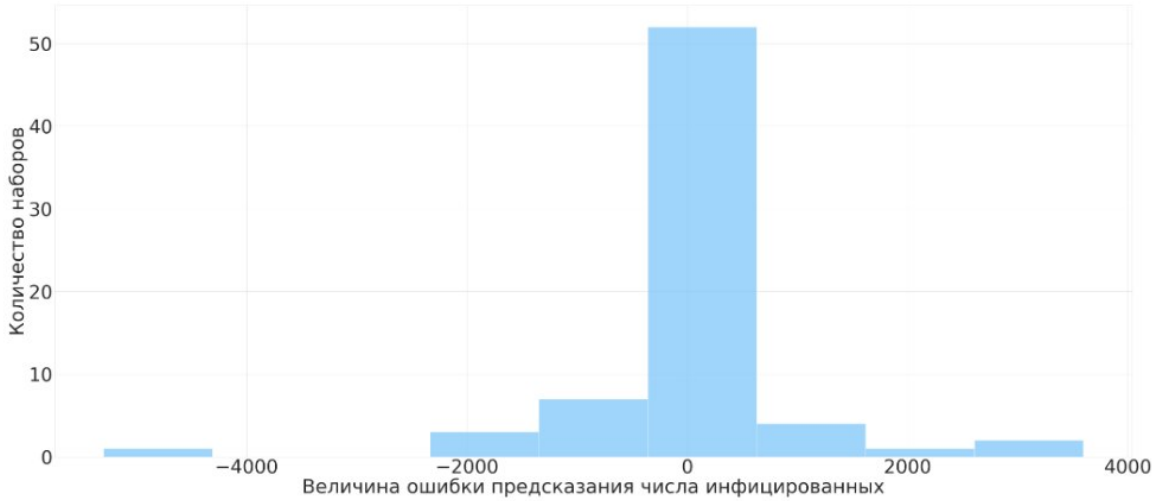


Рис. 1. Результаты оценки максимального числа инфицированных

Отрицательные значения демонстрируют, что рассчитанные показатели больше тестовых и наоборот. Видно, что на большем числе наборов модель выдает точный результат со следующими показателями качества:

- средняя абсолютная ошибка: MAE = 46,88;
- среднеквадратичная ошибка: RMSE = 1014,12;
- коэффициент детерминации: R^2 = 0,999.

На рис. 2 показаны результаты работы второй модели по предсказанию дня вспышки, данный суррогат также выдает удовлетворительные результаты на тестовом наборе данных со следующими показателями:

- MAE = 0,83;
- RMSE = 1,83.

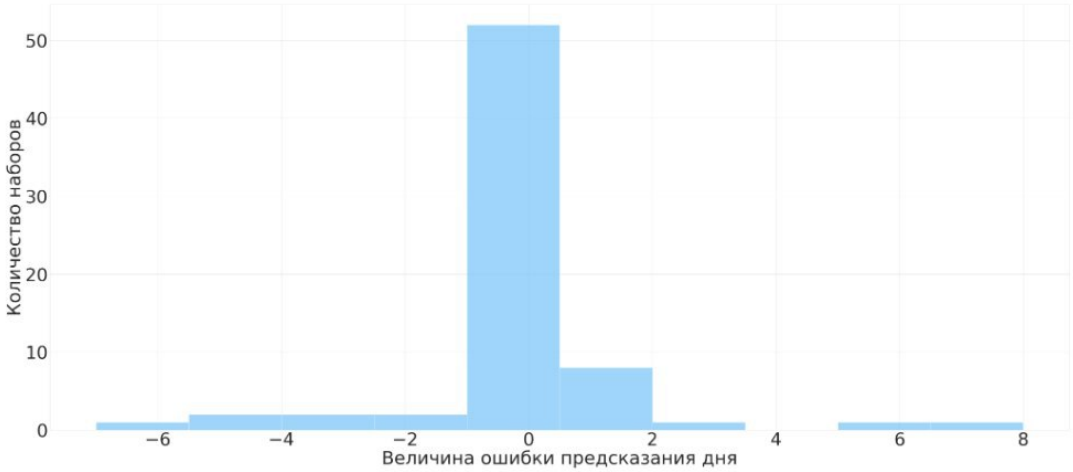


Рис. 2. Результаты оценки дня вспышки

Суррогатная модель, предназначенная для предсказания динамики протекания COVID-19 по набору входных параметров, была применена для нахождения такого набора исходных данных, при котором наиболее точно описывается динамика распространения. В данном случае возможны два варианта: динамика описывается наиболее точно, при этом число инфицированных в момент вспышки значительно завышено, что может быть следствием неточности отслеживания реального количество зараженных, либо наиболее точно оценивается число активных инфицированных, но при этом полная динамика предсказывается с ошибками. В зависимости от решаемой задачи выбирается один из вариантов модели, результаты на тестовой выборке продемонстрированы на рис. 3 для первого и второго варианта соответственно.

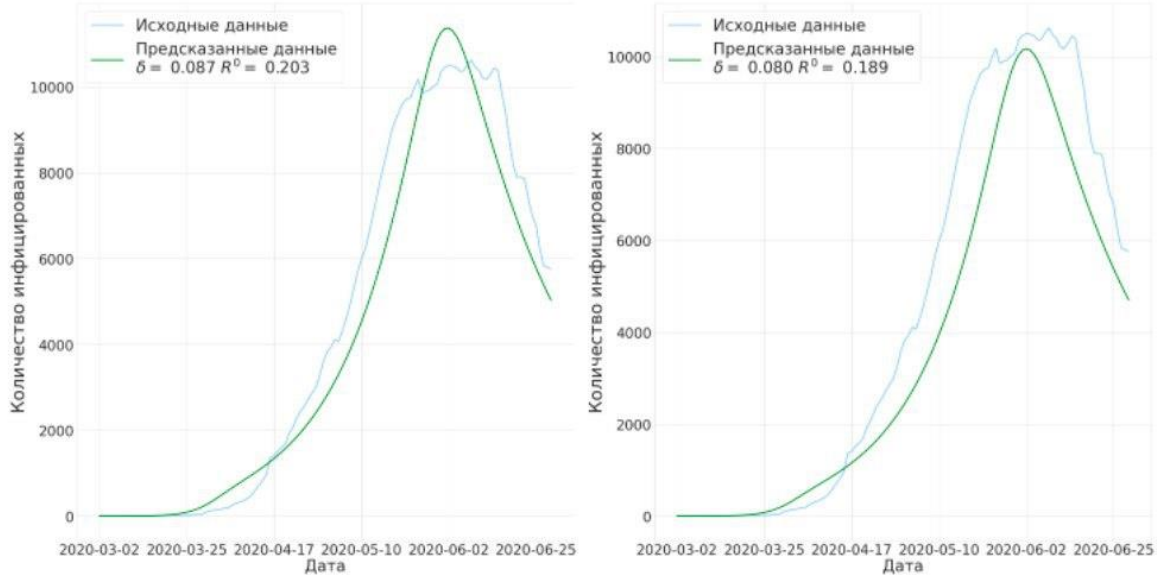


Рис. 3. Результаты оценки полной динамики распространения COVID-19 при различных параметрах: (а) δ = 0,087, R_0 = 0,203 и (б) δ = 0,08, R_0 = 0,189

При оценке качества обоих вариантов видно, что при наборе входных параметров δ = 0,087, R_0 = 0,203 кривая (а) наиболее точно описывает динамику, что также доказывается показателями, описанными в табл. 2.

Таблица 2

Значения метрик качества модели оценки динамики распространения COVID-19

Параметры	RMSE	R^2	MAE
δ = 0,087, R_0 = 0,203	910,26	0,95	669,64
δ = 0,08, R_0 = 0,189	1299,31	0,90	928,33

Первая модель обладает более высоким коэффициентом детерминации, равным 0,95, а также выдает результат с меньшей ошибкой, что демонстрируют показатели RMSE и MAE.

В ходе работы была исследована возможность использования методов суррогатного моделирования для оценки динамики распространения COVID-19. Применение регрессии гауссовского процесса в качестве суррогата позволило проанализировать динамику количества активных инфицированных при различных наборах входных параметров. Результаты исследования продемонстрировали принципиальную возможность использования суррогатов при моделировании процессов распространения острых респираторных заболеваний без потери качества. Следующим этапом планируется применить данный подход для ускорения работы, а также для проведения анализа неопределенности и чувствительности мультиагентной модели.

Литература

1. Леоненко В. Н. Математическая эпидемиология //СПб: Университет ИТМО. 2018. Т. 38. С. 23–24.
2. Smith R. C. Uncertainty quantification: theory, implementation, and applications. Siam, 2013. Т. 12. С. 15.
3. Sobester A., Forrester A., Keane A. Engineering design via surrogate modelling: a practical guide. John Wiley & Sons. 2008. С. 18.
4. Rasmussen C.E. Gaussian processes in machine learning //Summer school on machine learning. Springer, Berlin, Heidelberg. 2003. С. 63–71.

УДК 004.912

ПРИМЕНЕНИЕ ФОНЕТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЛОВ В РАМКАХ ИСПРАВЛЕНИЯ ОПЕЧАТОК В РУССКОЯЗЫЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСАХ

К.Д. Мосунов
Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.В. Шуранов
Университет ИТМО
e-mail: kmosunoff@mail.ru

Аннотация
Задача исправления опечаток в поисковых запросах играет важную роль в информационном поиске ввиду повышения его качества и улучшения пользовательского опыта. Некоторые способы её решения включают в себя использование фонетических признаков слов. В работе производится обзор и сравнение методов, позволяющих моделировать произношение произвольных слов, а также описано возможное применение подобных технологий в контексте решения задачи исправления опечаток в поисковых запросах на русском языке.

Ключевые слова
Исправление опечаток, фонетика, G2P, grapheme-to-phoneme, информационный поиск, поисковые запросы.

Введение

Задача исправления опечаток в поисковых запросах играет важную роль в информационном поиске ввиду повышения его качества и улучшения пользовательского опыта. Вместе с тем, эта задача комплексна и может иметь разнообразные способы решения: от многоэтапной обработки с выделением конкретных подзадач (обнаружение ошибок, генерация кандидатов для исправления, ранжирование предложенных кандидатов) до нейросетевых моделей класса «sequence-to-sequence» [5]. В данной работе рассматривается применение фонетических алгоритмов в решении задачи генерации кандидатов как одной из подзадач в процессе исправления опечаток.

В данной работе использовался набор из около 21 миллиона уникальных запросов в поисковый сервис Яндекс, опубликованные в соревновании Personalized Web Search Challenge на платформе Kaggle [1].

Генерация кандидатов (возможных корректных слов) для некорректного слова может производиться по разной логике. Например, основываясь на расстоянии Дамерау-Левенштейна: существуют алгоритмы, позволяющие по заданной строке эффективно получать список строк, находящихся на заданном расстоянии. Однако, на практике использование таких алгоритмов ограничивается не большим допустимым расстоянием редактирования (не более 2) с целью ограничения избыточной генерации шума. При этом, имеют место быть опечатки с большим расстоянием (около 10% ошибок), и эти случаи следует обрабатывать иными алгоритмами.

Поисковые запросы могут содержать слова, сильно искажённые в написании, однако достаточно близкие по звучанию, например, ввиду большого количества орфографических ошибок («патпищекоми» / «подписчиками»). Доля опечаток, сохраняющих схожее с исходным словом произношение, составляет около 20%. Для обработки таких ошибок могут применяться алгоритмы генерации фонетического представления (транскрибирования).

Фонетическая генерация кандидатов

Здесь и далее под фонетической генерацией кандидатов будем понимать генерацию кандидатов на основе фонетических алгоритмов – алгоритмов составления транскрипции заданных слов по их написанию. Общая схема работы фонетической генерации кандидатов представлена на рисунке.

Рисунок. Схема фонетической генерации кандидатов

Предлагаемый способ генерации подразумевает 2 основные составляющие:

1. Фонетический алгоритм, позволяющий заданной строке сопоставить некоторое фонетическое представление (транскрипцию). Такой алгоритм можно представить как хэш-функцию с повышенной степенью коллизии: для слов со схожим произношением фонетический алгоритм предоставляет одинаковую транскрипцию, для слов с разным произношением – разную. Так, строкам «патпищекоми» и «подписчиками» присваивается одинаковое фонетическое представление.
2. Фонетический индекс – структура данных, выстраиваемая на основе фонетического алгоритма. Представляет собой хранилище множества слов, допустимых для генерации в качестве кандидатов, позволяющее по заданной строке эффективно получать множество строк со схожим произношением. Фонетический индекс может быть реализован как хэш-таблица, хэш-функция в которой – это фонетический алгоритм, ключи – транскрипции слов, а значения – множества слов с транскрипцией, равной ключу. Фонетический индекс требует начальной инициализации в виде загрузки словаря генерации и формирования хэш-таблицы.

Так, получение кандидатов состоит из 2 шагов: транскрибирование заданного слова и взятие значения (множества слов) в фонетическом индексе по полученному ключу.

Фонетические алгоритмы

Алгоритмы составления транскрипций слов по их написанию призваны решать так называемую задачу G2P (англ. *grapheme-to-phoneme*) и берут своё начало в 1910-х годах, одним из первых подобных алгоритмов стал Soundex, изобретённый для индексирования англоязычных имён и фамилий. Soundex получил особую известность в 1960-е гг. после его упоминания в некоторых статьях и книгах, а также неоднократно дорабатывался, что сопровождалось созданием новых версий и алгоритмов, например, Metaphone, в большей степени учитывающего общие правила произношения в английском языке. Аналогичные алгоритмы создавались и для русского языка. Основная цель фонетических алгоритмов – присвоение равного кода омофонам, т.е. словам с одинаковым произношением. Упомянутые выше алгоритмы достаточно просты в своей реализации и основываются на наборах правил, по которым производится замена тех или иных комбинаций символов, в результате чего получается фонетическое представление.

Наборы правил в таких алгоритмах составляются исходя из правил произношения в конкретном языке. Подобные правила преобразований для русского языка могут составлять 2 группы: правила для замены гласных и правила для замены сочетаний согласных. Например [2]:

1. Правила для гласных:
   a. а, о, ё → а;

b. ю, у → у;
c. я, ы, и, е, э → и;
2. Правила для сочетаний согласных:
a. сч, зч, жч, сш, сщ, тч → ш (*счастье, мужчина);*
b. стг → сг (*бюстгалтер*);
c. хг → г (*бухгалтер);*
d. тс, дц → ц (*детство, двадцать);*
e. и т.д.

При этом допустима вариативность. Так, правила для гласных могут быть доработаны как в сторону усложнения с учётом ударения в слове (что достаточно важно в случае русского языка), так и в сторону упрощения, например, присвоения равного кода всем гласным в слове. Таким образом, может быть настроена необходимая точность алгоритма, отражающая, как много различных слов считаются омофонами с точки зрения данной конфигурации алгоритма.

Конечно, алгоритмы, основанные на наборах правил, не всегда показывают необходимое качество в решении задачи G2P. Некоторые языки могут обладать непоследовательной орфографией, при которой небольшое число фонем передаётся большим числом графем, в связи с чем произношение слов по их написанию может становиться трудной задачей даже для носителей языка. Здесь полезно вспомнить конкурс «Spelling bee», в котором участникам предлагается произнести слово из английского языка по предоставленному написанию. По этой причине алгоритмы на правилах не всегда применимы, особенно в задачах с повышенными требованиями, таких как распознавание и синтез речи. В связи с этим наблюдается развитие подходов к решению задачи G2P, в том числе с применением нейронных сетей. Однако, в контексте задачи исправления опечаток в поисковых запросах точность нейросетевых подходов избыточна, а вычислительная сложность неоправданно высока в условиях строгих ограничений по времени обработки запросов в режиме реального времени, в связи с чем нейросетевые решения не рассматриваются в данной работе.

Сравнение реализаций фонетических алгоритмов

Так как существуют разнообразные реализации фонетических алгоритмов на правилах, необходим подход к их сравнению и выбору наиболее подходящего применительно к задаче исправления опечаток в целом и генерации кандидатов в частности. В данной работе для сравнения реализаций алгоритмов предлагается использовать 3 метрики:

1. Коллизия индекса – среднее число слов в словаре генерации, имеющих равное фонетическое представление. Метрика названа по аналогии с понятием коллизии хэш-функций.
2. Среднее число кандидатов на слово, высчитываемое на основе результатов генерации кандидатов для некорректных слов из набора поисковых запросов, размеченных их корректным написанием.
3. Покрытие – доля слов, для которых был сгенерирован необходимый кандидат с помощью фонетического индекса, среди всех слов с опечатками, таких, что расстояние Дамерау-Левенштейна между исходным и корректным написанием составляет 3 и более операций (так как меньшее расстояние легко обрабатывается генераторами, упомянутыми во введении).

В качестве словаря генерации в работе использовался словарь Национального корпуса русского языка, содержащий около 888 тысяч словоформ [3].

В данной работе было произведено сравнение 3 библиотек с открытым исходным кодом на языке Python: Epitran, Russian G2P, Fonetika. Значения метрик приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения метрик для сравнения открытых реализаций фонетических алгоритмов

Библиотека	Коллизия индекса	Среднее число кандидатов на слово	Покрытие
Epitran	1,01	0,45	0,21 %
Russian G2P	1,17	1,65	8,86 %
Fonetika	2,44	20,98	18,02 %

Предложенные метрики явно отражают разную степень точности рассмотренных реализаций. Так, библиотека Epitran, разработанная для генерации транскрипций слов по системе IPA (англ. *International Phonetic Alphabet*), показывает крайне низкое покрытие в отличие от библиотек Russian G2P и Fonetika, обладающих более высокой коллизией индекса и генерирующих в среднем большее число кандидатов. В основе реализации Russian G2P лежит проработанный набор правил преобразований, учитывающих соседние графемы и ударение в слове, что делает библиотеку достаточно точной и объясняет её низкую коллизию индекса. Однако, ввиду её точности, она может быть неусточива, например, к следующим случаям:

1. Замена «й» на «и» и наоборот (*связнои*, *мущинои*, *бедкойн*).
2. Замена твёрдых согласных на мягкие и наоборот, а также добавление или удаление мягкого знака (*клучек ≠ ключик*, *сколка ≠ сколько*).
3. Продублированные символы (*устанноовать ≠ установить*).

Библиотека Fonetika более устойчива к подобным сложным случаям и показывает наилучшее покрытие. Тем не менее, необходимо иметь в виду, что повышенное среднее число генерируемых кандидатов на слово нежелательно. Более грубая фонетическая генерация кандидатов привносит больше шума, который необходимо обрабатывать на последующих этапах исправления опечаток, например, на стадии ранжирования кандидатов, в процессе которого наименее вероятные кандидаты отсеиваются и происходит выбор наиболее уместного кандидата. Таким образом, предложенные метрики позволяют отразить баланс «точности» и «шумности» алгоритмов, с учётом которого необходимо находить компромиссный вариант, исходя из требований поставленной задачи. Задача генерации кандидатов не требует высокой точности фонетических алгоритмов. Напротив, меньшая точность полезна для большей устойчивости решения к сложным опечаткам, хотя и следует учитывать устойчивость всей системы исправления опечаток к большому числу генерируемых кандидатов.

Иные реализации

Существуют также иные реализации, используемые в исправлении опечаток. Например, в работе «Исправление поисковых запросов в Яндексе» (Байтин А.В.) [4] предлагается следующая реализация фонетического алгоритма:

1. Удаление всех гласных (вода → вд).
2. Оглушение согласных, независимо от их позиции в слове (вд → фт).
3. Удаления и перестановки (фт → т, ф, тф).

В работе «Автоматическое исправление опечаток и орфографических ошибок для русскоязычных социальных медиа» (Сорокин А.А., Шаврина Т.О.) используется таблица соответствия букв и присваиваемых им кодов (табл. 2).

Можно заметить, что упомянутые реализации не используют информацию об ударении в слове, о соседних графемах, а также не рассматривают отдельно сочетания согласных. Например, строки «подписчиками» и «подпищиками» будут иметь разное фонетическое представление.

Таблица 2

Таблица преобразований

Код	Буква
1	а, о, ы, у, я
3	и, е, ё, ю, я, э
5	б, п
6	в, ф
7	д, т
8	г, к, х
9	л
10	р
11	м
12	н
13	з, с
14	й
15	щ, ч
16	ж, ш
17	ц

Заключение

В данной работе был предложен вариант использования фонетических алгоритмов в решении задачи генерации кандидатов для некорректных слов как одной из подзадач исправления опечаток, описаны общие принципы и примеры работы базовых фонетических алгоритмов, рассмотрены несколько открытых реализаций фонетических алгоритмов и предложен подход к их сравнению и выбору наиболее подходящего, отражающий баланс «точности» и «шумности» алгоритмов, а также обращено внимание на иные существующие реализации, используемые в контексте исправления опечаток. Дальнейшее исследование может быть направлено на использование результатов работы фонетических алгоритмов на этапе ранжирования кандидатов и выбора лучшего.

Литература

1. Personalized Web Search Challenge [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.kaggle.com/competitions/yandex-personalized-web-search-challenge/ (дата обращения: 20.04.2022).
2. Yakovenko O. and Bondarenko I. and Borovikova M. and Vodolazsky D. Algorithms for automatic accentuation and transcription of russian texts in speech recognition systems // International Conference on Speech and Computer. 2018. V. 20. № 1. P. 768–777.
3. Национальный корпус русского языка [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ruscorpora.ru/new/ (дата обращения: 20.04.2022).
4. Исправление поисковых запросов в Яндексе [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docplayer. com/29250711-V-yandekse- veroyatnostnaya- yazykovaya-model.html (дата обращения: 20.04.2022).
5. Сорокин А.А., Шаврина Т.О. Автоматическое исправление опечаток и орфографических ошибок для русскоязычных социальных медиа // Сборник «Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии». 2016. № 15(22). С. 688–701.

УДК 004.9

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ СООБЩЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

А.Д. Никольская
Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.В. Зудилова
Университет ИТМО
email: shmyaksi@gmail.com

Аннотация
В работе анализируется статистика использования социальных сетей в 2021–2022 годах и рассматриваются вопросы, связанные с дестабилизирующими сообщениями. Представлены существующие современные методы выявления негативных пользовательских сообщений, а также предложен усовершенствованный алгоритм работы системы, которая позволяет анализировать содержание сайта на наличие дестабилизирующей информации с последующей его блокировкой.
Ключевые слова
Дестабилизирующие сообщения, социальные сети, искусственный интеллект, мошенничество.

Введение

В настоящее время Интернет является неотъемлемой частью повседневной жизни каждого. По статистике на начало 2021 года в России насчитывалось 124 миллиона пользователей, более того, в период с 2020 по 2021 годы прирост количества активных пользователей составил шесть миллионов человек, и, таким образом, уровень использования Интернета составил 85% [1]. К сожалению, ввиду большого количества различных пользователей, информация в сетях требует обеспечения ее безопасности и, в частности, выявления дестабилизирующих сообщений в них.

Основная часть

Рассмотрим, что же из себя представляют дестабилизирующие сообщения. К ним относятся: сообщения, призывающие прямо или косвенно к действиям суицидального характера; спам различного содержания; «кибербуллинг»; несанкционированная торговля и др.

Так сообщения, призывающие прямо или косвенно к действиям суицидального характера, не отслеживаются модераторами, и такие совершенно неадекватные данные оказывают сильнейшее влияние на всю аудиторию. Следующий вид дестабилизирующих сообщений – спам, рассылающийся случайным пользователям также может оказывать негативное влияние на пользователей [3]. Помимо прочего, в настоящее время очень развит термин «кибербуллинг» или травля в Интернете. Такие эпизоды можно встретить почти в каждой социальной сети: комментарии к фотографиям, случайные звонки пользователям, общие обсуждения и дискуссии. Существует также вид дестабилизирующей информации – это деятельность незарегистрированных интернет-магазинов и незаконных индивидуальных предпринимателей. Зачастую они осуществляют свою деятельность в социальных сетях. Данные о таких продавцах не содержатся в базах государственных структур, тем самым не представляется возможность вернуть украденные средства на эту деятельность от обманутых пользователей [2]. На рис. 1 показано распределение подозрительной (suspicios) и неподозрительной (non suspicious) информации в различных сайтах (W), в

социальной сети Facebook (FP), в комментариях Facebook (FC), онлайн-блогах (OB), газетах (N) и других интернет-ресурсах (M) [2].

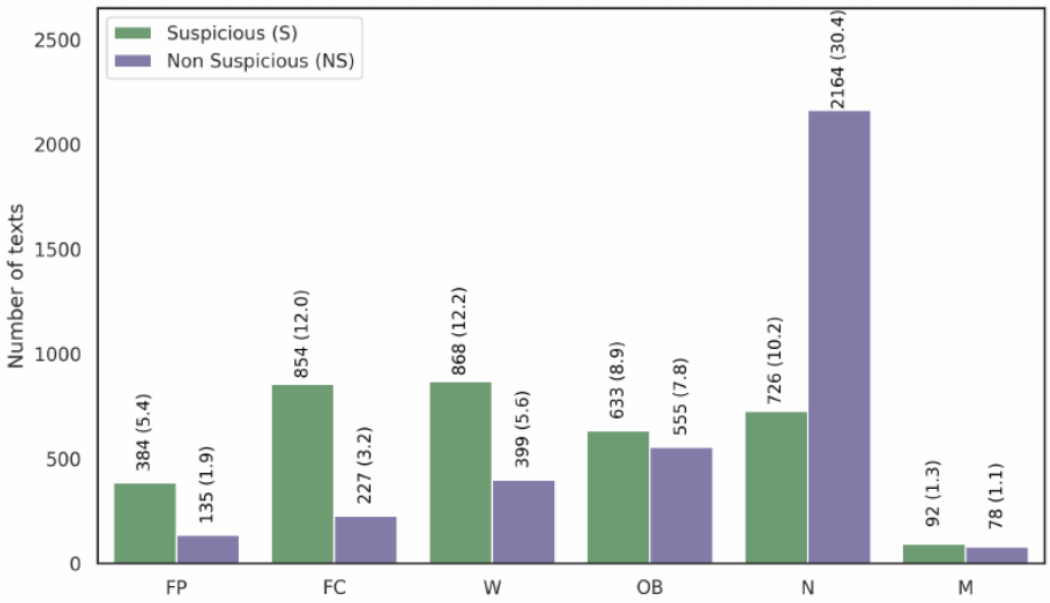


Рис. 1. Распределение подозрительной и неподозрительной текстовой информации на различных интернет-ресурсах [2]

Оценивая данный график, можно сделать вывод о том, что меньше всего опасного контента содержится в газетных изданиях, в то время как самое большое количество дестабилизирующей информации хранится и передается именно на различных сайтах, а также в комментариях социальных сетей. Ниже рассмотрим существующие методы выявления дестабилизирующей информации в социальных сетях на примере ряда наиболее известных сервисов [4, 5].

Существующие методы борьбы с дестабилизирующими сообщениями

В настоящее время имеется ряд методов и способов борьбы с негативной информацией в социальных сетях.

В марте 2022 года Роспотребнадзор начал блокировать сайты по причине того, что они способствуют распространению, в частности экстремистской деятельности: например, заблокированы сервисы Meta: Instagram и Facebook. Также были заблокированы сайты различных независимых СМИ, таких как: «Медуза», «Дождь», «Новая газета». Отмечается, что ограничения были наложены согласно регламенту блокировки сайтов, призывающих к массовым беспорядкам, экстремизму и участию в незаконных акциях. Данный способ борьбы с деструктивной информации в Интернете определенно можно считать действенным, но он требует прямого участия человека, при этом блокировка никак не автоматизирована.

Сервис Сбера «Аура», основанный на принципах искусственного интеллекта [4]. Данная система позволяет пользователям сделать безопасным свое общение по телефону и в сети. Сервис анализирует звонки и текстовые сообщения при помощи искусственного интеллекта на наличие дестабилизирующей информации в них. Затем пользователь, который имеет подписку на данную услугу, получает уведомление о том, что данный абонент возможно является мошенником. В системе существует также возможность отслеживать данные, собирать статистику, на основе которой анализируются все последующие звонки и сообщения. Обучение технологии проходило на основе базы

данных кибербезопасности Сбера, ее обучение продолжается на новом материале и улучшается с каждым новым звонком.

В рамках пилотного проекта «Аура» показала 80-процентную точность детектирования мошеннических действий и менее 1% ложноположительных срабатываний модели.

К осени 2022 года планируется запуск системы «Окулус» [5], работа которой основана также на использовании технологий искусственном интеллекта. Данная система будет искать запрещенные материалы в изображениях и видеофайлах социальных сетей «Окулус» и анализировать различные материалы, в том числе информацию из Facebook, которая с марта 2022 года запрещена на территории России. До этого нарушения в изображениях и видеозаписях искали вручную. Как отмечается в документах, опубликованных на сайте госзакупок, искусственный интеллект может сделать процесс более эффективным [6].

К сожалению, на сегодняшний день специального метода блокировки запрещенной информации в интернете с использованием искусственного интеллекта (ИИ) не разработано, два перечисленных метода выше по-прежнему требуют ручного вмешательства. Таким образом, данный вопрос требует дальнейшей проработки. Далее рассмотрен алгоритм работы системы, с помощью которой анализируется информация на сайтах с целью дальнейшей их блокировки.

Алгоритм работы системы

Для улучшения автоматизации процессов борьбы с дестабилизирующими сообщениями разработан алгоритм работы системы, в котором на основе методов искусственного интеллекта анализируется содержание сайта, сохраняется собранная информация в БД для дальнейшей блокировки.

Предложенная система имеет пользовательский интерфейс, куда пользователь может занести информацию о сайте, который он считает подозрительным. Далее система вводит данные в БД, анализируется сайт на наличие дестабилизирующей информации. После чего определяются записи о сайте и его блокировке и решается вопрос, надо ли оставлять его в БД или нет, если нет, то запись об этом сайте удаляется; если да, то сайт блокируется. На рис. 2 представлен алгоритм работы предлагаемой системы.

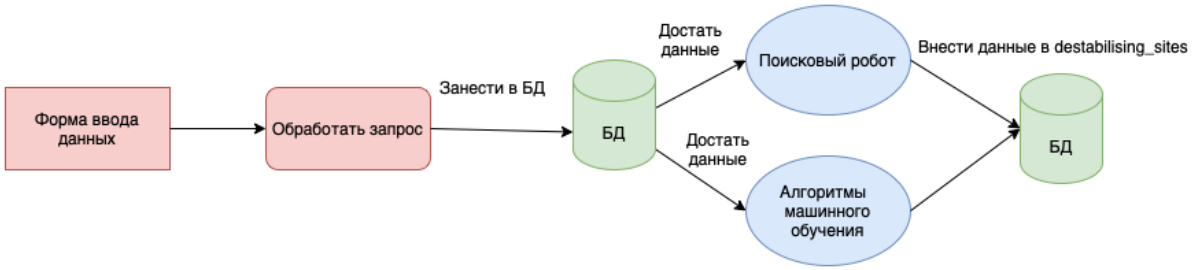


Рис. 2. Алгоритм работы системы

Реализовать поиск дестабизирующей информации можно двумя способами: с использованием поискового робота или на основе методов машинного обучения. Рассмотрим работу этих двух алгоритмов.

Поисковый робот

Робот сканирует и индексирует страницы веб-ресурсов, затем передает данные на хранение в БД. Работу роботов можно описать так: они переходят на ресурс, затем отправляют его содержимое в индекс и определяют ссылки, которые открывают ему остальные страницы анализируемого сайта [7]. Алгоритм работы такого поискового робота представлен на рис. 3. Каждую поисковую систему можно настроить по-своему:

определить тип данных, которые будут занесены в БД, указать, с какой периодичностью робот будет сканировать страницы, а также можно задавать приоритет анализируемых страниц. Предлагается, чтобы робот «складывал» в базу найденные дестабилизирующие слова и словосочетания. Далее другой модуль системы оценивает собранные данные и блокирует сайт, если он содержит достаточное количество дестабилизирующих слов.

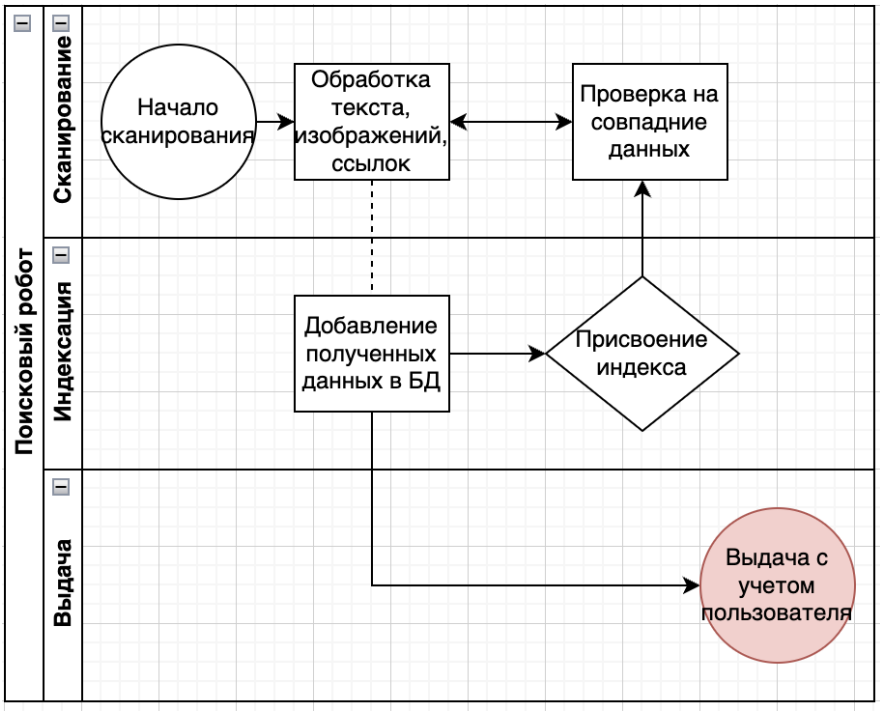


Рис. 3. Алгоритм работы поискового робота

Методы машинного обучения

Второй вариант алгоритма оценки анализа содержания сайта и последующих действий с ним – это использование методов машинного обучения. Для этого имеется четыре этапа: предварительная обработка, извлечение, обучение и предсказание. Предварительная обработка используется, чтобы привести данные сайта к читаемому виду, убрать ненужные символы, ошибки. Преобразованный текст хранится в словаре в виде массива. Фаза извлечения предполагает цифровое представление данных. На данном этапе изучаются методы извлечения признаков набора слов (bag of words - BoW) и частота их появления (term frequency-inverse document frequency - tf-idf). Техника BoW использует частоту появления слов в тексте, при этом «ненужные» слова могут дать гораздо больший вес. Этап обучения связан с обучением модели и основан на различных популярных алгоритмах классификации (логическая регрессия, дерево вариантов, случайный лес, наивный байесовский классификатор), с использованием данных, полученных на предыдущем этапе. Последний шаг – это предсказание. На основе обученной модели, которая анализировала текст и находила опасные сообщения, будет сделано предсказание относительно количества дестабилизирующей информации на конкретном сайте [2].

Выбирая между поисковым роботом и методами машинного обучения, можно сделать выбор в пользу алгоритмов машинного обучения, которые постоянно обучаются на различных датасетах; модуль системы, основанный на машинном обучении, требует меньшего вмешательства человека и работает гораздо более эффективно и быстро. Несмотря на то, что вероятность ошибки нейронной сети выше, чем в работе поискового робота, ее значение не превышает допустимую погрешность при обработке большого объема данных.

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что существующие методы поиска дестабилизирующих сообщений в социальных сетях и борьбы с ними все еще требуют вмешательства человека, а значит данный вопрос по их улучшению остается открытым, а существующие подходы требуют усовершенствования. Предложенный в работе алгоритм работы системы позволяет, во-первых, бороться с дестабилизирующей информацией на постоянном уровне за счет внедрения методов машинного обучения, во-вторых, обучаться постоянно на новых моделях и датасетах, а значит информация, полученная данными методами, является наиболее актуальной. Использование методов машинного обучения является более перспективным ввиду того, что датасеты постоянно обновляются новыми данными, более того ошибка на большом количестве данных будет несущественна.

Литература

1. Сергеева Ю. Интернет и соцсети в России в 2021 году – вся статистика, WebCanape. [Электронный ресур]. Режим доступа: https://www.web-canape.ru/business/internet-i-socseti-v-rossii-v-2021-godu-vsya-statistika/. (дата обращения: 20.01.2022).
2. Detecting Suspicious Texts Using Machine Learning Techniques – 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www. researchgate.net/ publication/ 343393292_ Detecting_Suspicious_Texts_Using_Machine_Learning_Techniques. (дата обращения: 20.01.2022).
3. Александрова Н. Самые опасные социальные сети. [Электронный ресурс] UA DIETA.RU. 2021. Режим доступа: https://deita.ru/article/492669. (дата обращения: 20.01.2022).
4. Коленцова О. Специальная инженерия: нейросеть опознает мошенника во время разговора. [Электронный ресурс]. Известия, 2021. Режим доступа: https://iz.ru/ 1192463/olga- kolentcova/ spetcialnaia-inzheneriia-neiroset-opoznaet-moshennika-vo-vremia-razgovora. (дата обращения: 20.01.2022).
5. Коленцова О. Эксперт объяснила порядок блокировки запрещенного контента с помощью искусственного интеллекта. [Электронный ресурс]. Известия, 2021. Режим доступа: https://iz.ru/1224239/2021-09-20/ekspert-obiasnila-poriadok-blokirovki-kontenta-s-pomoshchiu-iskusstvennogo-intellekta. (дата обращения: 20.01.2022).
6. Нейронные сети: распознавание образов и изображений с помощью ИИ. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://center2m.ru/ai-recognition (дата обращения: 20.01.2022).
7. Радкевич А. Что такое поисковый робот и как он работает? [Электронный ресурс]. URL: https://www.yalstudio.ru/question-answer/seo/chto-takoe-poiskovyy-robot-kak-on-rabotaet/ (дата обращения: 23.01.2022)

УДК 004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВТОРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ РЕЦЕПТОРА ВИТАМИНА D, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ЕГО ЛИГАНД-СВЯЗЫВАЮЩЕГО САЙТА, С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ДЛЯ РАСЧЕТА СТРУКТУРНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ

К.М. Пац[1], И.А. Глухов[1]
Научные руководители – к.т.н., доцент А.А. Сергушичев[1], Ph.D., профессор Ф. Молнар[2]
1 – Университет ИТМО
2 – Назарбаев Университет
e-mail: km_pats@itmo.ru

Исследования выполнены за счет финансирования университета ИТМО в рамках НИР №621314 «Разработка программного средства для поиска закономерностей в аллостерических взаимодействиях белковых молекул на основе структурных дескрипторов».

Аннотация
Работа посвящена исследованию региона α-спиралей H6-H12 рецептора витамина D, входящих в состав его лиганд-связывающего сайта. Исследование проводилось с использованием ранее разработанного нами пакета структурных дескрипторов и различных методов анализа данных и их визуализации. Полученные результаты могут быть использованы при расширении инструмента по расчету дескрипторов параметрами, описывающими не только рецептор, но и лиганд, а также при дальнейшей разработке модели, предсказывающей взаимодействия ядерных рецепторов с различными малыми молекулами и коактиваторами/корепрессорами белковой природы.
Ключевые слова
Структурные дескрипторы, ядерные рецепторы, молекулярное моделирование, аллостерические взаимодействия, молекулярная динамика.

Структурные дескрипторы широко используются в области компьютерного моделирования в естественных науках [1-2]. Структурные дескрипторы представляют собой математическое описание каких-либо свойств структуры белка, например, центр масс изучаемой молекулы, угол между спиралями белка, поверхность, доступная растворителю и др. Нами был разработан программный пакет для расчета таких дескрипторов, позволяющий рассчитывать параметры вторичной структуры белковых молекул и исследовать их геометрию. В качестве объектов для применения и тестирования разработанного пакета были выбраны трехмерные структуры рецептора витамина D (VDR). Помимо функции поддержания уровня кальция и фосфора в процессе развития костей VDR может быть вовлечен в процессы клеточной пролиферации, формирования аутоиммунных реакций, воспалительные процессы, а также в механизмы развития рака, что делает его актуальной мишенью при разработке новых селективных модуляторов. Данные о кристаллических структурах VDR говорят о том, что витамин D (1,25D3) и его аналоги связываются схожим образом. Однако адаптация сайта связывания к присоединяемому лиганду – достаточно селективный и динамичный процесс, который является результатом небольших смещений более чем 30 различных аминокислот, а также значительных колебаний нескольких, особенно важных,

аминокислот. Ранее было показано, что для различных секостероидных молекул аминокислоты, участвующие в процессе связывания, также различаются. Так, например, для группы 1,25D3-аналогов, называемой *Geminoids*, важнейшим участком, обеспечивающим их связывание, являются α-спирали 6 и 7 (H6-H7), а также петля, соединяющая их [3]. Таким образом, целью данной работы было применить разработанный пакет для расчета структурных дескрипторов к проблеме исследования лиганд-связывающего сайта рецептора витамина D и протестировать разработанный пакет на предмет возможных ошибок и недочетов.

Для тестирования пакета использовались трехмерные структуры рецептора витамина D, полученные из базы PDB (rcsb.org), а также полученные в ходе молекулярной динамики, то есть при помощи методов компьютерного моделирования. В базе PDB присутствуют структуры VDR для трёх типов организмов: *Homo sapiens*, *Rattus norvegicus* и *Danio rerio*. При расчете дескрипторов учитывались различия в нумерации белковой последовательности для каждого организма. Структуры, полученные в ходе молекулярной динамики, содержат 18 комплексов VDR с различными лигандами и коактиваторами. Подготовка трехмерных структур из базы PDB осуществлялась при помощи ПО Schrödinger 2021-4. Из кристаллических структур были удалены молекулы воды. При помощи модуля *Prime* [4] были восстановлены боковые цепи и пропущенные участки спиралей (рис. 1). Была проведена оптимизация водородных связей и энергетическая минимизация структур. Для автоматизации вышеуказанных процедур использовалась платформа *KNIME*. Молекулярная динамика для 18 комплексов проводилась при помощи *Desmond* [5].

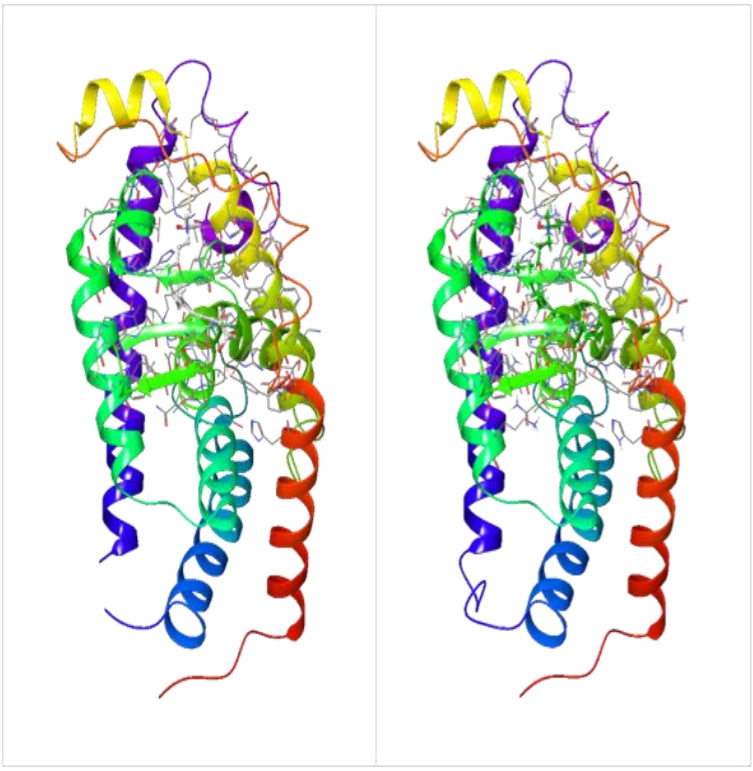


Рис. 1. Структура рецептора витамина D (PDB ID: 1DB1) до (слева) и после (справа) восстановления пропущенных спиралей

Далее для всех имеющихся данных были рассчитаны структурные дескрипторы, полученные значения были отмасштабированы, а также удалены дескрипторы, значения которых были идентичны для всех структур. После этого все структуры были нанесены на график при помощи метода анализа главных компонент (рис. 2).

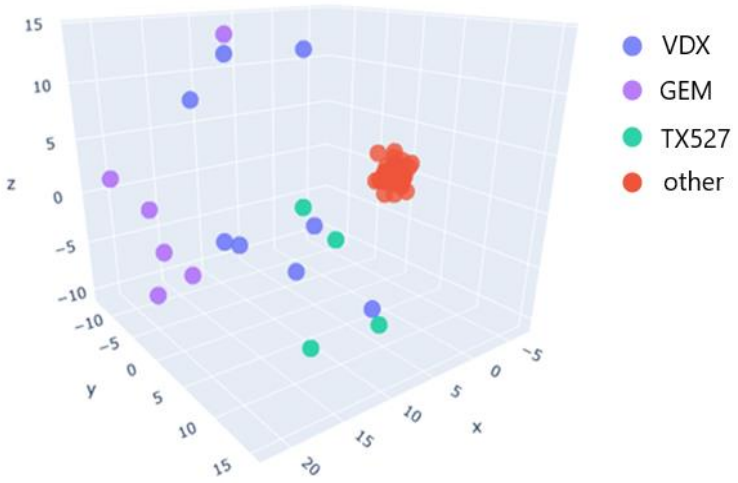


Рис. 2. Расположение различных структур рецептора VDR в зависимости от значений дескрипторов (метод анализа главных компонент)

При этом отмечается две основные закономерности: структуры из базы данных PDB (красный цвет на графике) занимают обособленное пространство на графике, что говорит о том, что при помощи структурных дескрипторов возможно разделять структуры, полученные экспериментально, от структур, полученных при помощи компьютерного моделирования. Вторая особенность, важная для данного исследования, заключается в том, что структуры, полученные в ходе молекулярной динамики, были промаркированы в зависимости от лигандов – это дало возможность наблюдать лиганд-специфичные кластеры на графике.

Дополнительно в структурах из базы PDB мы проанализировали зависимости между различными парами дескрипторов – для спиралей, находящихся в непосредственной близости от сайта связывания с лигандом (H6, H10, H11, H12) удалось выявить выброс, структуру с PDB ID 3AZ3. На рис. 3 показаны зависимости для дескрипторов, отражающих длины данных спиралей, однако подобные закономерности сохраняются и для других дескрипторов, относящихся к тем же спиралям. Структура 3AZ3 интересна тем, что при детальном рассмотрении в ней обнаруживается участок из десяти аминокислот, отличающийся от остальных структур рецептора VDR человека.

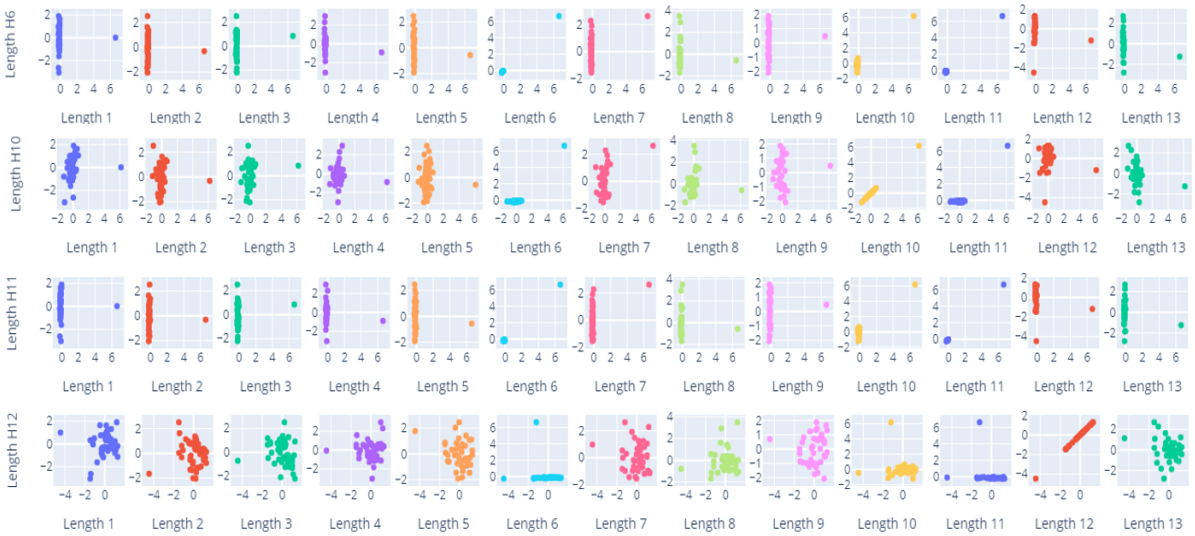


Рис. 3. Зависимости длин спиралей H6, H10, H11, H12 от длин других спиралей

Мы проанализировали также и структуру лигандов, которые присутствовали в экспериментальных структурах из базы PDB. Это были лиганды двух типов – секостероидные и нестероидные (рис. 4).

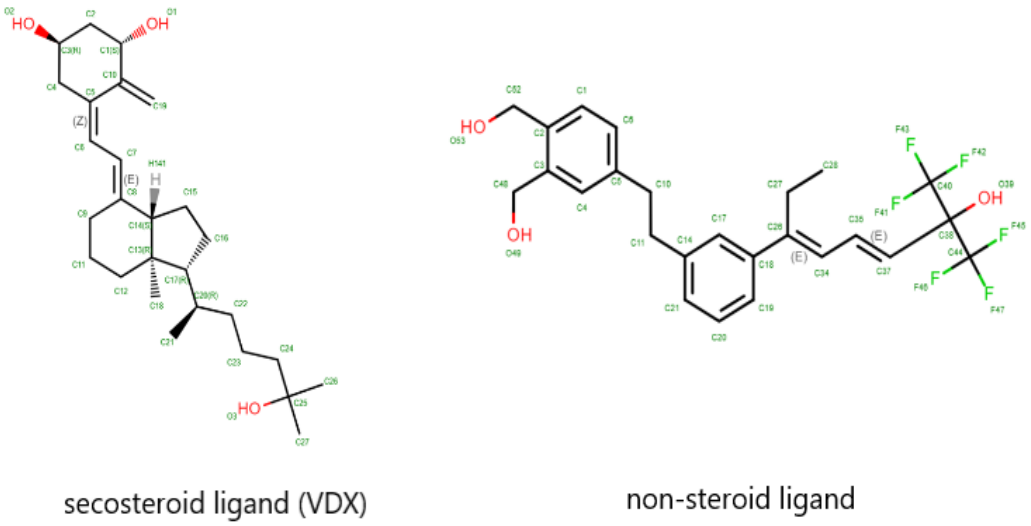


Рис. 4. Типы лигандов присутствующие в структурах рецептора VDR

Мы разметили данные по этим типам лигандов и исследовали аналогичным образом зависимости между длинами спиралей H6, H7, H10, H11, H12, однако в данном случае явных закономерностей обнаружено не было (рис. 5).

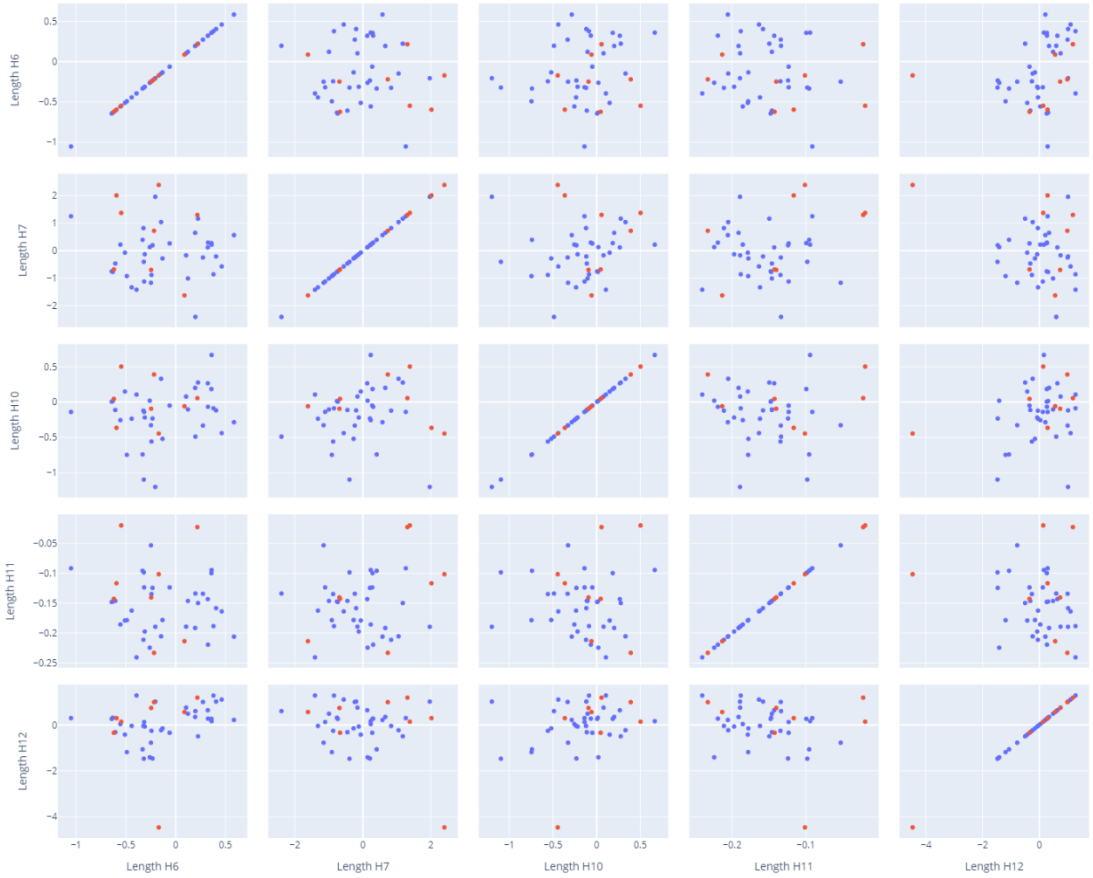


Рис. 5. Разметка структур рецептора VDR в зависимости от типа лиганда на примере зависимости между длинами спиралей H6, H7, H10, H11, H12

Также мы провели анализ корреляции между различными дескрипторами и обнаружили, что внутри одинаковых групп дескрипторов наблюдается достаточно сильная корреляция (рис. 6).

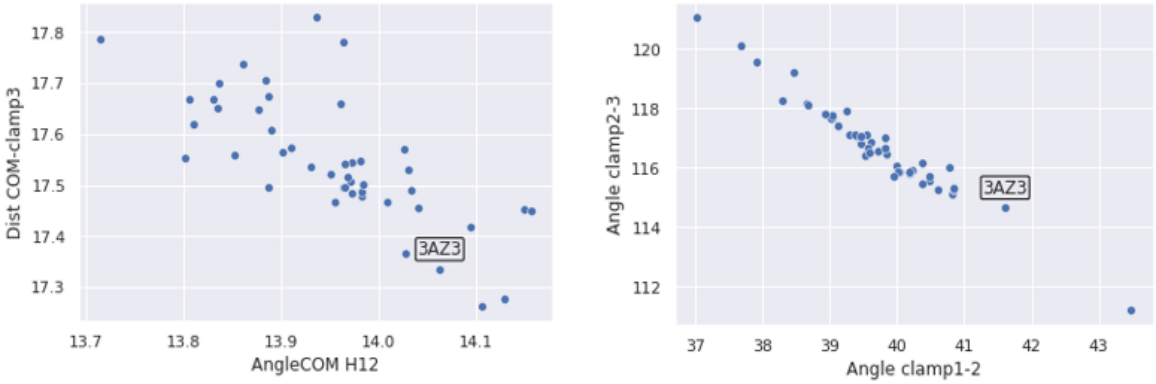


Рис. 6. Корреляция между дескрипторами из разных групп (слева)
и одной и той же группы (справа)

Таким образом, в ходе работы были исследованы участки α-спиралей H6-H12 рецептора витамина D, входящие в состав его лиганд-связывающего сайта. Исследование проводилось с использованием ранее разработанного нами пакета структурных дескрипторов и различных методов анализа данных и их визуализации. Нам удалось выявить некоторые особенности структуры-выброса 3AZ3, сравнить экспериментальные структуры со структурами, полученными при помощи моделирования, а также сделать выводы о корреляции дескрипторов внутри одной группы. Помимо этого, в ходе тестирования мы обнаружили ряд недочетов в работе пакета, связанных преимущественно с работой со структурами из базы PDB. На данный момент разработанный пакет не позволяет в полной мере обрабатывать структуры, не прошедшие этап предварительной подготовки. Так, например, в некоторых структурах некорректно названы цепи, что является проблемой для *biopython*, лежащего в основе разработанного инструмента.

Полученные результаты могут быть использованы при расширении инструмента по расчету дескрипторов параметрами, описывающими не только рецептор, но и лиганд, а также при дальнейшей разработке модели, предсказывающей взаимодействия ядерных рецепторов с различными малыми молекулами и коактиваторами/корепрессорами белковой природы.

Литература

1. Lindstrom A., Pettersson F., Linusson A. Quantitative protein descriptors for secondary structure characterization and protein classification // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 200. V. 95.P. 74–85.
2. Jain P., Hirst J. D. Automatic structure classification of small proteins using random forest // BMC Bioinformatics. 2010. V. 11 (364). P. 1–14.
3. Molnár F. et al. Vitamin D receptor agonists specifically modulate the volume of the ligand-binding pocket // J. Biol. Chem– 2006– V. 281 (15). P. 10516- 10522.
4. Jacobson M.P. at el. A Hierarchical Approach to All-Atom Protein Loop Prediction // Proteins: Structure, Function and Bioinformatics. 2004. № 55. P. 351-367.
5. Bowers K.J. et al. Scalable Algorithms for Molecular Dynamics Simulations on Commodity Clusters // Proceedings of the ACM/IEEE Conference on Supercomputing (SC06), Tampa, Florida, November 11–17, 2006. 2006. P. 43.

УДК 004.891.2

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ОТБОР ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУПП МЕТАГЕНОМНЫХ ОБРАЗЦОВ В ПРОГРАММЕ METAFAST

В.В. Попов[1], А.Б. Иванов[2]
Научный руководитель – к.т.н. В.И. Ульянцев[2]
1 – Санкт-Петербургский государственный университет
2 – Университет ИТМО
e-mail: popov99vlad@gmail.com

Аннотация
Данная работа посвящена решению задачи сравнительного анализа метагеномов на примере классификации групп метагеномных образцов микробиоты кишечника. В качестве основного метода для извлечения метагеномных признаков взята программа MetaFast. Предложена модификация MetaFast для построения признаков путем поиска специфичных k-меров с использованием статистических методов. Полученная программа протестирована на различных реальных метагеномных данных, показана ее перспективность в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова
Метагеномика, уникальные *k*-меры, специфичные *k*-меры, граф де Брейна, воспалительные заболевания кишечника, извлечение признаков, машинное обучение.

Введение

Наследственная информация каждого организма зашифрована в геномах. Геномика – раздел генетики, посвященный изучению геномов живых организмов. Геномы определяют с помощью секвенирования пар оснований ДНК. Ярким примером является «Human Genome Project», в ходе которого были секвенированы 3 миллиарда пар оснований. Но остаются еще тысячи организмов всех трех доменов, геномы которых не были секвенированы. Метагеномика же занимается изучением геномов, полученных из разных организмов, обитающих в общей среде. С ее помощью может быть получено представление не только о структуре сообщества, но и о его функциональных возможностях. Примерами интересующих сред выступают почва, морская вода, а также желудочно-кишечные тракты позвоночных.

Особенно важным и актуальным является изучение кишечника человека. Микробиота кишечника участвует в регуляции обмена веществ, иммунном ответе организма и изменяется при развитии заболеваний. Однако механизм возникновения и влияния на структуру микробиоты многих заболеваний остается неисследованным.

Воспалительные заболевания кишечника (ВЗК) – это хронические заболевания, при которых поражается слизистая оболочка части желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). ВЗК в основном представлены болезнью Крона (БК) и язвенным колитом (ЯК). Болезнь Крона может поражать все отделы ЖКТ, характеризуется образованием язв и рубцов на стенках кишки. Язвенный колит в основном поражает слизистую оболочку толстой кишки. ВЗК – это комплексные заболевания с разнообразными симптомами, что затрудняет раннюю диагностику, которая крайне важна для успешного лечения. Возникает задача поиска методов для диагностики и понимания причин развития таких заболеваний [2-5].

Целью исследования является улучшение качества методов анализа метагеномных образцов для их использования при диагностировании ВЗК. Задачи состоят в разработке алгоритма для извлечения информативных признаков из метагеномных данных с

использованием статистических методов, а также проведении вычислительных экспериментов по диагностированию ВЗК методами машинного обучения на извлеченных признаках.

MetaFast для извлечения метагеномных признаков

В качестве основного алгоритма для извлечения признаков из метагеномных образцов был использован алгоритм MetaFast [1]. Рассмотрим работу этого метода на примере задачи извлечения признаков из трех групп – больных язвенным колитом, болезнью Крона и контрольной группы.

Принцип работы метода следующий:

1. Сначала для всех образцов подсчитывается число вхождений каждого k-мера.
2. Затем для каждой группы выполняется:

a. Извлекаются k-меры, присутствующие хотя бы в некотором заданном числе образцов из одной группы и полностью отсутствующие в других (уникальные).

b. Строится граф де Брейна вокруг выделенных k-меров. Затем из него выделяются контиги – характерные для каждой группы признаки.

3. Далее для всех индивидов считается покрытие каждой полученной компоненты k-мерами. Для этого вычисляется доля символов из подстрок в компоненте, для которых существует k-мер из индивида, совпадающий с соответствующей подстрокой в компоненте. В результате для каждого индивида получается набор векторов, число которых равно числу компонент. Векторы покрытия образцов с известной категорией далее используются для решения задачи трехклассовой классификации с помощью машинного обучения.

Модификация алгоритма MetaFast: специфичные k-меры

В текущей реализации алгоритма извлечения уникальных k-меров введен полный запрет на присутствие k-меров в образцах других категорий, что является недостатком. В образцах могут быть незначительные загрязнения, попавшие туда по ошибке, которые не влияют на общие функции и признаки сообщества. Поэтому возникает идея извлечения специфичных k-меров, для которых допускается возможность попадания в небольших пропорциях в другие классы.

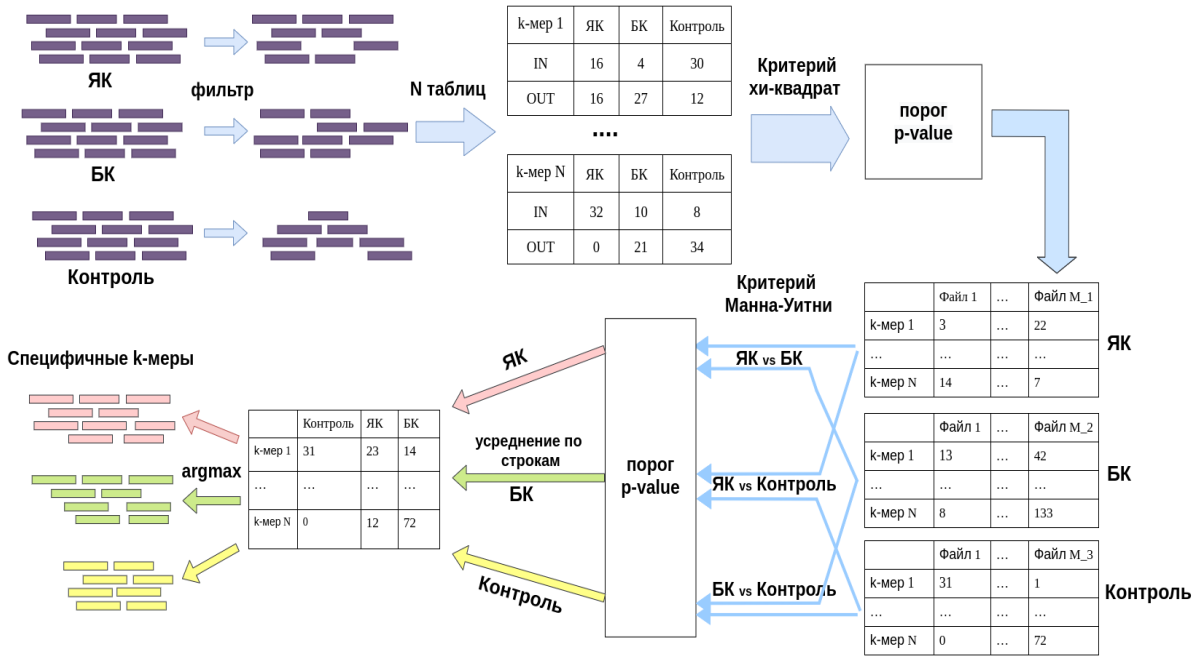


Рис. 1. Схема алгоритма извлечения специфичных k-меров

Была предложена следующая схема извлечения специфичных k-меров (рис. 1):

1. На вход поступают подсчитанные k-меры для каждой группы и выполняется предварительная фильтрация – удаляются те, что встречаются в образце реже определенного порога, а также те, что встречаются в слишком малом количестве индивидов.
2. Строится матрица встречаемости каждого k-мера в каждом из образцов.
3. Для каждого k-мера формируется таблица 2×3, в которой для каждой группы записано число образцов, в которых данный k-мер входит хотя бы один раз, и число остальных образцов (в которых k-мер отсутствует). Затем с помощью критерия хи-квадрат для таблиц сопряженности проверяется гипотеза о независимости распределения встречаемости k-меров в группах. Остаются лишь те k-меры, для которых гипотеза о независимости не отвергается при заданном уровне значимости.
4. Для каждого k-мера для каждой пары групп проверяется гипотеза о равенстве распределений с помощью критерия Манна-Уитни. Удаляются все такие k-меры, для которых все три гипотезы не отверглись.
5. Затем для оставшихся k-меров считается среднее значения встречаемости в группе и k-мер признается специфичным для той группы, в которой этот показатель наибольший.

Сравнение уникальных и специфичных k-меров

Для проведения вычислительных экспериментов были взяты четыре набора секвенирования метагеномных данных. Образцы в наборах были секвенированы на платформе Illumina HiSeq, были получены парноконцевые прочтения длиной 100 нуклеотидов. В каждой выборке представлены три группы – пациенты с язвенным колитом (ЯК), болезнью Крона (БК) и контрольная группа. В таблице представлены наборы данных и соответствующие числа наблюдений в группах.

Таблица

Число наблюдений в группах в используемых наборах метагеномных данных

	Болезнь Крона	Язвенный колит	Контроль	Всего
Schirmer [2]	23	17	14	54
He [3]	63	0	53	116
Franzosa [4]	88	76	56	220
HMP2 [5]	65	38	27	130
Всего	239	131	150	520

Для каждой группы каждого из четырёх наборов данных были подсчитаны уникальные k-меры исходным методом MetaFast. Построены диаграммы Венна для поисков пересечений соответствующих классов (рис. 2). Большая часть пересечений пустая, т.е. практически все уникальные k-меры для каждого из четырех наборов данных разные.

Затем для всех четырех наборов данных были найдены специфичные k-меры предложенным ранее способом, построены аналогичные диаграммы Венна (рис. 3). В отличие от уникальных k-меров, общие специфичные k-меры для всех групп были найдены: наибольшое число общих k-меров обнаружено для здоровых пациентов, а для больных значительно меньше. Таким образом, специфичные k-меры показали лучшую

способность к поиску общих k-меров для одинаковых групп, чем уникальные. В перспективе признаки на полученных общих k-мерах могут дать хорошую точность предсказания для новых наборов данных.

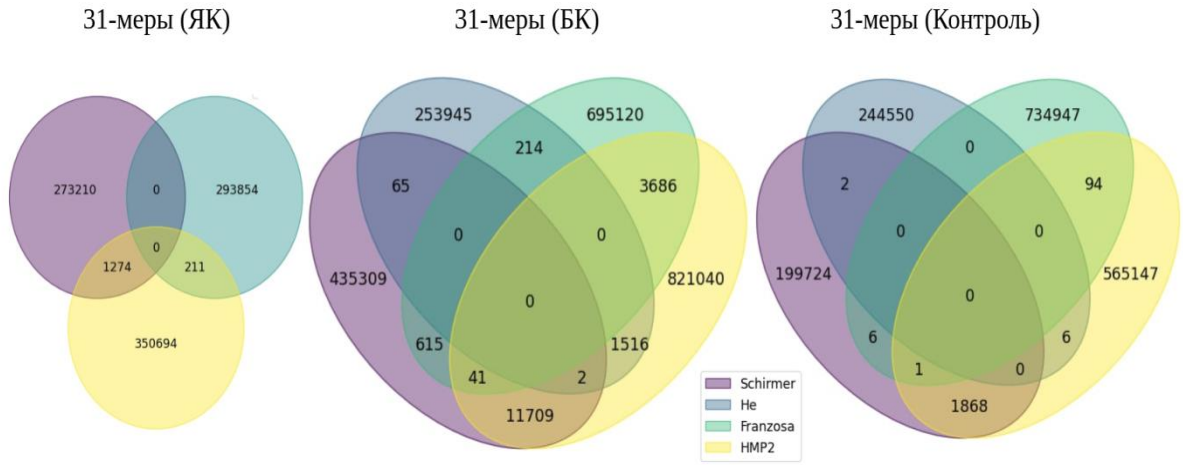


Рис. 2. Диаграммы Венна множеств уникальных k-меров соответствующих групп для различных наборов данных

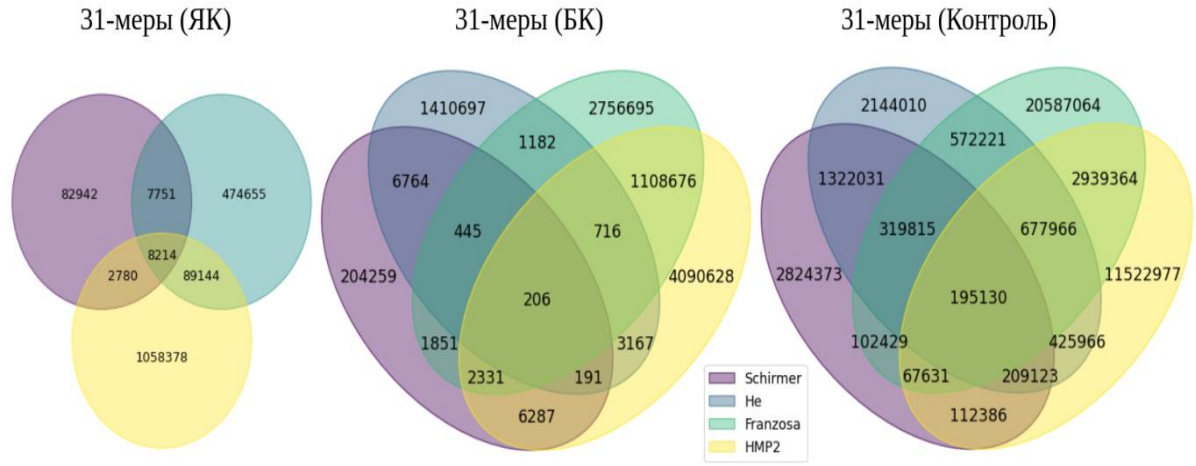


Рис. 3. Диаграммы Венна множеств уникальных k-меров соответствующих групп для различных наборов данных

Далее была предпринята попытка предсказания по признакам, полученным по уникальным, специфичным k-мерам, а также по объединению признаков. В качестве обучающего набора данных был использован Schirmer, на рисунке представлена точность предсказания на трёх других наборах данных методами случайный лес деревьев решений (Random Forest) и градиентный бустинг (XGboost). Результаты точности работы классификаторов приведены на рис. 4. Для наборов данных He и HMP2 самая большая точность получена с помощью метода XGboost на специфичных k-мерах, а случайный лес продемонстрировал лучший результат на объединении признаков. Для Franzosa точность всех методов практически не отличается.

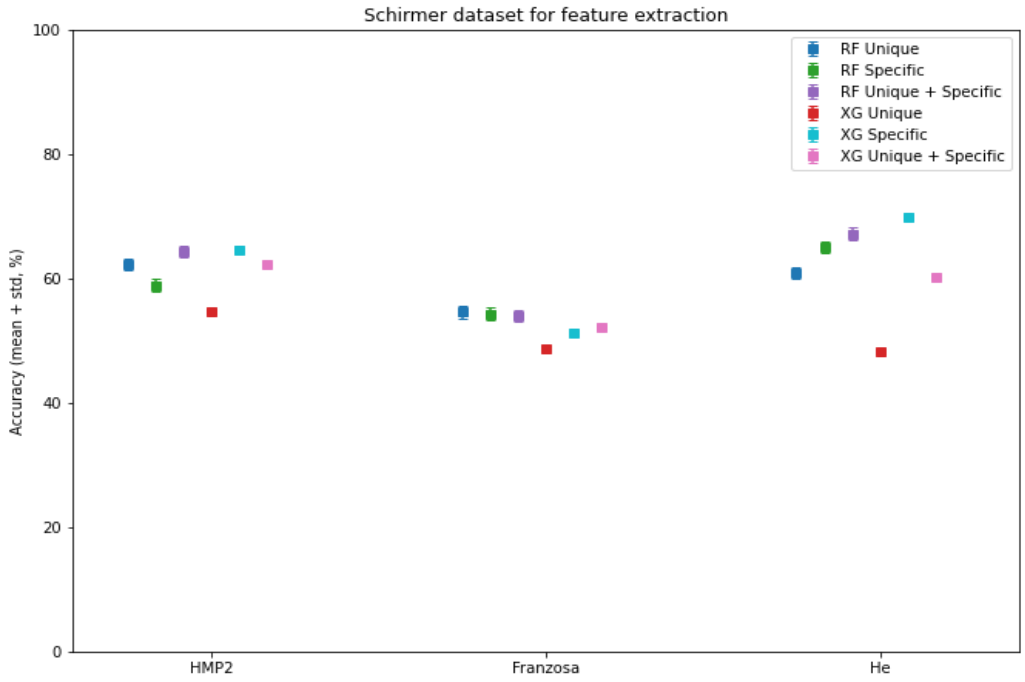


Рис. 4. График точности предсказания классов метагеномных образцов при использовании различных признаков и методов машинного обучения

Выводы

В работе разработана и реализована модификация алгоритма MetaFast для извлечения метагеномных признаков. Предложенный метод основан на использовании специфичных k-меров, которые выделяются из образцов с помощью многоступенчатой фильтрации и статистических методов. На данных метагеномных образцов секвенирования микробиоты кишечника пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника были выделены специфичные k-меры. На их основе построены характерные признаки, которые были применены в моделях машинного обучения для классификации новых образцов микробиоты. Точность классификации по новым признакам на специфичных k-мерах незначительно выше точности по признакам на уникальных, но остается небольшой. Наличие общих специфичных k-меров для различных наборов данных указывает больший потенциал для извлечения качественных признаков, чем по уникальным k-мерам, поэтому в дальнейшем предстоит выполнить эксперименты по подбору оптимальных параметров. Поиск новых методов, которые позволят увеличить точность классификации, остается для дальнейшего исследования.

Литература

1. Vladimir I. Ulyantsev, Sergey V. Kazakov, Veronika B. Dubinkina et al. MetaFast: fast reference-free graph-based comparison of shotgun metagenomic data // Bioinformatics. 2016. 06. –Vol. 32, no. 18. P. 2760–2767.
2. Schirmer M. et al. Dynamics of metatranscription in the inflammatory bowel disease gut microbiome // Nature microbiology. 2018. Т. 3. №. 3. С. 337-346.
3. He Q. et al. Two distinct metacommunities characterize the gut microbiota in Crohn's disease patients // Gigascience. 2017. Т. 6. №. 7. С. gix050.
4. Franzosa E. A. et al. Gut microbiome structure and metabolic activity in inflammatory bowel disease // Nature microbiology. 2019. Т. 4. №. 2. С. 293-305.
5. Lloyd-Price J. et al. Multi-omics of the gut microbial ecosystem in inflammatory bowel diseases // Nature. 2019. Т. 569. №. 7758. С. 655-662.

УДК 004.414.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВИСА ОЦЕНКИ БЛАГОПОЛУЧНОСТИ ГОРОДСКИХ РАЙОНОВ НА ОСНОВЕ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ

А.Д. Посулихина
Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.Е. Войтюк
Университет ИТМО
anastasiiaposulikhina@gmail.com; voitiukt@itmo.ru

Аннотация
В работе проводится сравнительный анализ методов и обзор критериев оценки благополучности городской среды, используемых в мире и в Российской Федерации, в частности. На основе полученных данных производится выбор наиболее оптимального решения для дальнейшей реализации сервиса оценки благополучности городских районов города Санкт-Петербурга. В заключении работы предлагается архитектура проектируемого сервиса и логическая модель данных.
Ключевые слова
Городская среда, оценка, благополучность городской среды, индекс благополучности, критерий оценки благополучности.

Согласно теории социальной обстановки Роджера Баркера, городская среда воздействует на состояние человека [1]. Она может оказывать влияние на множество жизненных аспектов, начиная от покрытия базовых потребностей в стабильности и защищенности, развитии и укреплении социальных связей, и заканчивая обеспечением самореализации, воздействием на настроение, ритм и качество жизни, удовлетворенность ею.

Для оценки качества городской среды используются такие методы, как сравнение, классификация, систематизация, ранжирование и рейтингование. Наиболее распространенным в информационно-аналитических системах является метод рейтингования. В нем используется расчет индексов благополучности городской среды на основе разнородных данных, то есть поддающихся измерению показателей, характеризующих разные аспекты проживания на какой-либо территории. Например, безопасность дорожного движения, которая может выражаться в количестве дорожно-транспортных происшествий за выбранный промежуток времени, или средняя стоимость аренды жилья, которая выражается в денежных единицах.

В настоящее время существуют различные проекты, как зарубежные (OECD Better Life, The Global Liveability Ranking (EIU)), так и отечественные (Индекс качества жизни в городах России (ВЭБ.РФ), Исследование развития комфортной городской среды в Москве и ведущих городах мира (BCG)), которые занимаются составлением рейтингов наиболее благоприятных для проживания стран, крупных городов мира или же городов конкретной страны на основе вычисляемых индексов благополучности городской среды. Важно обратить внимание на то, что основные критерии оценки, составляющие индекс, во многих решениях схожи – это безопасность, здоровье, экология, развитость инфраструктуры, работа и отдых, доход населения, но ни один из изученных аналогов не учитывает развитость инклюзивной среды, что важно с точки зрения социального равенства. Также стоит отметить, что возможность сравнения выбранных городов или стран по индексу или критериям оценки благополучности присутствует лишь в половине из всех исследованных сервисов. В завершение, все проанализированные системы направлены на оценку благополучности городов или стран в целом, тогда как для современного человека в большом городе актуальна проблема быстрого выбора

конкретного района постоянного или временного проживания, а информация об основных аспектах каждого из них разрознена по многочисленным Интернет-ресурсам.

Появление сервиса оценки благополучности именно городских районов поможет решению этой проблемы. Сервис позволит быстро получить доступ к наиболее важной оценочной информации о районах выбранного города с помощью индексов, численно отражающий уровень благополучности каждого, определять их текущее состояние, конкурентные преимущества и зоны роста, а также сравнивать между собой.

Для проектирования такого сервиса было необходимо:

– провести анализ предметной области (изучить потенциальных пользователей, определить список функциональных возможностей сервиса),
– выбрать наиболее оптимальный набор критериев оценки благополучности городской среды,
– получить методику формирования индекса,
– определить наиболее подходящий тип архитектуры для данного решения,
– составить логическую модель данных.

Первая версия сервиса предполагает оценку только районов Санкт-Петербурга. В результате анализа потенциальных пользователей были выделены такие группы, как: съемщики, покупатели, арендодатели, продавцы недвижимости и туристы, более подробная информация о которых представлена в таблице.

Таблица

Классы и характеристики пользователей

Класс пользователей	Основная ценность	Интересы	Ограничения
1	2	3	4
Съемщик или покупатель недвижимости	Более быстрый и эффективный выбор потенциального района проживания с учетом субъективных предпочтений	Быстрый доступ к агрегированной информации о районе города, возможность сравнения выбранного района с другими по субъективным критериям, простота использования сервиса	Необходим доступ к сети Интернет
Турист	Более быстрый и эффективный выбор района проживания с учетом субъективных предпочтений	Быстрый доступ к агрегированной информации о районе города, возможность сравнения выбранного район с другими по субъективным критериям, понимание близости культурно-исторических мест и достопримечательностей относительно планируемого места проживания, простота использования сервиса	Необходимо владеть русским языком и иметь доступ к сети Интернет
Арендодатель или продавец недвижимости	Более объективная оценка стоимости сдаваемого в аренду жилья с учетом особенностей района	Понимание достоинств и недостатков района, в котором планируется сдача недвижимости, простота использования сервиса	Необходим доступ к сети Интернет

Предполагается, что проектируемый сервис должен предоставлять краткую информацию о районах, формировать индекс благополучности районов с возможностью регулирования критериев, обеспечивать функционал сравнения районов по индексу или

критериям, освещать методику формирования индекса, а также хранить архив с данными за предыдущие годы. На рис. 1 представлена диаграмма вариантов использования сервиса, демонстрирующая потенциальных пользователей и основные функциональные возможности сервиса.

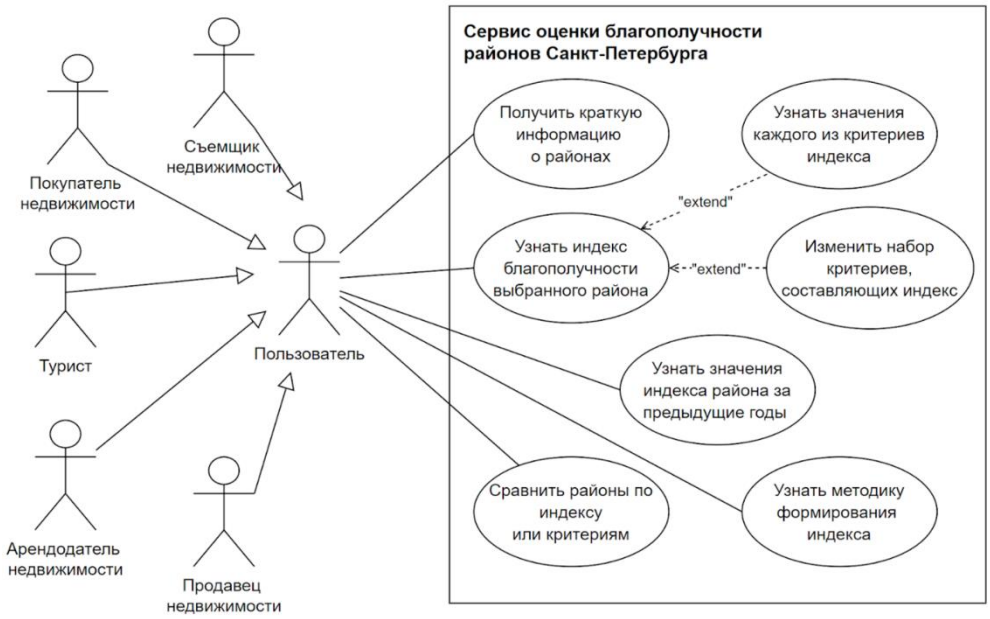


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования сервиса

Методика формирования индекса построена на оценке городской среды по следующим критериям:

– безопасность (состояние безопасности дорожного движения, количество преступлений, зарегистрированных за год),

– медицинское обслуживание (количество государственных медицинских учреждений),

– жилищные условия (средняя стоимость аренды жилья, доля жилого фонда, обеспеченного централизованными услугами тепло-, водо- и электроснабжения),

– социально-бытовая инфраструктура (количество детских садов, количество школ, количество продовольственных магазинов, количество торгово-развлекательных центров),

– транспортная доступность (обеспеченность общественным транспортом, загруженность),

– экологическая обстановка (количество парковых зон, количество заповедных зон, количество промышленных предприятий или промышленных зон, плотность застройки),

– инклюзивная среда (количество инклюзивных учреждений дошкольного образования, количество инклюзивных школ, доступности приоритетных объектов социальной инфраструктуры).

Для проектируемого решения данный набор критериев оптимален, поскольку он учитывает именно те характеристики, которые важны для повседневной жизни.

Значение каждого из критериев благополучности городского района – это численное выражение определенного аспекта жизни. Оно представляет собой среднее арифметическое нормированных значений показателей, формирующих критерий, и вычисляется следующим образом:

$$C_k = \frac{\sum_{k=1}^{m} \frac{I_k - I^{\min}}{I^{\max} - I^{\min}}}{m},$$

где C_k – численное значение критерия оценки благополучности городского района, I_k – численное значение показателя критерия.

Минимаксная нормализация значений показателей, составляющих критерий оценки благополучности городского района, необходима для приведения данных в разных единицах измерения и диапазонах значений к единому виду, позволяющему сравнивать их между собой.

Индекс благополучности городского района, в свою очередь, является суммой значений всех критериев и вычисляется по формуле:

$$N = \sum_{k=1}^{p} C_k,$$

где N – индекс благополучности городского района, C_k – численное значение критерия оценки благополучности городского района.

В качестве архитектуры сервиса предлагается классическая трехзвенная архитектура, позволяющая снизить требования к производительности клиентов, обеспечить централизацию бизнес-логики на сервере приложений, повысить модульность и распределить нагрузку на каждом уровне [2].

Клиентская часть архитектуры будет составлять слой представления, отвечающий за отображение пользовательского интерфейса и взаимодействие с сервисом. На данном слое будут реализованы логические компоненты:

– PL (Presentation Logic) – управление взаимодействием между пользователем и системой, которое будет выполнять обработку действий пользователя, например, выбор района для оценки его благополучности путем нажатия на соответствующей элемент интерфейса;

– PS (Presentation Services) – пользовательский интерфейс, который будет обслуживать клиентские действия на веб-сервисе, например, предоставлять в графическом виде информацию о районах города, критериях оценки благополучности, а также отображать то, что сообщает ему компонент PL.

Серверная часть архитектуры будет иметь слой бизнес-логики, на котором будет реализован компонент BL (Business Logic), отвечающий за алгоритмы реакции сервиса на действия пользователя, сбор данных о городских районах, правила их обработки и загрузки в базу данных, а также слой доступа к данным, отвечающий за хранение, выборку, модификацию информации. На данном слое будут реализованы такие логические компоненты, как:

– DL (Data Logic) – набор операций взаимодействия с базой данных, которые нужно выполнить для реализации прикладной логики управления данными;

– DS (Data Services) – набор действий системы управления базой данных, с помощью которых будет возможно реализовать компонент DL.

Пользовательский интерфейс предлагается реализовать на стеке веб-технологий HTML, CSS, Razor, сервер приложений – средствами платформы .NET 6.0 ASP.NET Core, предоставляющей удобные решения для создания веб-приложений. Для хранения данных будет использована реляционная системы управления базой данных MySQL, отличающаяся простотой, высокой скоростью операций чтения данных, надежностью.

Описанная архитектура в схематичном виде изображена на рис. 2.

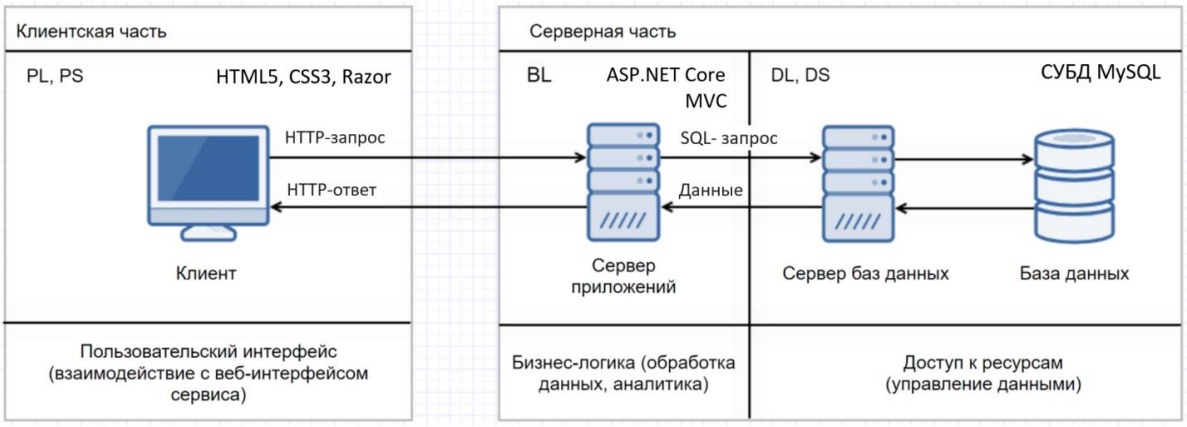


Рис. 2. Схема трехзвенной клиент-серверной архитектуры сервиса

Для организации хранения данных были выделены следующие сущности:

– город (City) – крупный населенный пункт, имеющий название, отличающийся географическими координатами и климатическими условиями;

– район (District) – административно-территориальная единица города, имеющая собственное название, географические координаты, характеризующаяся индексом благополучности городской среды;

– критерий (Criterion) – численное выражение аспекта жизни, на основании которого составляется индекс благополучности городского района;

– список критериев (CriterionList) – справочные данные о наименовании критериев, их минимальных и максимальных значениях;

– архив критериев (CriterionArchive) – исторические данные о критериях благополучности;

– показатель (Indicator) – численное выражение составляющей критерия оценки благополучности района, взятое из публичного источника информации;

– список показателей (IndicatorList) – справочные данные о наименовании показателей каждого из критериев, их минимальных и максимальных значениях;

– архив показателей (IndicatorArchive) – исторические данные о показателях критериев благополучности.

На основе описанных сущностей предложена логическая модель базы данных сервиса в нотации Мартина [3], изображенная на рис. 3.

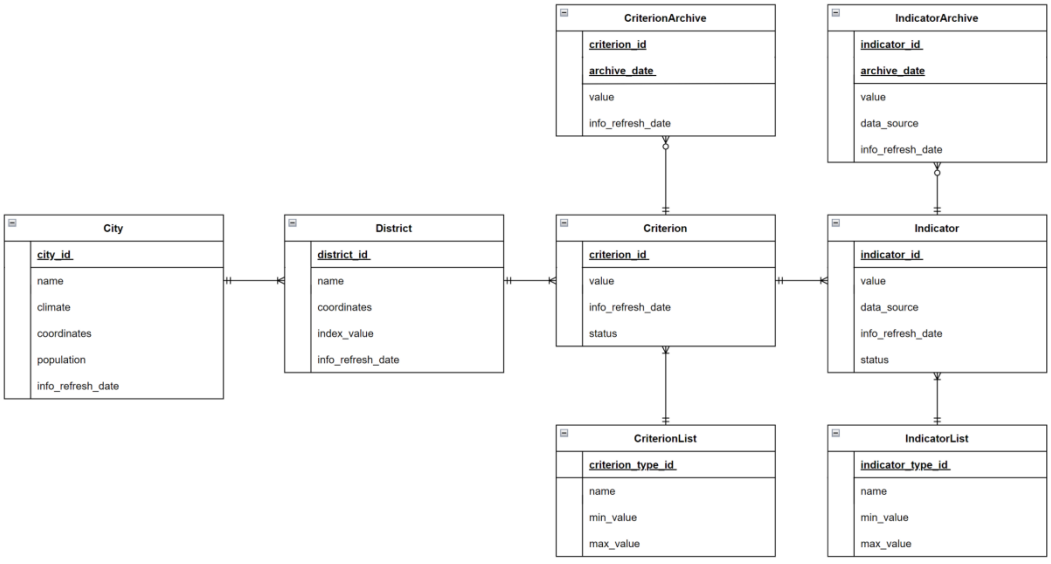


Рис. 3. Логическая модель данных сервиса в нотации Мартина

Применение спроектированного решения должно ускорить и упростить процесс выбора потенциального места проживания с учетом субъективных предпочтений, привести к уменьшению времени на формирование представления о преимуществах и зонах роста различных районов Санкт-Петербурга, поскольку вся важная информация об их основных характеристиках будет предоставлена пользователям сервиса в одном месте, а также будет собрана заранее, что исключит ситуации с отсутствием доступа к какому-либо сервису в требуемый момент времени.

В настоящее время ведется активная разработка сервиса. В дальнейшем планируется расширить его функциональные возможности для охвата всех городов-миллионеров России и реализовать создание отчетной документации для отслеживания динамики изменения благополучности районов, что в свою очередь позволит осуществлять системный мониторинг внутри города.

Литература

1. Полякова Н.В. Диагностика комфортности среды проживания в городах: обоснование и формирование методики / Полякова Н.В., Залешин В.Е., Поляков В.В. DOI: 10.17150/2500–2759.2020.30(1).121-129 // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30. № 1. С. 121–129.
2. Водяхо А.И., Выговский Л.С., Дубенецкий В.А., Архитектурные решения информационных систем. Санкт-Петербург: Лань. 2017. 356 с.
3. Нотация Мартина (Crow's Foot) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studme.org/77223/informatika/notatsiya_martina_crows_foot (дата обращения: 10.03.2022).

УДК 004.896

УПРАВЛЕНИЕ ЗВУЧАНИЕМ МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА С ПОМОЩЬЮ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ

Г.А. Прошян
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.Г. Штенников
Университет ИТМО
e-mail: proshian.itmo@gmail.com

Аннотация
В данной работе предлагается новый метод управления звучанием музыкального инструмента: с помощью эмоций. Технология реализована в виде программного продукта с графическим интерфейсом, использующего свёрточную нейронную сеть для распознавания эмоций музыканта по лицевой экспрессии. Была произведена работа по подбору архитектуры нейронной сети. Предлагаемый подход упрощает существующие практики музыкантов и предоставляет им новые возможности.
Ключевые слова
Свёрточная нейронная сеть, FER, распознавание эмоций, DAW, MIDI.

Профессиональные музыканты придают большое значение тембру инструмента, поскольку он влияет на восприятие настроения исполняемого произведения. Чтобы во время исполнения менять звучание, они используют множество педалей и ползунков. В данной работе предлагается новый и более естественный способ управления звучанием инструмента: с помощью собственных эмоций, реализованный в виде программного продукта, названного Face Music Control.

Face Music Control имеет два режима: режим настройки и режим игры на музыкальном инструменте (рис. 1). Режим игры реализует основной цикл программы, представленный на рис. 2.

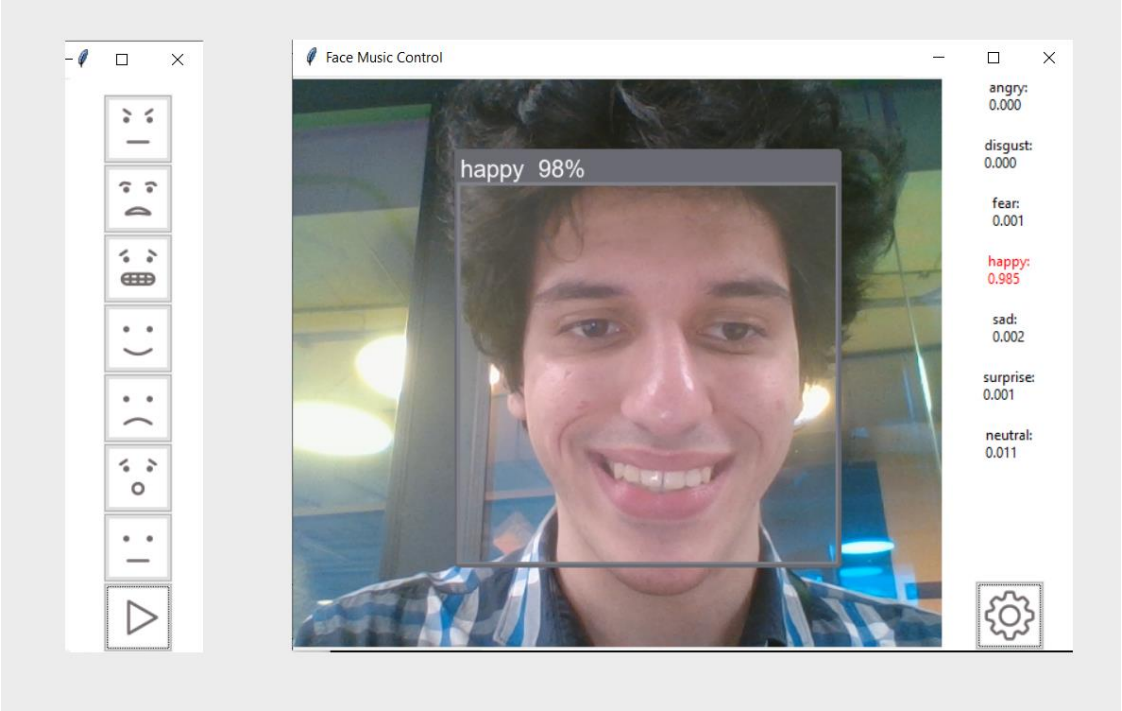


Рис. 1. Интерфейс программы в режиме настройки (слева) и режиме игры (справа)

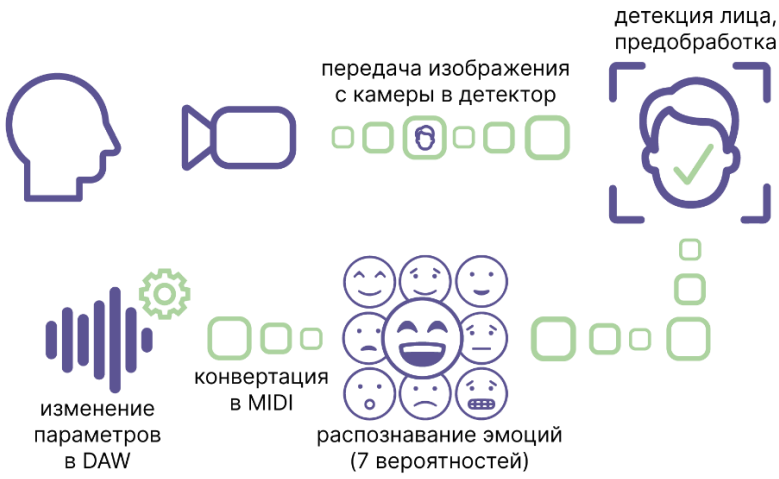


Рис. 2. Основной цикл программы

В режиме игры эмоции распознаются по последовательно получаемым с камеры изображениям лица исполнителя. Для распознавания используется свёрточная нейронная сеть KMUnet, которая получает на вход изображение в оттенках серого, представленное в виде матрицы размером 48x48 и возвращает массив с вероятностями семи базовых эмоций: радость, печаль, удивление, злость, страх, отвращение, нейтральная эмоция. Вероятности эмоций преобразуются в Control Change MIDI события, которые срабатывают на открытом или созданном программой виртуальном MIDI порте. От виртуального порта MIDI события принимает DAW (digital audio workstation – общепринятый тип компьютерных систем, применяемых для звукозаписи или живых выступлений).

Чтобы связать эмоции и параметры звучания, которыми они должны управлять, необходимо открыть режим настройки в Face Music Control и режим MIDI mapping в DAW и последовательно нажимать на кнопки с графическим отображением эмоций в Face Music Control и элементы интерфейса в DAW. По возвращении в обоих программах в основной режим, параметры звучания музыкального инструмента будут динамически меняться в соответствии с эмоциями музыканта.

Чаще всего для распознавания эмоций по изображениям в качестве датасета используется FER2013, так как это один из самых больших и популярных датасетов, собранных для решения данной задачи. Он содержит 35887 снимков и рисунков лиц людей в оттенках серого, представленных матрицами 48x48. Каждому изображению сопоставлена метка, соответствующая одной из семи базовых эмоций. Подробное описание того, как был получен датасет приводится создателями FER2013 Ian J. Goodfellow и Mehdi Mirza в статье [1]. Во всех методах, упоминаемых в данной работе, модели обучались на FER2013.

Известно большое множество подходов к распознаванию эмоций по лицевой экспрессии. На данный момент, насколько мне известно, наивысшим значением метрики accuracy на тестовом датасете обладает модель, описанная в статье [2]. В указанной работе применяется ансамбль из восьми модификаций нейронных сетей VGG (10 слоёв), Inception (16 слоёв) и ResNet (33 слоя). Такой подход является крайне эффективным: авторам удалось добиться значения метрики accuracy 75,2%, в то время как по исследованиям в [1] человек в среднем на тестовой выборке FER2013 классифицирует эмоции с accuracy 65%. Тем не менее, такое решение не могло подойти, так как применять ансамбль из большого множества нейронных сетей с десятками слоёв для работы в реальном времени невозможно.

В качестве нейронной сети для данного программного продукта была подобрана архитектура, здесь и далее именуемая KMUnet. Она описана на рис. 3. Данная архитектура дала accuracy 61,4% на тестовой выборке.

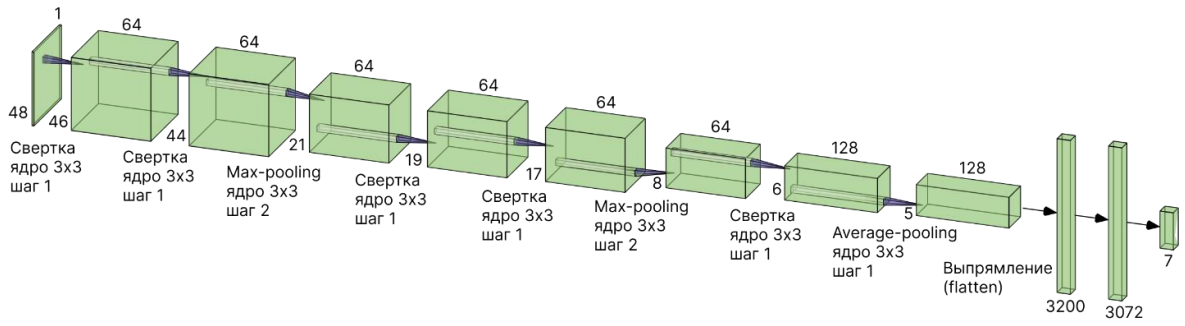


Рис. 3. Архитектура KMUnet

После каждой из операций max-pooling производится dropout с вероятностью зануления нейрона p = 0,55. После полносвязного слоя, содержащего 3072 нейрона, производится dropout с вероятностью зануления нейрона p = 0,5. В качестве оптимизатора используется adam со скоростью обучения 0,001. Функция активации каждого из свёрточных слоёв и полносвязного слоя – ReLU. Роль функции активации на последнем слое выполняет softmax, так как в поставленной задаче необходимо интерпретировать выходы нейронной сети как вероятности. Функция потерь – кросс-энтропия.

С матрицей ошибок конечной модификации KMUnet можно ознакомиться на рис. 4. Данная архитектура является результатом множества экспериментов. В таблице ниже в графе «Модификация KMUnet» перечислены отличия между вышеописанной конечной версией архитектуры и некоторыми сравниваемыми. Для каждой модификации указаны значения метрики accuracy и функции потерь на валидационном датасете.

Таблица

Модификации KMUnet и их accuracy и loss на валидационном датасете

Модификация KMUnet	accuracy	loss
Каскады свёрток с ядрами 3x3 заменены на свёртки с ядрами 5x5, нет dropout, после третьего свёрточного слоя отсутствует pooling, последний свёрточный слой имеет ядро 4x4	0,5453	1,3721
Нет dropout, после третьего свёрточного слоя отсутствует pooling, последний свёрточный слой имеет ядро 4x4	0,5603	1,1787
Последний свёрточный слой имеет ядро 4x4, после последнего свёрточного слоя, после полносвязного слоя с 3072 нейронами отсутствует dropout, у остальных dropout вероятность зануления нейрона = 0,5	0,5809	1,1618
Average pooling после последнего свёрточного слоя имеет ядро 2x2, после последнего свёрточного слоя и после полносвязного слоя с 3072 нейронами отсутствует dropout, у остальных dropout вероятность зануления нейрона = 0,5	0,5954	1,2009
Конечная модификация KMUnet (описана в данной статье)	0,6141	1,1371

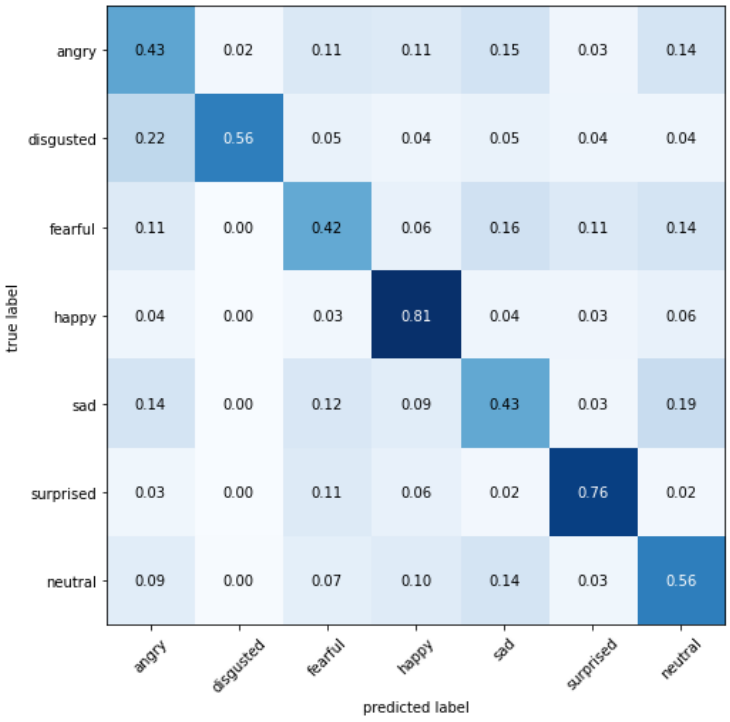


Рис. 4. Матрица ошибок KMUnet

Результатом работы является программный продукт с графическим интерфейсом. Подобранная архитектура, к сожалению, не является наиболее точной: обладая accuracy 61,4% на тестовом датасете, она значительно уступает ансамблю нейронных сетей [2], accuracy которого на тестовом датасете равна 75,2%. Тем не менее, в рамках решаемой задачи KMUnet является более предпочтительным решением в связи с необходимостью минимизировать вычисления. Дело в том, что, во-первых, нейронная сеть должна работать в реальном времени, в частности, на непроизводительных пользовательских компьютерах, во-вторых, подразумевается, что параллельно с Face Music Control всегда будут запущены другие требовательные к ресурсам процессы для эмуляции музыкального оборудования (виртуальных усилителей, эффектов, оборудования звукооператоров).

В результате тестирования программного продукта были выявлены некоторые недостатки такие как разные результаты модели распознавания при разном освещении и при распознавании эмоций у разных людей. В дальнейших планах по развитию проекта – устранение отмеченных недостатков.

В ходе апробации Face Music Control были найдены потенциальные способы применения. Например, при игре на синтезаторе или MIDI-клавиатуре, музыкант может уровнем счастья влиять на форму синтезируемой волны: чем выше вероятность счастья, тем более квадратная волна, чем ниже – тем ближе к синусоидальной. Также возможным сценарием использования Face Music Control у электрогитаритов является управление с помощью уровня злости ручкой «level» на виртуальной педали «overdrive» или «distortion». Конечно, перечисленные варианты использования программного продукта не являются единственными, и Face Music Control позволяет связать с одной из семи эмоций любой доступный параметр звучания в DAW.

Face Music Control применим для электронных и электрических музыкальных инструментов или при снятии сигнала с микрофона для любых музыкальных инструментов. Данное программное обеспечение будет особенно полезно музыкантам во время импровизации. Так как MIDI событиями принято управлять и световой аппаратурой, разработка может использоваться на живых выступлениях не только для вышеописанных целей, но и для поддержания визуальной составляющей концерта.

Face Music Control дает музыкантам новый опыт и может помочь им с большей легкостью музыкально самовыражаться.

Литература

1. Goodfellow I.J. et al. Challenges in representation learning: A report on three machine learning contests // Neural Networks. 2015. V. 64. P. 3–5.
2. Pramerdorfer M., Kampel C. Facial Expression Recognition using Convolutional Neural Networks: State of the Art // arXiv preprint arXiv:1612.02903. 2016.

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-СИМВОЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ В РАЗРАБОТКЕ ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫХ СИСТЕМ

Д.В. Радюш
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.И. Муромцев
Университет ИТМО
daniil.radyush@gmail.com

Аннотация
Дальнейшее качественное развитие приложений искусственного интеллекта требует концептуально новых подходов в связи с ограниченностью преобладающих в настоящий момент моделей глубокого обучения. Перспективным направлением для исследований в этой связи могут считаться гибридные модели, сочетающие преимущества нейронных сетей и символьных методов. В работе рассматриваются предпосылки применения нейро-символьных подходов в области вопросно-ответных систем, анализируются гибридные модели и вопросно-ответные реализации, определяются актуальные тенденции и проблемы данного направления.

Ключевые слова
Глубокое обучение, обработка естественного языка, гибридный искусственный интеллект, нейро-символьная модель, вопросно-ответная система, граф знаний, логический вывод.

Актуальность

Вопросно-ответные системы в настоящее время являются важной областью для реализации моделей искусственного интеллекта и обработки естественного языка, в частности. Их совершенствование при этом представляет интерес и как способ стимулировать развитие ряда взаимосвязанных приложений, таких как голосовые ассистенты, поисковые и экспертные системы.

Значительная часть решений из области вопросно-ответных систем на текущий момент существенно завязана на реализации моделей глубокого обучения. Это позволяет опираться на их вычислительные возможности и универсальность, однако также задает определенные ограничения. К примеру, создается существенная зависимость от объемов данных, использованных при обучении, что затрудняет возможность адаптации модели под новые факты и подразумевает экстенсивный характер её улучшения. Кроме того, вывод ответов исключительно на основе нейронных сетей не позволяет интерпретировать процесс их получения, что является нежелательным в контексте ряда приложений.

В этой связи актуальным становится так называемое гибридное направление, которое исходит из возможности совмещения нейронных сетей с другими концепциями из области искусственного интеллекта для преодоления их ограничений и формирования новых свойств. Одним из подмножеств этого направления являются нейро-символьные модели, рассматривающие интеграцию символьного вывода и архитектур нейронных сетей.

Существенное внимание к данному направлению было привлечено в связи с победой в 2011 году гибридной вопросно-ответной системы IBM Watson в телевикторине «Jeopardy!». В последующие годы вокруг IBM Watson была сформирована своего рода бизнес-экосистема, обслуживающая значительное количество корпоративных клиентов из различных отраслей.

В настоящее время выделяют несколько основных преимуществ, на получение которых ориентированы разработка и применение нейро-символьного подхода. В частности, в соответствии с [1] можно выделить:

1. Обобщаемость на новые данные (Out-of-distribution Generalization).
2. Интерпретируемость (Interpretability).
3. Уменьшение требований к объему выборки (Reduced size of training data).
4. Адаптируемость к новому контексту (Transferability).
5. Логическая обоснованность (Reasoning).

Приведенные выше свойства не только в некотором смысле перекрывают часть наиболее значительных недостатков современных моделей глубокого обучения, но и являются важными с точки зрения приближения к решению задачи реализации сильного искусственного интеллекта.

Общая характеристика нейро-символьных моделей

В существующих на данный момент архитектурах нейро-символьных моделей в целом можно выделить несколько блоков специальной направленности. Хотя при этом следует заметить, что они могут представлены не всегда в явно выраженном виде и существенно отличаться в зависимости от конкретной системы.

Первый блок преимущественно связан с предобработкой входных данных. В основном это подразумевает решение стандартизированных задач из области обработки естественного языка, таких как распознавание именованных сущностей (Named entity recognition, NER), частеречная разметка (part-of-speech tagging, POS tagging) и другие. Кроме того, на этом этапе обычно получают соответствующие векторные представления. Для реализации вышеперечисленных задач в большинстве случаев могут применяться различные предобученные модели, например BERT. В то же время в зависимости от реализации используются и более специализированные алгоритмы извлечения взаимосвязей из входных данных.

Второй блок отвечает за вовлечение в функционирование модели определенных баз знаний. Прежде всего, в контексте построения вопросно-ответных систем особое значение имеют графы знаний, которые позволяют задействовать огромные массивы структурированных данных общего и специального характера. Среди наиболее часто используемых графов знаний можно назвать DBpedia, Wikidata и ConceptNet. Также в качестве базы знаний может выступать формализация контекста рассматриваемой задачи, например, специально разработанный набор концепций и правил для осуществления логического вывода.

Наконец, третий блок реализует логический вывод и является наиболее отличительным элементом нейро-символьных систем. В данном контексте представляется возможным выделить несколько классов моделей. Первый класс подразумевает адаптацию языков логического программирования, таких как Prolog [2] или DeepProbLog [3]. Альтернативой же можно назвать концепцию моделирования элементов логического аппарата с помощью векторных представлений и нейронных сетей. Из наиболее актуальных подходов такого рода можно назвать нейронные логические машины (Neural Logic Machines, NLM) [4], а также логические нейронные сети (Logical Neural Networks, LNN) [5].

Нейро-символьные реализации вопросно-ответных систем

К настоящему моменту существует два основных типа вопросно-ответных систем, при создании которых активно применяются нейро-символьные модели: вопросно-ответные системы по визуальным данным (Visual Question Answering, VQA) и вопросно-ответные системы по базам знаний (Knowledge Base Question Answering, KBQA).

В области VQA разработка нейро-символьных моделей во многом отталкивается от специальных наборов данных. Примером для этого может служить CLEVR [6],

который представляет собой совокупность картинок с разноцветными геометрическими фигурами и вопросов общего рода, касающихся их расположения или свойств. Такая постановка задачи позволяет выявить проявления своего рода рассудка у модели, так как в общем случае невозможно будет просто найти необходимое соответствие в некоторой имеющейся базе данных или прошлом опыте, предполагается оперирование понятиями в приближенном к человеку виде. Важность CLEVR заключается в том, что он позволяет проявить полезные свойства нейро-символьных решений и показать их потенциальное преимущество над моделями глубокого обучения.

The Neuro-Symbolic Concept Learner (NS-CL) [7] является одним из примеров моделей, созданных под описанный набор данных (рис. 1). Ключевым элементом данной системы является совокупность формализованных для задачи операций (например, фильтрация или подсчёт), из которых для каждой конкретной ситуации формируется специального рода программа, которая и осуществляет логический вывод. Также в модели из текста вопроса выделяются векторные представления наблюдающихся в выборке значений атрибутов (цветов, геометрических форм и др.), что позволяет характеризовать объекты через схожесть с их векторными представлениями и реализовать вывод в соответствии с полученной программой. Таким образом, интерпретируемость работы данной системы и её логическая обоснованность по сути задана на архитектурном уровне.

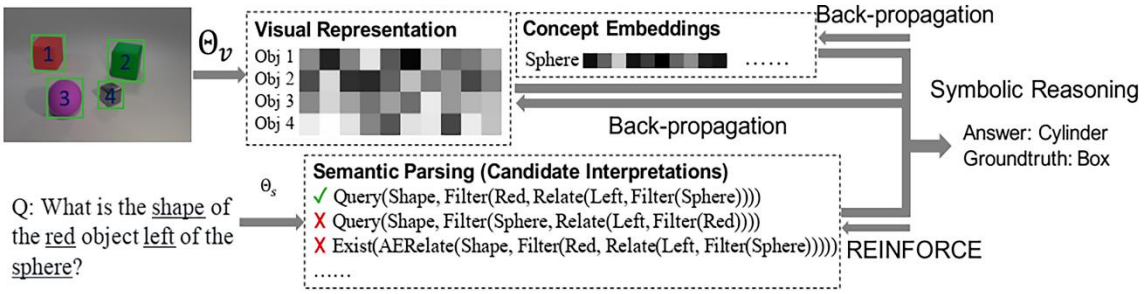


Рис. 1. Пример работы модели NS-CL из [7]

Помимо этого, данными соответствующих экспериментов подтверждается наличие и других нейро-символьных свойств, рассмотренных ранее. В частности, тесты показывают, что при снижении объема обучающей выборки до 10% от полной точность модели (accuracy) на наборе данных CLEVR снижается с 99.6% до 98,9%, тогда как точность отдельных моделей глубокого обучения снижается более чем в 2 раза. Более того, авторы фиксируют аналогичную устойчивость значения метрик при добавлении более сложных сцен, новых атрибутов и сочетаний, а также приводят примеры успешного переноса данной системы на другие схожие наборы данных. В результате можно констатировать, что уже к настоящему моменту имеются примеры реализаций в той или иной степени соответствующие целям построения нейро-символьных моделей.

Другим таким примером уже из контекста KBQA может служить актуальная разработка от компании IBM – модель Neuro-Symbolic Question Answering (NSQA) [8]. Данная система имеет характерную нейро-символьным моделям структуру, так как состоит из трех по своей сути самостоятельных блоков, каждый из которых имеет собственную задачу (рис. 2).

Первая часть системы с помощью базы знаний в виде корпуса PropBank и DBpedia выявляет сущности из вопроса и отражает их взаимосвязи в форме графа. Второй элемент NSQA на его основе формирует подграф DBpedia, исключая избыточные связи и находя соответствия для сущностей и отношений.

Отдельного разбора заслуживает модель логического вывода в системе - LNN. С ее помощью исходный вопрос из подграфа DBpedia преобразуется в логическое

выражение, а затем и в SPARQL запрос к полному графу, приводящий к искомому ответу. К ключевым особенностям этой модели можно отнести то, что она позволяет в явном виде обучать по выборке элементы логической формулы в рамках нейронной сети, решая проблему необходимости ручного формирования правил вывода. В то же время это обеспечивает интерпретируемость модели, а возможность осуществлять в сети двунаправленный вывод определяет её логическую обоснованность. Кроме того, в рамках LNN истинность термов формулы задается интервально, что позволяет отразить степень неопределенности системы при выводе и моделировать неполноту имеющихся знаний.

Система NSQA тестировалась разработчиками на нескольких наборах данных, непосредственно сформированных для построения вопросно-ответных систем с помощью DBpedia, а именно QALD-9 и LC-QuAD 1.0, достигнув на них state-of-the-art результата по значению F1 метрики. При этом концептуальная универсальность модели логического вывода и возможность привлекать другие базы знаний подразумевает определенную независимость от контекста вопроса.

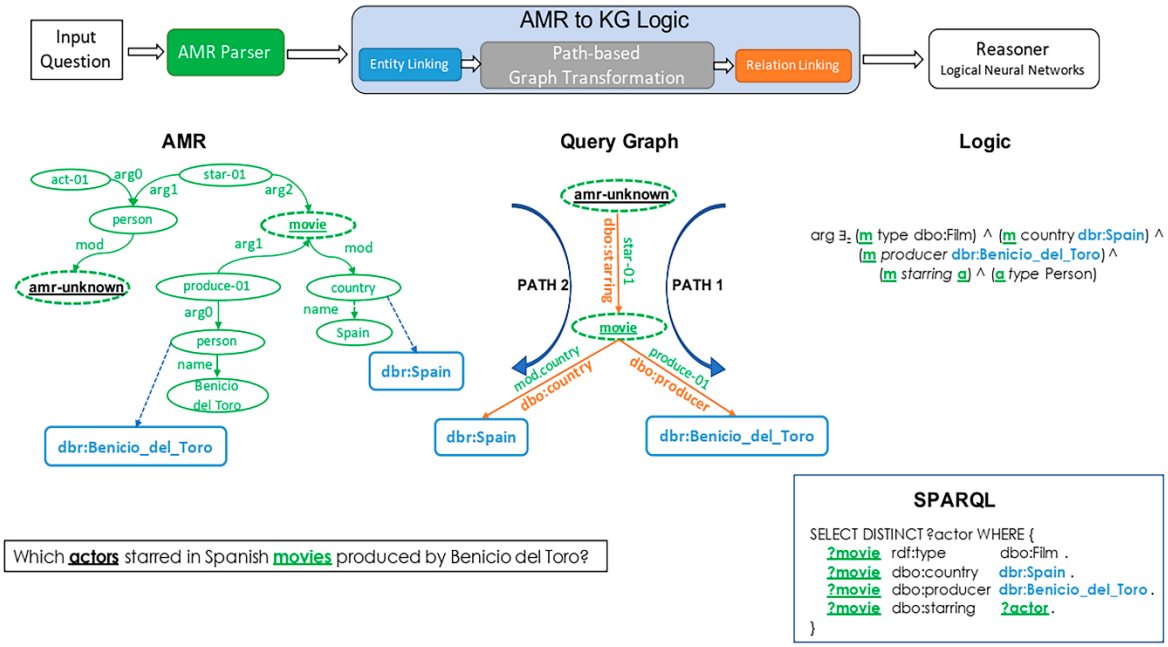


Рис. 2. Пример работы модели NSQA из [8]

Выводы

Таким образом, анализ примеров из области вопросно-ответных систем показывает, что уже в настоящее время нейро-символьные реализации обладают рядом важных с точки зрения практического применения характеристик. Это позволяет говорить об актуальности данного направления развития моделей и должно способствовать росту числа соответствующих исследований для дальнейшего прогресса.

В этой связи, в частности, актуальным остается разработка специализированных алгоритмов оптимизации, способных применяться для обучения нейро-символьных архитектур. Это определяется невозможностью в ряде случаев применять распространенные алгоритмы оптимизации параметров глубоких нейронных сетей, что связано, прежде всего, с вовлечением в модели логического аппарата. В частности, в случае реализации NS-CL можно отметить, что для тренировки используется алгоритм из области обучения с подкреплением REINFORCE.

Также совмещение символьного искусственного интеллекта с возможностями глубокого обучения пока еще не позволило окончательно преодолеть одно из основных его ограничений – необходимость проработки правил для логического вывода. Это

подразумевает непосредственное определение таких правил в процессе создания соответствующих реализаций, что в свою очередь затрудняет разработку и ограничивает возможность адаптировать модели под другие области знаний. Тем не менее, в то же время, нельзя не подчеркнуть определенного прогресса в этом направлении, обусловленного разработкой более универсальных моделей для логического вывода, таких как LNN.

Актуальным направлением для дальнейшего развития и продвижения нейро-символьных моделей также с практической точки зрения является увеличение числа специальных наборов данных. Это позволит дополнительно акцентировать преимущества нейро-символьного искусственного интеллекта и стимулировать разработку новых архитектур и решений.

Литература

1. Hamilton K., Nayak A., Božic B. amd Longo L. Is Neuro-Symbolic AI Meeting its Promise in Natural Language Processing? A Structured Review// arXiv preprint arXiv:2202.12205v1 – 2022., https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.12205.
2. Weber L., Minervini P., Münchmeyer J., Leser U., Rocktäschel T., NLProlog: Reasoning with Weak Unification for Question Answering in Natural Language // arXiv preprint arXiv:1906.06187. 2019.
3. Manhaeve R., Dumancic S., Kimmig A., et al. DeepProbLog: neural probabilistic logic programming // Proceedings of the 32nd International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS). 2018. P. 3753-3763.
4. Dong H., Mao J., Lin T., Wang C., Li L., Zhou D. Neural logic machines // arXiv preprint arXiv:1904.11694. 2019.
5. Riegel R., Gray A., Luus F., et al. Logical Neural Networks // arXiv preprint arXiv:2006.13155. 2020.
6. Johnson J., Fei-Fei Li, Hariharan B., Zitnick C. L., et al. CLEVR: A Diagnostic Dataset for Compositional Language and Elementary Visual Reasoning // arXiv preprint arXiv: 1612.06890. 2016.
7. Mao J., Gan C., Kohli P., et al. The Neuro-Symbolic Concept Learner: Interpreting Scenes, Words, and Sentences From Natural Supervision // Proceedings of the 7th International Conference on Learning Representations (ICLR). 2019.
8. Kapanipathi P., Abdelaziz I., Ravishankar S., et al. Leveraging Abstract Meaning Representation for Knowledge Base Question Answering // Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL-IJCNLP. 2021. P. 3884-3894.

УДК 004.932.2

МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ ЛИЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО ВИЗУАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Е.В. Рюмина
Научный руководитель – д.т.н., доцент А.А. Карпов
Университет ИТМО, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук
e-mail: ryumina_ev@mail.ru

Исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента РФ (гранты №МК-42.2022.4 и № НШ-17.2022.1.6).

Аннотация
В работе предложен метод интеллектуального оценивания персональных качеств личности человека по визуальным данным. В основе разработанного метода лежат нейросетевые признаки и мультизадачная рекуррентная нейросеть для оценивания пяти персональных качеств личности человека. Исследование проводилось на крупномасштабном корпусе First Impression V2. На валидационной и тестовой выборках корпуса First Impression V2 была получена точность 0,9148 и 0,9137, что превосходит известные результаты современных методов.

Ключевые слова
Персональные качества личности, эмоции, визуальные данные, рекуррентная нейросеть, сверточная нейросеть, нейросетевые признаки

Введение

В последние годы интеллектуальному анализу поведения человека уделяется большое внимание. В первую очередь это связано со стремлением человека научить машины понимать намерения другого человека, его предпочтения, интересы и т.д. Аффективные вычисления – это быстро развивающееся направление развития искусственного интеллекта. Именно в рамках этого направления разрабатываются новые системы интеллектуального распознавания психоэмоционального состояния человека, включая оценку его персональных качеств личности (ПКЛЧ). Так, ПКЛЧ отражают индивидуальные различия в мыслях, чувствах и поведении людей. Разрабатываемые системы для оценивая ПКЛЧ уже сейчас находят свое применение в таких областях как: маркетинг, рекрутинг, криминалистика, здравоохранение и медицина, образование [1].

В современной литературе, посвященной интеллектуальному оцениванию ПКЛЧ, предпочтительна в использовании пятифакторная модель OCEAN, которая выделяет пять качеств:

1. Открытость опыту (ОО) – характеризует человека с точки зрения его любопытности, интеллекта.
2. Доброжелательность (ДЖ) – характеризует человека с точки зрения его эффективности, организованности.
3. Экстраверсия (ЭВ) – характеризует человека с точки зрения его общительности, энергичности.
4. Добросовестность (ДС) – характеризует человека с точки зрения его способности прийти к согласию, надежности.
5. Негативная эмоциональность (НЭ) – характеризует человека с точки зрения его стрессоустойчивости, эмоциональной стабильности.

Оценка каждого из пяти качеств представляется в диапазоне [0, 1]. Это означает, что каждое качество можно рассматривать с точки зрения высокого (выше 0,5) и низкого (ниже 0,5) показателя. Так, например, обладатели высокого показателя для качества ОО считаются творческими людьми, которые легко переносят сюрпризы судьбы. Низкий показатель этого качества говорит о консервативности человека, не склонного к риску, предпочитающего привычный уклад жизни. Более подробно со всеми качествами можно ознакомиться в [2].

Создание интеллектуальных систем оценивания ПКЛЧ невозможно без исследовательских корпусов. Поэтому на сегодняшний день известны более 10 корпусов для решения данной задачи. Предлагаемые для исследователей корпуса в основном отличаются следующими характеристиками:

- количеством привлеченных информантов,
- возрастным диапазон информантов,
- охватом модальностей (аудио, видео, текст, бимодальные, многомодальные),
- условиями записи (лабораторные, натурные),
- способ оценивания (самооценка или оценка коллег посредством прохождения опросников, сравнительная оценка двух информантов на предмет наличия определенного качества у одного из них).

Именно эти характеристики отвечают за репрезентативность корпуса. В этом исследовании был выбран корпус First Impression V2 [3], поскольку в нем представлено более чем 3000 информантов в возрастном диапазоне от 11 до 60 лет, на сегодняшний день не существует более крупномасштабного корпуса.

Исследовательские данные

Корпус First Impression V2 собирался посредством видеохостинга YouTube. Для исследователей доступно три модальности: аудио, видео и текст. Общее количество аудиовизуальных записей составило 10000. Средняя продолжительность всех записей в исследовательском корпусе – 15 секунд. Минимальная частота кадров в секунду (FPS) – 7, максимальная – 30. Записи поделены на выборки: обучающая содержит 6000 записей, валидационная и тестовая – по 2000 записей. Для аннотации корпуса привлекалось 2500 экспертов. Каждый эксперт аннотировал пару из двух информантов на предмет наличия определенного качества у одного из них. 10000 записей делились на более чем 300000 неповторяющихся пар. Затем с помощью модели Bradley-Terry-Luce результаты попарного сравнения преобразовывались в оценки в диапазоне [1].

Сравнение современных методов

Корпус First Impression V2 активно используется научным сообществом для реализации методов интеллектуального оценивания ПКЛЧ. При этом из всех предложенных решений существует два [4, 5], которые на сегодняшний день являются наиболее эффективными по показателю точность. В работах предлагаются методы для анализа нескольких модальностей (аудио, видео и текст). В данном исследование рассматривается только методы для анализа видеоданных по лицу.

В работе [4] авторы комбинируют нейросетевые и экспертные признаки. Для извлечения нейросетевых признаков, авторы предварительно обучают нейросеть VGG-Face задаче распознавания эмоционального состояния человека. Экспертные признаки извлекаются с помощью локальных бинарных шаблонов Габора из трех ортогональных плоскостей (Local Gabor Binary Patterns from Three Orthogonal Planes). Признаки извлекаются для каждого кадра в видео. Затем для всего видео из n-векторов признаков вычисляется статистическая информация (среднее значение, стандартное отклонение, смещение, наклон и кривизна), что позволяет учитывать временной контекст. Статистическая информация, полученная из нейросетевых и ручных признаков, объединяется в один вектор и подается на машину экстремального обучения с

мультимодальным ядром (Multi-Modal Kernel Extreme Learning Machine) для выполнения оценивания пяти ПКЛЧ, с помощью этого метода достигается точность 0,9143 на валидационной выборке корпуса First Impression V2. Решение комбинирования двух наборов признаков является как преимуществом, так и недостатком метода, поскольку с точки зрения точности эффективность метода повышается, при этом увеличиваются вычислительные ресурсы необходимые для извлечения признаков. К преимуществам данного метода можно отнести то, что авторы в своей работе учитывают эмоциональную информацию о лице. Это является важным моментом для оценивания ПКЛЧ, поскольку именно последовательность эмоциональной и поведенческой реакции на стимулы отвечает за формирование определенных качеств.

Исследователи [5] используют сверточную (ResNet v2 101) и рекуррентную (Long Short-Term Memory, LSTM) нейросети для извлечения нейросетевых признаков. В методе предварительно обучаются 5 независимых моделей (одна модель на одно качество) задаче оценивания ПКЛЧ. После первого этапа обучения, авторы выполняют поэтапное слияние 5 моделей: 1) замораживают сверточные слои в каждой из моделей; 2) удаляют регрессионные слои в каждой из моделей; 3) объединяют нейросетевые признаки перед регрессионным слоем в один вектор; 4) подают объединенный вектор признаков по всем качествам на полносвязную нейросеть с модулем внимания для последующего дообучения 5 LSTM и 1 полносвязной нейросетей. Оценивание ПКЛЧ выполняется по первым 8 секундам видео. С помощью этого метода достигается точность 0,9130 на тестовой выборке корпуса First Impression V2. Так же, как и в предыдущем методе сложная архитектура нейросетевой модели значительно увеличивает вычислительные ресурсы необходимые для извлечения признаков. При этом в отличие от предыдущего метода временной контекст изучается не посредством вычисления простой статистической информации, а с помощью рекуррентной нейросети.

Основываясь на преимуществах и недостатках методов [4, 5] в текущей статье предлагается новый метод оценивая ПКЛЧ.

Предлагаемый метод оценивания ПКЛЧ

На рисунке проиллюстрирована функциональная схема предлагаемого метода оценивания ПКЛЧ.

Из рисунка следует, что на вход метода подается видео. На первом этапе происходит деление видео на сегменты M. В зависимости от длины последовательности, состоящей из кадров N, количество сегментов различное. Так, если видео имеет продолжительность 15 секунд при FPS = 30, длиной последовательности в 2 секунды с учетом пересечения в 1 секунду получится 16 сегментов по 10 кадров в каждом. Если в сегментах количество кадров меньше 10, то последний кадр дублируется до нужной длины. Аналогично, при длине последовательности 4 секунды, количество сегментов = 8 (20 кадров в каждом). Для 6 секунд – 4 сегмента (30 кадров в каждом). Для обеспечения одинаковых условий обработки рекуррентной нейросети по всем видео FPS снижается до 5. Далее следует этап предварительной обработки для каждого кадра в сегменте, при котором локализуется область лица и выполняется его масштабирование до разрешения 224×224 пикселей. Извлечение нейросетевых признаков выполняется с помощью AffWild2-EE, предложенном в работе [6]. Для оценивания ПКЛЧ используется LSTM и полносвязная нейросети на уровне сегментов. Затем полученные оценки ПКЛЧ усредняются для всех сегментов. В отличие от предыдущих методов оценивание ПКЛЧ выполняется с помощью одной мультизадачной LSTM модели для пяти качеств, при этом извлечение признаков также выполняется с помощью одной модели AffWild2-EE, что значительно уменьшает вычислительные затраты. Также стоит отметить, что AffWild2-EE была обучена извлечению эмоциональных признаков по лицу, что учитывает особенности формирования отдельных качеств.

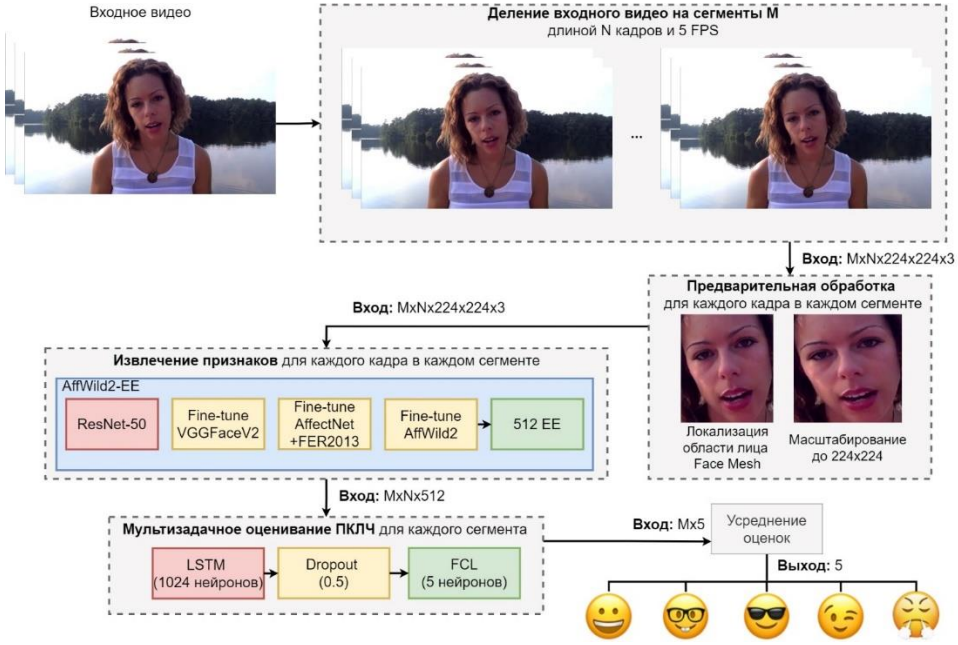


Рисунок. Функциональная схема предлагаемого метода оценивания ПКЛЧ

Экспериментальные результаты

Поскольку оценки ПКЛЧ рассчитываются в диапазоне от [1], то при разработке методов их оценивания решается задача регрессии. Для оценки эффективности используется показатель точности, установленный для корпуса First Impression V2. Точность рассчитывается по формулам:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|t_i - p_i|, \quad (1)$$

$$Accuracy_R = 1 - MAE, \quad (2)$$

где N – количество образцов, принадлежащих одному из пяти качеств; t_i – целевая оценка (вычисленная экспертами для данных исследовательского корпуса, целевые оценки можно считать эталоном) одного образца i, принадлежащего одному из пяти качеств; p_i – прогнозная оценка (вычисленная автоматически используемым алгоритмом) одного образца i, принадлежащего одному из пяти качеств.

Эксперименты проводились при разной длине последовательности 2, 3 и 4 секунды. Также применялись две техники изменения скорости, а именно: фиксированная скорость обучения; косинусный отжиг (Cosine Annealing) с холодным перезапуском [7].

Таблица

Экспериментальные результаты

Длина послед.	Техника снижения скорости	Точность					Средняя точность
		ОО	ДС	ЭВ	ДЖ	НЭ	
Результаты для валидационной выборки корпуса First Impression V2							
2 секунды	Фиксированная скорость обучения	0,9131	0,9120	0,9152	0,9158	0,9100	0,9132
	Косинусный отжиг	0,9136	0,9148	0,9166	0,9172	0,9119	0,9148
4 секунды		0,9118	0,9148	0,9147	0,915	0,9099	0,9132
6 секунд		0,9092	0,9123	0,9111	0,9128	0,9068	0,9105
Метод, предложенный в [4]		0,9134	0,9125	0,9185	0,9144	0,9124	0,9143

продолжение таблицы

Длина послед.	Техника снижения скорости	Точность					Средняя точность
		ОО	ДС	ЭВ	ДЖ	НЭ	
Результаты для тестовой выборки корпуса First Impression V2							
2 секунды	Фиксированная скорость обучения	0,9107	0,9161	0,9158	0,9111	0,9097	0,9127
	Косинусный отжиг	0,9117	0,9167	0,9170	0,9124	0,9108	0,9137
4 секунды		0,9108	0,9170	0,9151	0,9106	0,9098	0,9127
6 секунд		0,9091	0,9125	0,9136	0,9101	0,9081	0,9107
Метод, предложенный в [5]		0,9124	0,9135	0,9146	0,9144	0,9101	0,9130

Из таблицы следует, что предложенный метод оценивания ПКЛЧ превосходит по средней точности сравниваемые методы [4, 5]. Также можно заметить, что применение косинусного отжига для снижения скорости повышает прирост как средней точности по всем 5 качествам, так и точности по каждому качеству индивидуально. Кроме того, наблюдается, что с увеличением длины последовательности уменьшается точность оценивая ПКЛЧ. Такой эффект, связан с тем, что нейросети «жадны» на данные, поскольку при увеличении длины последовательности уменьшается количество видео сегментов, а значит и объем обучающей выборки.

Заключение

В работе предложен метод оценивания ПКЛЧ по визуальным данным. В основе предложенного метода лежат сверточная нейросеть для извлечения эмоциональных признаков и многозадачная рекуррентная нейросеть для изучения временного контекста на уровне видео сегмента, что позволяет учитывать специфику формирования определенных качеств. С помощью предложенного метода достигаются современные значения средней точности для валидационной и тестовой выборок корпуса First Impression V2. В последующих работах планируется разработка метода оценивая ПКЛЧ по акустическим данным. Объединение двух методов позволит разработать комплексную систему оценивания ПКЛЧ.

Литература

1. Mehta Y., Majumder N., Gelbukh A. et al. Recent trends in deep learning based personality detection // Artificial Intelligence Review. 2020. Т. 53. №. 4. P. 2313–2339.
2. Воронкова Я.Ю., Радюк О.М., Басинская И.В. «Большая пятѐрка», или пятифакторная модель личности // Смысл, функции и значение разных отраслей практической психологии в современном обществе: сборник научных трудов. 2017. С. 39–45.
3. Escalante H. J., Kaya H., Salah A. A. et al. Modeling, recognizing, and explaining apparent personality from videos // IEEE Transactions on Affective Computing. 2020. P. 1–9. DOI: 10.1109/TAFFC.2020.2973984.
4. Kaya H., Gurpinar F., Salah A. A. Multi-modal score fusion and decision trees for explainable automatic job candidate screening from video cvs // In: CVPR Workshops. 2017. P. 1–9.
5. Aslan S., Güdükbay U., Dibeklioğlu H. Multimodal assessment of apparent personality using feature attention and error consistency constraint // Image and Vision Computing. 2021. V. 110. P. 104163.
6. Dresvyanskiy D., Ryumina E., Kaya H. et al. End-to-End Modeling and Transfer Learning for Audiovisual Emotion Recognition in-the-Wild // Multimodal Technologies and Interaction. 2022. V. 6. №. 2. P. 11.
7. Рюмина Е.В., Дресвянский Д.В. Влияние методов снижения скорости на эффективность систем распознавания эмоций по мимике лица // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2021. Т. 3. С. 174–180.

УДК 159.937.515+81-139

МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА СЕМАНТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ОБРАЗА ГОРОДСКИХ КРЕАТИВНЫХ ПРОСТРАНСТВ

А.А. Саханова
Научный руководитель – д.филос.н. Г.В. Горнова
Университет ИТМО
e-mail: sakhanova98@mail.ru

Аннотация
Семантическое конструирование образа креативного пространства как один из важнейших компонентов создания образа места определяет коммуникативную модель взаимодействия с посетителями, ее эффективность, а также восприятие ими пространства. В статье представлены результаты применения метода субъективной семантики для анализа восприятия визуально-семантического конструирования образа креативных пространств Санкт-Петербурга посетителями.
Ключевые слова
Городское креативное пространство, семантический образ креативного пространства, субъективная семантика, психолингвистика, городские исследования.

Построение образа пространства напрямую связано с социальным конструктивизмом, заключающимся в создании социальной реальности и социальных конструкций. Концепцию пространства можно рассматривать в качестве микросоциальной реальности, т.к. помимо непосредственно стилеобразующей функции (создание образа, портрета места) концепция связана еще и с установкой некого желаемого паттерна поведения (контролирующая функция). Поэтому семантическое конструирование образа городского креативного пространства влияет на тон общения с посетителями, эмоциональное восприятие креативного центра, а также воздействует на эффективность коммуникации. Поэтому построение визуально-семантического образа места является одной из важнейших задач при создании и развитии креативного кластера. Также важно понимать, что креативные пространства – это бизнес, а значит он должен окупаться. И для этого необходимо не только правильно подобрать пул арендаторов, но и понимать, а считываются ли вообще смыслы, заложенные в пространство, посетителями. А если нет то, где произошел сбой в коммуникации и как его исправить.

Исследование семантического конструирования образа выбранных креативных пространств города поможет не только получить обратную связь о креативных центрах, но и провести сравнительный анализ двусторонней коммуникации «пространство-посетитель» с точки зрения визуально-семантической репрезентации образа места.

Методология исследования семантического конструирования основана на междисциплинарном подходе, который заключается в применении методов социологического исследования (социологический опрос, контент-анализ), психологических методов (субъективная семантика, цветовое тестирование), лингвистических методов (семантико-стилистический анализ) и общенаучных методов анализа, синтеза, сравнения.

Основой методологии является метод субъективной семантики, суть которого заключается в том, чтобы испытуемый оценил стимульный материал с помощью набора шкал. Важным аспектом субъективной семантики являются семантические коды – «эмоционально заряженные следы, отражающие не сам объект, а то воздействие, которое

он оказал на психику субъекта» [1]. В нашем случае стимульным материалом выступает фотография того или иного компонента, формулирующего образ места, а шкала для ответа представляет собой градацию возможных эмоций, которые респондент может испытать от взаимодействия со стимулом.

Исследования с использованием метода субъективной семантики проводились для оценки восприятия архитектурных объектов. В нашей работе данная методика будет распространена не только на архитектурные образы зданий, но и другие смыслообразующие визуальные элементы креативного пространства. Мы выделили 3 группы составляющих, которые репрезентируют визуальный образ креативного пространства и могут быть охарактеризованы тем или иным семантическим профилем:

- архитектура;
- ландшафт;
- фирменный стиль.

Кроме методики субъективной семантики, в опросе также применяется оценка цветового восприятия пространства. Цветовая соотнесенность образа креативного пространства дополняет семантическую картину и представляет более цельный образ восприятия места. Для определения семантико-цветовых ассоциаций в опросе была модифицирована по аналогии методика М. Люшера. Респонденту предлагается написать, с каким цветом ассоциируется то или иное креативное пространство. Далее «функция» цвета (субъективное восприятие) соотносится с ответами, данными в блоке со стандартизированной атрибуцией.

Таким образом, можно не только дать оценку выбранному цвету, исходя из его общих особенностей, но и соотнести цвет с индивидуально личностным восприятием образа креативного пространства. Практическая реализация методологии исследования происходит в виде онлайн-опроса. Саму анкету можно разделить на три смысловых блока: вопросы для составления социологического портрета респондентов (пол, возраст, образование), вопросы для характеристики пространства на основе стимульного материала (стандартизированная атрибуция + ассоциативный эксперимент), вопрос для определения цветовой ассоциации пространства. Блок, непосредственно касающийся характеристики образа пространства, состоит из нескольких вопросов. В каждом предлагается оценить ту или иную часть визуально-семантической репрезентации образа: архитектуры, ландшафта, элементов фирменного стиля.

С помощью разработанной методологии было проанализировано семантическое конструирование трех креативных пространств Санкт-Петербурга: острова Новая Голландия, технопарка «Ленполиграфмаш» и креативного кластера «Дом культуры».

На примере технопарка «Ленполиграфмаш» продемонстрируем результаты онлайн-опроса. Всего было обработано 57 анкет. Ниже представлен социологический портрет респондентов (рис. 1, 2, 3).

Оценка респондентов параметра «Архитектура» в большинстве ответов нейтральная (31 ответ), далее следуют такие оценки креативного пространства как «привлекательное» (19 ответов), «располагающее» (16 ответов). Здесь интересно отметить, что большинство потенциальных посетителей нейтрально относятся к промышленной застройке, хоть и отреставрированной и обновленной (рис. 4).

Дальнейшая оценка респондентами ландшафта креативного пространства демонстрирует, что даже бывшая промышленная территория должна быть комфортной для посетителя (рис. 5). К элементам комфорта можно отнести отремонтированную дорогу без ям, точечное озеленение и придание ландшафту территории своеобразия с помощью малых архитектурных форм. Сейчас же большинство отметило территорию технопарка как неудобную (26 ответов), еще 19 респондентов нейтрально оценили ландшафт пространства. Здесь важно то, что подавляющее большинство ответов склоняется к отрицательной оценке технопарка по данному параметру, что может в будущем привести к негативной узнаваемости креативного пространства.

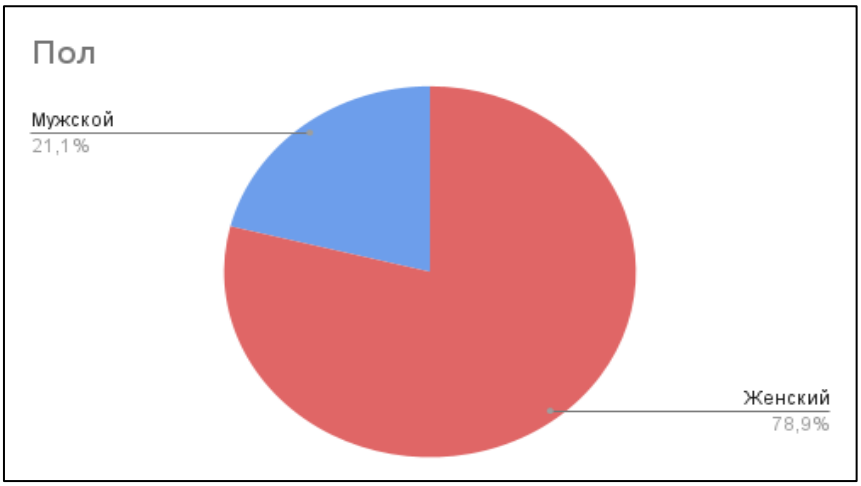


Рис. 1. Пол респондентов

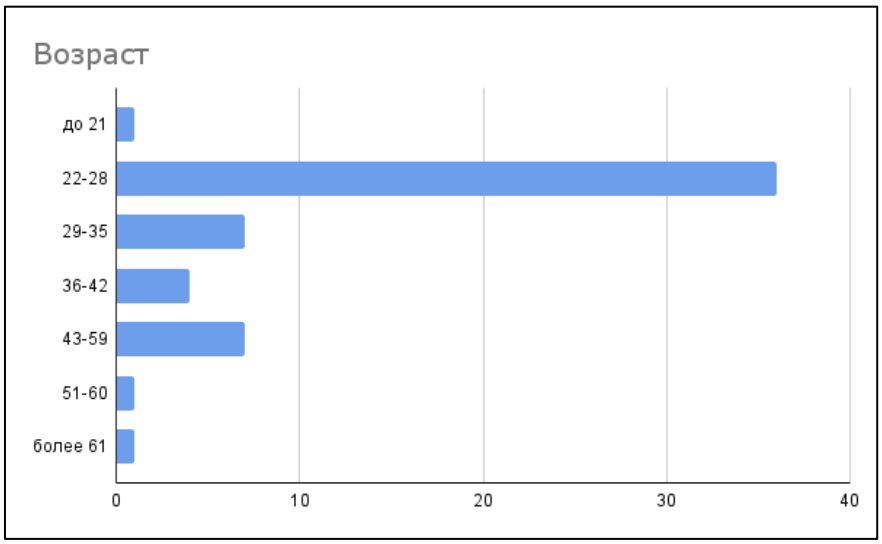


Рис. 2. Возраст респондентов

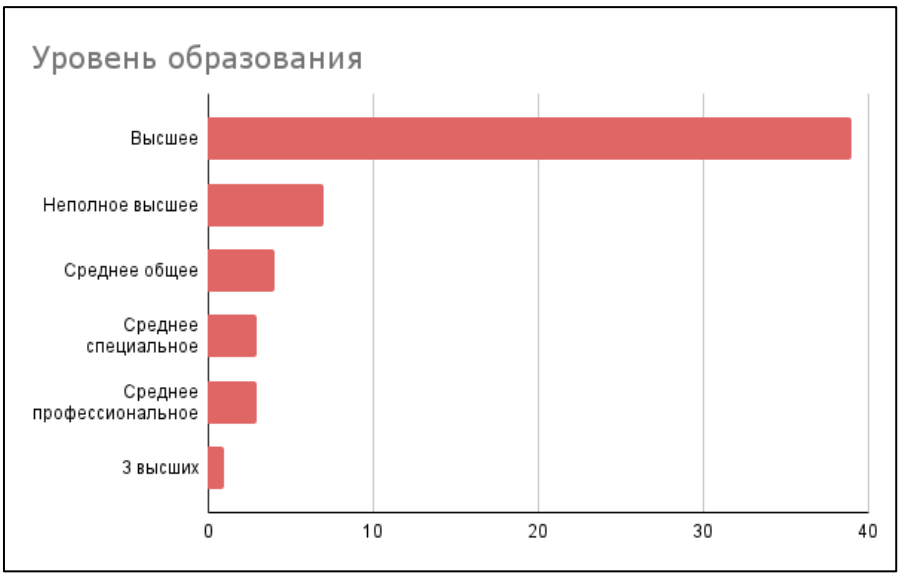


Рис. 3. Уровень образования респондентов

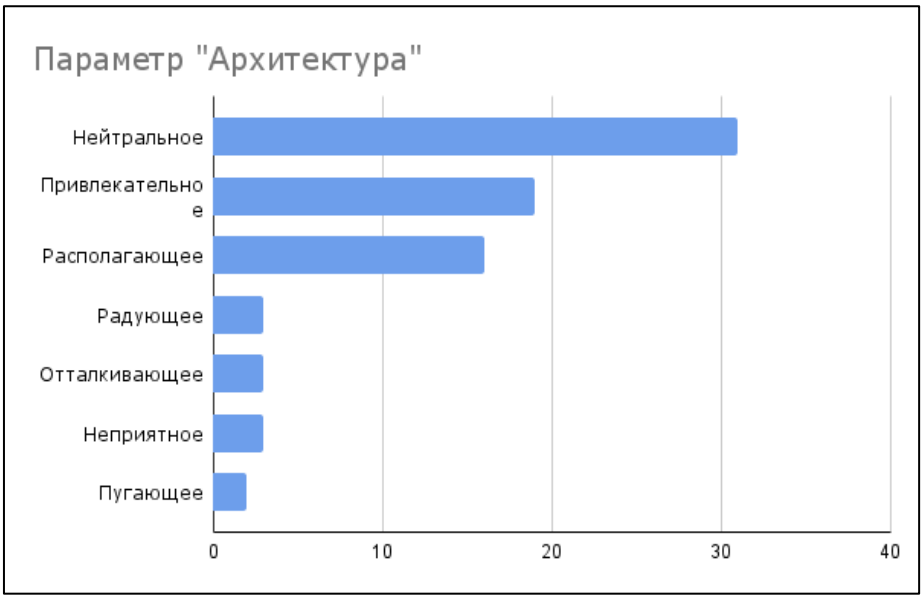


Рис. 4. Параметр «Архитектура»

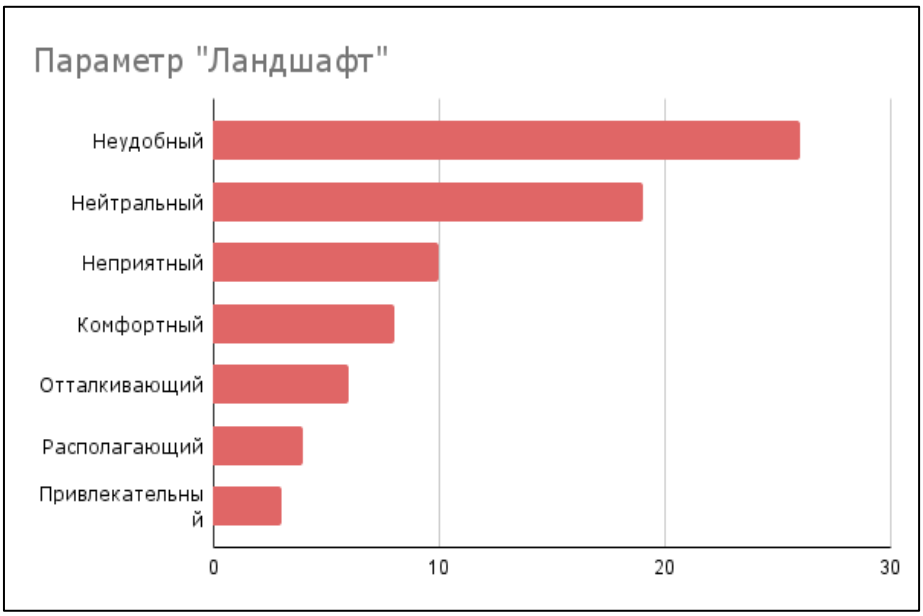


Рис. 5. Параметр «Ландшафт»

В технопарке практически отсутствуют информационные таблички, поэтому в качестве объекта оценки были выбраны некоторые элементы навигации в пространстве (вывески, баннеры, информационные плакаты). Стоит отметить, что их в пространстве не так много. Респонденты транслируемое отношение через элементы системы навигации оценили как «нейтральное» (22 ответа), «безразличное» (17 ответов), а также «уважительное» (12 ответов). В данном параметре мы наблюдаем полярные оценки, незначительно различающиеся по количественным показателям. Такая оценка может быть связана с тем, что посетители по-разному трактуют важность системы навигации в пространстве. Кто-то, кому хоть раз приходилось тратить время на поиски нужного здания или офиса в незнакомом месте, оценивает карту места, указатели и вывески как важную часть пространства.

Можно сказать, что какой-то условный минимум системы навигации в технопарке есть. Однако, возможно, создателям пространства следует задуматься над более детальной проработкой элементов системы навигации в едином стиле, которая не только

облегчила бы поиск нужной локации, но и продемонстрировала посетителю все многообразие возможных активностей в пространстве (рис. 6).

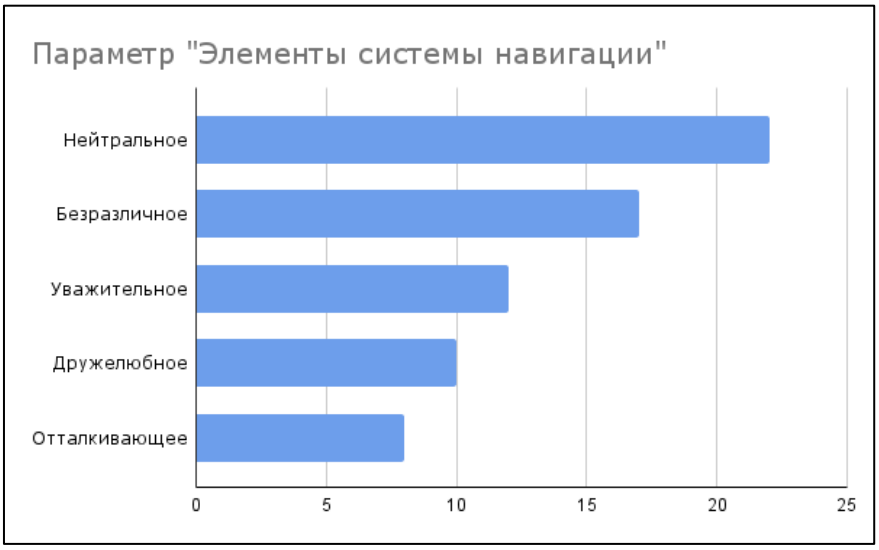


Рис. 6. Параметр «Элементы системы навигации»

Столь же многообразной оказалась ассоциативная оценка цвета пространства. Чаще всего встречаются ответы «серый» (12 ответов), «зеленый» (11 ответов), «синий» (10 ответов). Данные ассоциации можно объяснить характерной особенностью ландшафта пространства – большую часть занимает серый асфальт. Кроме того, одним из ключевых объектов в технопарке является бывшее фабричное здание в бирюзовом цвете (синий + зеленый).

Стоит обратить внимание на неоднозначность характеристики серого цвета в цветолингвистике (рис. 7). С одной стороны, серый может обозначать одиночество, усталость и печаль, однако этому цвету присущи и другие, важные для технопарка, обозначения: реализм, информированность, гармония, стабильность [2]. Также обратимся к значению синего цвета. Синий – самый популярный по использованию в дизайне и искусстве цвет, он чаще всего выбирается для обозначения стабильности и прогрессивности компании. Кроме того, синий еще и цвет, ассоциирующийся со спокойствием и гармонией, упорством и достатком, постоянством и мудростью [3].

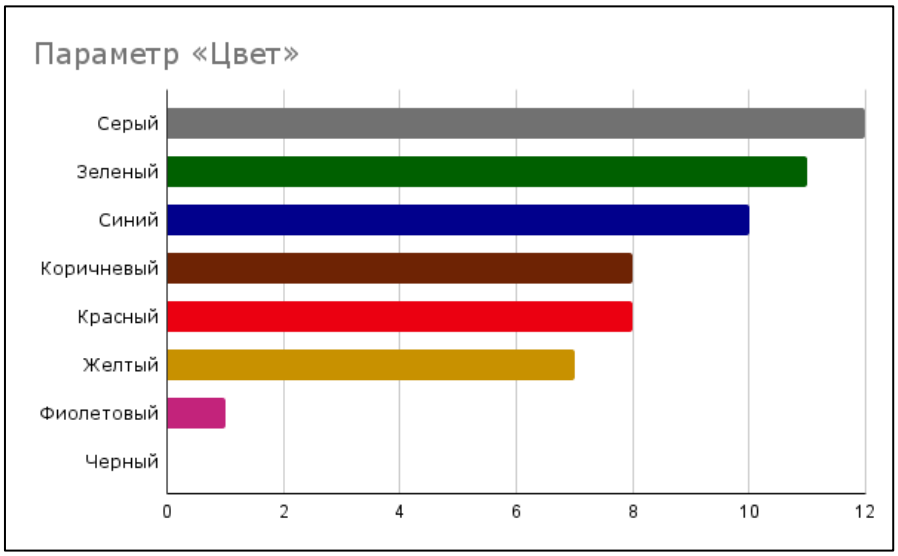


Рис. 7. Параметр «Цвет»

Во время проведения опроса также был произведен анализ фотографий посетителей по геопривязке в Instagram (социальная сеть запрещена в России). Были проанализированы 120 публикаций за последний год. Основные точки притяжения, которые можно определить по публикациям посетителей иллюстрируют фокус семантического содержания пространства.

Значительно меньшую часть пользовательских фото занимают снимки в уличной части пространства. В основном можно встретить фото с мероприятий, проходящих в образовательном центре «Точка кипения», и из различных творческих студий технопарка. Однако в теплое время года посетители чаще чем зимой делают снимки на открытом воздухе, в кадр больше всего попадают знаковые для технопарка здания в изумрудном и желтом цвете, а также башня и промышленные трубы. Стоит отметить, что фотографии посетителей демонстрируют основную направленность креативного пространства – образовательный фокус. Большинство фото сделано именно на внутренних мероприятиях технопарка – форумах, лекциях, дискуссионных площадках.

Подводя итог анализу семантического образа технопарка «Ленполиграфмаш», можно отметить, что ассоциативная оценка образа респондентами достаточно неоднозначна. В одном вопросе ответы могут примерно в равных количествах распределиться как в положительных, так и в отрицательных ассоциациях, что говорит о неустойчивом семантическом образе пространства. Несмотря на то, что анализ публикаций посетителей по геометке демонстрирует соответствие специфики технопарка реальной активности посетителей, все же креативному пространству не хватает продуманной концепции, которая считывалась бы на всей территории квартала.

Если провести сравнительный анализ конструирования образа трех пространств по результатам онлайн-опросов, то можно отметить, что наиболее продуманным и положительно воспринимаемым образом обладает остров Новая Голландия. У этого проекта, кроме подчеркивания своих выгодных сторон, присутствует грамотная работа с возможными триггерами для посетителей (дисциплинарность пространства), которые нивелируются благодаря особенностям коммуникационной концепции. Если суммировать результаты анализа визуально-семантической репрезентации образа Новой Голландии, то можно сделать вывод, что транслируемый создателями креативного пространства образ воспринимается большинством посетителей положительно. Попадание в целевую аудиторию с точки зрения коммуникации также помогает созданию имиджа дружелюбного и современного пространства несмотря на то, что за внешне легкой подачей информации нередко скрывается вполне понятный мотив регламентировать поведение посетителей для поддержания порядка на острове. Помимо того, что конструирование образа работает на построение и поддержание имиджа пространства, визуально-семантический комплекс также конструирует и желаемый портрет посетителя, в том числе устанавливает определенный паттерн поведения.

В тоже время противоречивое восприятие образа отличает рассмотренный выше пример технопарка «Ленполиграфмаш», у которого в конструировании образа слабо проявлены характерные особенности пространства. Ответы респондентов в большинстве вопросов характеризовали пространство как нейтральное с примерно равным распределением среди отрицательных и положительных ассоциативных оценок. Однако анализ публикаций демонстрирует, что модель поведения в пространстве вполне соответствует его концепции как образовательного центра с функцией инновационного производства. Также однонаправленность снимков посетителей может быть связана с тем, что другие пространства на территории технопарка (общепит, коммерция) обладают своей внутренней геометкой, по которой публикуется большее количество фотографий в креативном квартале.

Креативный кластер «Дом культуры» также был оценен респондентами не равномерно в части ассоциаций. Отдельные элементы конструирования образа воспринимались отрицательно (ландшафт, частично архитектура), какие-то

положительно (внутреннее устройство). Отмеченная нестабильность в семантических оценках может быть связана с тем, что проект пока только набирает обороты и еще не успел сформировать свой индивидуальный образ. Однако применение метода может помочь создателям проекта уже на старте выявить те аспекты, которым стоит уделить особенное внимание в проработке.

Результаты тестирования на трех креативных пространствах Санкт-Петербурга метода субъективной семантики в комплексе с социологическим опросом демонстрируют связь между успешностью креативного проекта с семантическим конструированием образа пространства. А, значит, в дальнейшем данная методика может быть распространена на другие пространства в соответствии с индивидуальными особенностями того или иного проекта, т.е. в метод могут быть включены другие элементы формирования образа. Кроме того, может отличаться и формат проведения опроса, а также способы его распространения. Например, рядом с непосредственным элементом конструирования образа может быть расположена табличка с qr-кодом, который перенаправляет на страницу с опросом именно об этом элементе пространства. Также с помощью методики можно отслеживать динамику оценок конструирующих образ элементов в случае их изменения.

Несмотря на то, что к процессу создания креативного пространства как правило приступают интердисциплинарные команды опытных специалистов, анализ даже нескольких примеров действующих креативных проектов показывает, что важные для формирования образа направления часто «проседают». По этой причине пространство просто не может работать в полную силу и использовать весь свой креативный потенциал, т.к. концепция места продумана не до конца или ее реализация расходится с заявленной концепцией. Потенциальные или реальные посетители очень тонко чувствуют расхождения и концептуальные «дыры», а потому семантическое конструирование образа со стороны потребителей места происходит не в пользу пространства.

Задачу поиска подобных уязвимых мест в конструировании образа креативного пространства и призвана решить методология. Важно понимать, что алгоритм анализа семантического конструирования сам по себе проблему решить не может, он является индикатором для выявления как удачных и положительно воспринимаемых элементов образа, так и проблемных зон. Следующим шагом должны стать реальные шаги по внесению корректировок в структуру образа пространства.

Литература

1. Серкин В.П. Методы психологии субъективной семантики и психосемантики. М.: «Пчела». 2008. 378 с.
2. Базыма Б.А. Цвет и психика. Монография. 2001. [Электронный ресурс]. URL: https://psyfactor.org/lib/colorpsy.htm (дата обращения: 06.05.2021).
3. Клар. Г. Тест Люшера. Психология цвета. М.: Изд. «Питер». 1998. 94 с.

УДК 004.891.2

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ОБЛИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА НАЦИОНАЛЬНЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В.В. Тельбух
Научный руководитель – д.т.н., доцент Д.Н. Бирюков
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
e-mail: telbukh89@mail.ru

Аннотация
В работе проанализированы тенденции смещения угроз национальной безопасности в информационную сферу. Обоснована необходимость создания интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений органов военного и гражданского управления в условиях динамически изменяющейся информационной обстановки и попыток деструктивного информационного воздействия на пользователей интернет-ресурсов. Сформулированы основные требования к системе интеллектуального наблюдения за информационным пространством.
Ключевые слова
Информационное воздействие, информационное пространство, мониторинг СМИ, информационные угрозы, информационная обстановка.

В условиях трансформации существующего миропорядка происходит смещение мировых центров политического и экономического влияния. Конец двухполюсной блоковой системы привел к существенному изменению принципов стратегической стабильности в мире. Глобальная и региональная безопасность смещаются от более ясных вопросов войны и мира к менее определенным и более сложным: политическим, финансово-экономическим, этническим, национальным, демографическим и другим проблемам. Нарастает напряженность в различных областях межгосударственного и межрегионального отношений.

Стремление западных стран сохранить свою гегемонию приводит к росту геополитической напряженности и повышению рисков возникновения вооруженных конфликтов локального и регионального уровней. Североатлантический альянс наращивает свой военный потенциал за счет модернизации образцов вооружений и закупки новых, вовлечения в блок новых членов, увеличения интенсивности учений и расширения военной инфраструктуры вблизи границ Российской Федерации.

Активно проводится политика по снижению роли России на мировой политической арене и созданию условий экономической изоляции, для чего проводятся информационные кампании, направленные на формирование враждебного образа Москвы перед международным сообществом. Одновременно с этим запрещается вещание российских средств массовой информации в странах североатлантического союза и использование русского языка в странах постсоветского пространства [1].

Согласно Доктрины информационной безопасности РФ информационно-психологическое воздействие используется спецслужбами отдельных государств для дестабилизации внутриполитической и социальной ситуации в различных регионах мира, приводящее к подрыву суверенитета и нарушению территориальной целостности других государств. В эту деятельность вовлекаются религиозные, этнические, правозащитные и иные организации, а также отдельные группы граждан, при этом широко используются возможности информационных технологий. Известны попытки

ангажированных иностранных СМИ снизить роль Российской Федерации в международной политике путем ее необоснованной дискредитации.

Отчетливо видны попытки Запада дестабилизировать внутриполитическую обстановку в государстве путем провокаций и усиления протестных настроений местного населения в отношении руководства страны. Показательной в этой ситуации является поддержка европейских стран и США несогласованных митингов Навального и его сторонников, участие иностранных дипломатов и информационных агентств в спекуляции данной темой с позиции несоблюдения Россией основополагающих прав свободы слова и принципов демократии [2]. Похожая ситуация также развивалась в ходе антиправительственных акций на Болотной площади в городе Москве в 2011-2012 годах после Президентских выборов и выборов в Государственную думу.

В ходе одних из последних несанкционированных митингов Навального и его сторонников, прошедших 23 января 2021 года в более чем 100 городах России, было задержано более 3 тыс. человек, из них около 300 детей. По информации Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Российской Федерации в социальных сетя Facebook, Instagram, Twitter, TikTok, «ВКонтакте», «Одноклассники», а также видеохостинге YouTube, активно распространялись призывы поддержать протестные акции, при этом российские развлекательные сети по требованию федерального органа исполнительной власти в течение суток удалили более 90% таких сообщений, что в свою очередь не выполнили иностранные ресурсы [3].

Также широко известны факты использования экстремистскими группировками социальных сетей для вербовки и организации террористической деятельности на территории Российской Федерации. При этом акцент делается на молодое поколение, наиболее подверженное негативному влиянию преступной пропаганды, направленной на подмену традиционных ценностей экстремисткой идеологией.

По данным Всероссийского центра изучения общественного мнения, в июне 2020 года 72% опрошенных российских граждан сообщили, что используют Интернет ежедневно, из них доля пользователей в возрасте с 18 лет достигает 83%, столько же процентов используют сеть для получения актуальных новостей местного, регионального и мирового уровня. При этом аудитория интернет-пользователей ежегодно растет, что существенно повышает риски использования интернет-ресурсов в качестве инструмента манипуляции общественным мнением.

В связи с чем, согласно Военной доктрине Российской Федерации, были обозначены тенденции смещения военных опасностей и военных угроз в информационное пространство и внутреннюю сферу Российской Федерации [4].

На сегодняшний день выявление информационных угроз и деструктивного информационного воздействия, проводимого по средствам сетевых технологий, лежит в компетенции экспертов-аналитиков. Однако, с ежегодным ростом информационных ресурсов обработка массива сообщений становится все более сложной задачей, требующей перехода от качественных экспертных оценок по результатам изучения материалов информационных сообщений к автоматизированным методам, что позволит повысить объективность статистических показателей за счет увеличения объемов обрабатываемой информации, а также снизить субъективизм экспертов в оценивании ситуации.

В этих условиях одной из основных задач по сдерживанию и предотвращению дестабилизации обстановки, а также обеспечению гарантированной безопасности государства и защиты национальных интересов является оценивание и прогнозирование развития военно-политической и информационной обстановки на глобальном и региональном уровне, а также состояния межгосударственных отношений в военно-политической сфере [4].

Таким образом, очевидна потребность в создании интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений органов военного и гражданского управления в условиях динамически изменяющейся информационной и политической обстановки, а также попыток негативного информационно-психологического воздействия на персонал организационно-технических систем критически важных объектов военной и гражданской инфраструктуры, а также на аудиторию различных интернет-сообществ посредством применения сетевых информационных технологий.

Министерство обороны Российской Федерации, как и другие ведомства, ведет активную деятельность по созданию систем отслеживания изменений в информационной обстановке и обнаружению негативного информационного воздействия в сети, о чем говорит размещенный ведомством в 2016 году тендер о разработке системы мониторинга СМИ и социальных сетей. Однако, по решению Правительства Российской Федерации от 27.11.2017 г. № 1428 информация о закупках ведомства не подлежит публичной публикации, что не дает возможность оценить возможности системы на «боле боя».

По итогам анализа тенденцией использования информационного пространства в качестве среды деструктивного вмешательства во внутренние сферы деятельности государства и задач, возлагаемых на профильные подразделения и государственные органы управления [5], сформулированы основные требования к системе интеллектуального наблюдения за национальным информационным пространством на основе технологий искусственного интеллекта:

1. На уровне мониторинга и обработки информационных потоков:

- поиск в режиме реального времени публикаций в различных СМИ, тематических сообществах, блогах, форумах, сервисах обмена фото и видео контентом, социальных сетях и тематических площадках по ключевым словам, согласно словаря информационных угроз и обработка полученных данных на предмет негативной тональности;
- фиксация аномальных отклонений изменений информационной обстановки в открытых источниках информации на основе скорости распространения и количества потенциально опасных негативных публикаций;
- извлечения данных об источниках информации, такие как название ресурсов, название публикаций и их содержание, время публикации, авторы, количество позитивной и негативной реакции аудитории, количество просмотров, охват аудитории информационных ресурсов и другой информации в зависимости от типа источника;
- сбор данных о динамике изменения популярности потенциально опасных публикаций среди пользователей интернет-ресурсов.

2. На уровне моделирования информационной обстановки:

- классификация негативной информации и ее носителей по уровню потенциально опасного влияния на информационную обстановку, формирование и дополнение базы знаний на основе полученных данных;
- идентификация первоисточников и центров влияния на формирование мнения у аудитории, установления их связей с другими участниками сетевых сообществ, вовлеченных в распространение потенциального опасного контента в открытых источниках информации, способного дестабилизировать обстановку внутри страны;
- моделирование сценариев распространения информационных угроз в открытых источниках информации на основе контекстно-зависимых онтологий и установленных топологических связей между первоисточниками, их сетью распространения, центрами сетевого влияния на мнения аудитории и потенциальной готовности участников сетевых сообществ поддержать негативную информацию и стать ее ретранслятором.

Заключение

Видится, что система интеллектуального наблюдения за национальным информационным пространством с использованием технологий искусственного интеллекта, в которой будут реализованы предложенные в работе функциональные возможности, сможет позволить:

- повысить полноту и объективность анализа и оценивания информационной, политической, военной, социальной обстановки и других сфер жизни государства и общества;
- обнаруживать признаки целенаправленного негативного информационно-психологического воздействия на пользователей телекоммуникационных сетей на начальных этапах проведения;
- идентифицировать и отслеживать потенциально вредоносную активность реальных и потенциальных центров влияния на мнения пользователей социально-сетевых ресурсов;
- выработать рекомендации для системы управления и принятия решений военных и гражданских органов управления по предотвращению или снижению последствий деструктивного воздействий потенциально опасного контента с использованием сетевых информационных технологий.

Литература

1. Указ Президента РФ от 02.07.2021 N 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/ (дата обращения: 20.04.2022).
2. Статья Посла России в Австрии Д.Е.Любинского в австрийском издании Die Presse: «Для России действует презумпция виновности» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. mid.ru/ ru/press_ service/ publikacii-i-oproverzenia/ publikatsii/1444387/ (дата обращения: 20.04.2022).
3. Социальные сети будут привлечены к ответственности за вовлечение подростков в противоправную деятельность [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rkn.gov.ru/news/rsoc/news73328.htm (дата обращения: 20.04.2022).
4. Военная доктрина Российской Федерации (утв. Президентом Российской Федерации 25.12.2014 № Пр-2976) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/2940 (дата обращения: 20.04.2022).
5. Указ Президента РФ от 5 декабря 2016 г. № 646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71456224/ (дата обращения: 20.04.2022).

УДК 004.021

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ УМЕНЬШЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ

А.В. Тимошкина
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.А. Осипов
Университет ИТМО
e-mail: 224719@niuitmo.ru

Аннотация
В работе представлены результаты начального этапа решения проблемы оптимизации осуществления вейвлет-анализа: исследованы сложности применения данного метода, выявлена наиболее важная из них и предложена модель алгоритма снижения ее влияния на основе применения механизма интеллектуализации.
Ключевые слова
Вейвлет-анализ, оптимизация, механизм интеллектуализации, нечеткая логика, вейвлет-преобразование.

Введение

В настоящее время растет популярность области анализа и работы с данными. Данный факт можно связать с ростом и необходимостью изучения увеличивающихся массивов данных, пополнение которых осуществляется во многом благодаря контролю и фиксированию состояния окружающей среды и происходящих в ней явлений. Данные, получаемые описанным путем в течение определенного промежутка времени, могут быть изучены с помощью методов анализа временных рядов. Так как многие явления физической, экологической, биологической, экономической, социологической и т.п. природы являются нестационарными, спектральный анализ Фурье не позволяет извлечь достаточное количество информации о них, и в качестве механизма эффективнее использовать вейвлет-анализ, позволяющий исследовать частотно-временное представление сигнала [1].

Согласно результатам, полученным с помощью поисковой системы научных статей «Google Scholar» и представленным в виде графика на рис. 1, популярность изучения нестационарных временных рядов и доля использования вейвлет-анализа в их исследовании за последние 10 лет постепенно увеличивается. На графике представлена зависимость числа статей, содержащих слова «non-stationary time-series analysis» и «wavelet non-stationary time-series analysis» и относящихся, соответственно, к общему исследованию нестационарных временных рядов и к их исследованию с помощью вейвлет-анализа, от года публикации.

Аналогичные запросы для статей за весь временной промежуток и за период времени, начиная с 2021 года, представлены на рис. 2 в процентном соотношении. Данная диаграмма позволяет увидеть, что в последнее время популярность вейвлет-анализа нестационарных данных в 1,84 раза выше среднего значения, однако даже при постепенном росте доля использования вейвлет-анализа не превышает 50%, то есть остается сравнительно мала, причиной чему является трудоемкость данного метода.

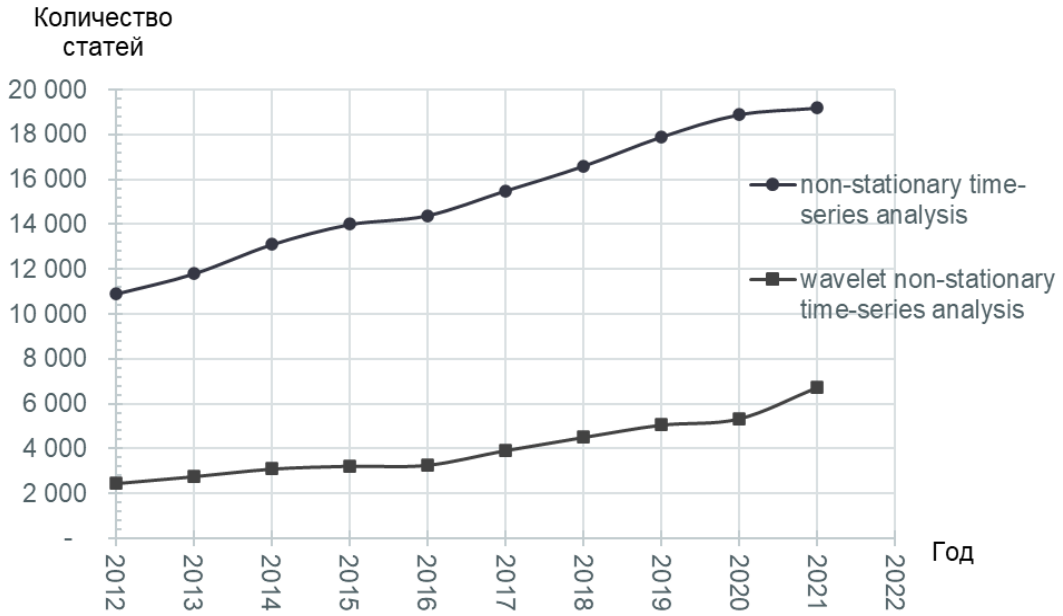


Рис. 1. График результатов запроса по ключевым словам в системе «Google Scholar» с фильтрацией по времени

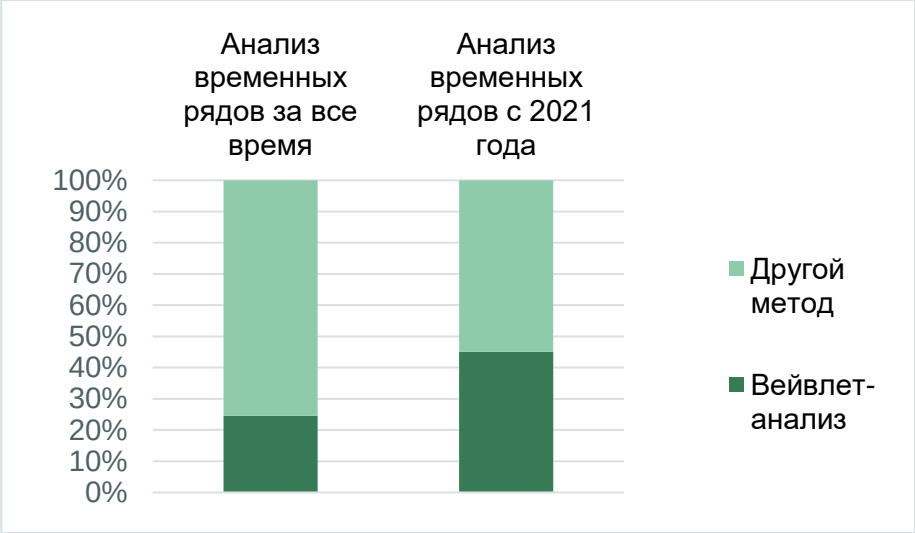


Рис. 2. Гистограмма, отражающая долю использования вейвлет-анализа при исследовании нестационарных временных рядов

Проблемы использования вейвлет-анализа

Основные трудности осуществления вейвлет-анализа можно рассмотреть по этапам его проведения.

Подготовительный этап заключается в выборе параметров преобразования, а именно в определении вейвлет-функций, на основе которых будет происходить исследование искомых данных. Следовательно, главная проблема данного этапа заключается в выборе материнского вейвлета, свойства которого позволяют выявить схожие характеристики исследовательских данных. Этот вопрос решается путем изучения литературы, содержащей описание известных вейвлет-функции и требований к вейвлетам, и посредством анализа существующих исследований с целью выбора материнского вейвлета на основе имеющегося опыта в данной предметной области.

На основном этапе осуществляется большое число вейвлет-преобразований для искомых данных и всех дочерних вейвлетов, получаемых путем сдвига и масштабирования материнского. Таким образом происходит заполнение матрицы вейвлет-коэффициентов размера [A x B], где A – число масштабирований материнского вейвлета, B – количество его сдвигов. Так как производится анализ нестационарных данных, то размер матрицы не может быть уменьшен без первичного анализа данных с отсутствием риска потерь релевантных значений вейвлет-коэффициентов, что приводит к избыточным расчетам, нагружающим вычислительную систему и делающим данный метод неэффективным и трудозатратным. Оптимизация вычислительного процесса в настоящее время решается программно. Например, этому способствует применение многопоточности, что сокращает время работы алгоритма, однако данный метод ограничен вычислительными ресурсами. Сложность алгоритма до Nlog(N) помогает снизить применение быстрого преобразования Фурье или метода, описанного в [2], который эффективен для больших выборок.

К заключительному этапу относится отображение и исследование полученной спектрограммы, вид которой зависит от выбранного на подготовительном этапе вейвлета. Проблемой данного этапа может быть расшифровка поведения трехмерного графика и получение на его основе информации об анализируемом явлении, что решается изучением свойств выбранного вейвлета.

Вопросы первого и последнего этапа решаются предметными специалистами аналитическим путем, в то время как проблема избыточного количества вейвлет-преобразований влечет чрезмерное потребление вычислительных ресурсов из-за большого числа расчетов, следовательно, является наиболее приоритетной с точки зрения производительности и ее решение, будет способствовать общей оптимизации осуществления вейвлет-анализа.

Задача снижения вычислительной нагрузки при выполнении вейвлет-анализа

Решением данной проблемы может быть программная модель, снижающая вычислительную нагрузку на систему за счет уменьшения количества вычислений. Это возможно благодаря таким свойствам вейвлет-анализа, как большая избыточность вейвлет-коэффициентов и наличие краевого эффекта. Оба свойства позволяют изменять параметры масштабирования, способствуя уменьшению количества используемых масштабов. При этом параметр сдвига ввиду исследования временных рядов решено оставить без изменений.

Количество используемых масштабов можно определить как

$$A = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{\Delta a},$$

где a_{max} – наибольший коэффициент масштабирования, a_{min} – наименьший коэффициент масштабирования, Δa – шаг масштабирования.

Параметры масштабирования, представленные выше, задают частотное разрешение спектрограммы, которое может быть уменьшено путем уменьшения a_{max} и увеличения a_{min} и Δa.

Увеличение шага масштабирования возможно ввиду схожести или идентичности соседних значений при маленьком значении данного параметра, что отражается в плавности переходов цветов в уровневой диаграмме или в постепенном изменении высот в трехмерном представлении спектрограммы. Таким образом, прореживание вейвлет-коэффициентов будет происходить за счет исключения дублированных или близких значений.

Если в сигнале нет выраженных частот в крайних частях низкочастотных и высокочастотных диапазонов, то возможно уменьшение a_{max} и увеличение a_{min}, соответственно. При этом уменьшение рассчитываемых вейвлет-коэффициентов будет происходить за счет отсечение области спектрограммы. Увеличение краевого эффекта, связанного с конечностью данных, для низкочастотных областей спектрограммы позволяет использовать данное заключение касательно отсечения больших масштабов, которые растягивают материнский вейвлет настолько, что функция начинает перекрывать преимущественно экстраполированные значения данных.

Таким образом, возможно прореживание вейвлет-коэффициентов за счет исключения дублированных или близких значений и уменьшение их количества посредством отсечения области спектрограммы. Однако при чрезмерном увеличении шага масштабирования ухудшается разрешение частотной области и возможно появление угловатости спектрограммы. При неправильном определении границ масштабирования возможна потеря релевантных значений вейвлет-коэффициентов. Следовательно, необходимо провести первичный анализ с целью выявления спектральных свойств исследуемых данных и определения параметров масштабирования. В качестве определяемых частотных характеристик необходимо взять максимальную и минимальную значимые частоты, которые позволят определить границы масштабирования вейвлетов, и минимальную разницу между значимыми частотами, благодаря которой возможно задать шаг масштабирования.

Так как вейвлет-функции обладают разными свойствами и их главные несущие частоты не совпадают с применяемыми масштабирующими коэффициентами, то единое соотношение данных параметров для всех вейвлет-функций не выявить, поэтому для связи частотных характеристик искомых данных и масштабирующих коэффициентов можно использовать механизм интеллектуализации, позволяющий автоматизировать определение параметров масштабирования.

Оптимизация определения внутренних параметров модели уже встречается для обратного вейвлет-преобразования в работах касательно восстановления кардиограмм, где производится реконструкция сигнала посредством сжатого зондирования [3], и изображений, где подбор оптимальных вейвлет-коэффициентов осуществляется с помощью нейросети [4]. По аналогии данная практика может быть использована для входных параметров прямого преобразования.

С учетом того, что отсутствуют количественные данные об экспериментальном соотношении масштаба вейвлета с частотными характеристиками сигнала, данные параметры могут быть связаны с помощью качественного лингвистического описания вида «если минимальная несущая частота большая, то минимальный масштаб вейвлета может быть увеличен, то есть принимать большое значение». Такая связь хорошо ложиться в механизм нечеткой логики, где следствия представленных ранее утверждений будут служить правилами для связи параметров и определения терм.

Заключение

В ходе исследования этапов проведения вейвлет-анализа была выявлена проблема, влияющая в наибольшей степени на трудоемкость осуществления данного метода и относящаяся к избыточному числу вейвлет-преобразований. Ввиду исследования нестационарного временного ряда решение поставленной проблемы невозможно без первичного анализа исследовательских данных, позволяющего определить их частотные характеристики. Исходя из этого для решения поставленной задачи предлагается дополнить алгоритм вейвлет-анализа включением в него механизма интеллектуализации, позволяющего подобрать оптимальные параметры масштабирования вейвлета на основе выявленных свойств искомых данных. Опираясь на имеющиеся знания о вейвлет-анализе, оптимальным механизмом связи будет являться механизм нечеткой логики, оперирующий качественными параметрами.

Данная работа является одним из первых этапов оптимизации вейвлет-анализа, и позволяет перейти к моделирования и последующей реализации оптимизационной модели, основанной на анализе искомого сигнала, подборе оптимальных параметров масштабирования и проведении вейвлет-анализа.

Литература

1. Rhif M. et al. Wavelet transform application for/in non-stationary time-series analysis: A review // Appl. Sci. 2019. Vol. 9, № 7. P. 1345.
2. Torrence C., Compo G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1998. Vol. 79, № 1. P. 61–78.
3. Abhishek S., Veni S., Narayanankutty K.A. Biorthogonal wavelet filters for compressed sensing ECG reconstruction // Biomed. Signal Process. Control. 2019. Vol. 47. P. 183–195.
4. Vimala C., Priya P.A. Artificial neural network based wavelet transform technique for image quality enhancement // Comput. Electr. Eng. 2019. Vol. 76. P. 258–267.

УДК 004.94

ПОСТРОЕНИЕ ПОРТРЕТОВ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Б.Д. Тирский[1], О.Р. Рунушкина[2]
Научный руководитель – к.п.н., доцент Е.Ю. Авксентьева
1 - Университет ИТМО
2 – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
e-mail: bogdanhakimov@mail.ru

Аннотация
Данная статья посвящена разработке методики построения системы успеваемости студентов с помощью инструментов интерактивной визуализации и алгоритма кластеризации. В ходе работы использовались данные об успеваемости студентов. Датасет был очищен от выбросов и пропусков. Также в ходе работы были получены результаты кластеризации в виде графиков. Все графики представлены в работе.
Ключевые слова
Аналитика данных, кластеризация, визуализация, анализ успеваемости, очистка данных.

В современном мире сектор образования широко использует концептуальные инструменты “интеллектуального анализа данных” для прогнозирования успеваемости участников образовательного процесса [1]. Интеллектуальный анализ данных – это метод извлечения самой главной информации из больших баз данных. Это новая технология с хорошим потенциалом для оказания помощи университетам или институтам. Данный метод используется для того, чтобы сосредоточиться на наиболее важной информации в данных. Так, появляется возможность более удобного использования всех данных о студентах, это, например, могут быть даты пересдач, анализ успеваемости, грейд по стипендии или расписание. В целом, все что было описано выше, можно назвать Educational Data Mining (EDM), как направление, которое занимается интеллектуальным анализом различных данных в сфере образования.

EDM – это развивающаяся дисциплина, которая занимается разработкой методов изучения данных, а также работой с Big Data, полученных из образовательных учреждений. С помощью EDM многие учебные заведения на сегодняшний день имеют возможность улучшить образовательный процесс как для учащихся, так и для преподавателей [2].

Разберем почему же возникла необходимость в совершении манипуляций над данными. Так как изначально данные сгружаются в непонятной последовательности, требуется некая обработка для того, чтобы можно было как-то продемонстрировать зависимости или отобразить модели, например, для построения гистограмм или графиков, нет необходимости брать в работу каждый элемент датасета, есть такие вещи как выбросы или недостаточно структурированные данные для построения визуализаций.

Опишем процесс сбора данных для интеллектуального анализа (рис. 1).

Сбор данных происходит, начиная с получения такой информации как успеваемость студентов, результаты экзаменов, перечень самих студентов, какая-то личная информация, номер группы, преподаватель и дисциплины, количество зачетных единиц и так далее. Сбор осуществляется в базу данных, далее происходит очистка от выбросов, также определяется структура датасета и преобразование к нужному виду, далее уже данные поступают для обработки и демонстрации [3].

Рис. 1. Процесс сбора данных

Далее следует уже определение наиболее подходящего алгоритма для кластеризации обработанных данных. K-Means, вероятно, самый известный алгоритм кластеризации. Именно с этого метода начинаются занятия по машинному обучению, так как данный метод достаточно несложный и эффективный в применении [4]. И исходя из структуры данных в эксперименте был выбран алгоритм K-Means, так как он прост в применении и подходит для решения задач в рамках данной работы. После выбора алгоритма кластеризации требовалось определить количество кластеров, это производилось при помощи Elbow Method, или как его называет в переводе на русский язык – это метод локтя [5]. Для реализации алгоритма кластеризации был выбран язык Python, среда разработки PCharm и Anaconda.

Так как алгоритм работал не эффективно, требовалось уменьшить размерность данных, так как при сокращении числа кластеров, эффективность была минимальна. Был выбран метод главных компонент, с помощью данного метода предполагалось уменьшить размерность данных. Стоит отметить, что при использовании метода главных компонент, появляется возможность уменьшить размерность без больших потерь в весомой информации.

В результате получились 3 следующих кластера, которые удалось выделить (рис. 2).

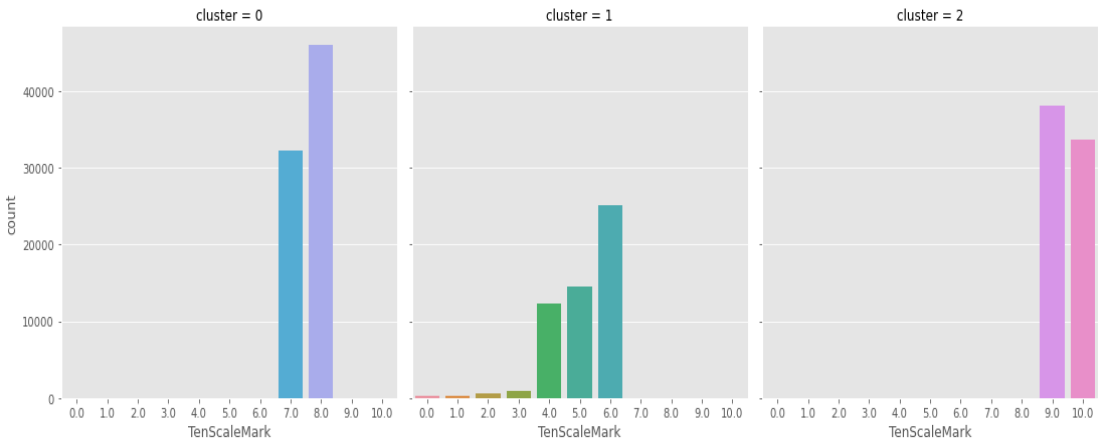


Рис. 2. Полученные кластеры

Поле «count» – это количество студентов, а ось «TenScaleMark» – это оценка по десятибалльной системе. Как уже было сказано выше обучающиеся разбились на три кластера, cluster 0 – это студенты, которые получали оценки 7-8, cluster 1 – это студенты, которые получали оценки 4-6, также заметим, что есть небольшие отклонения от 0 до 3, это говорит о том, что экзамены не всегда сдавались обучающимися, cluster 2 – это кластер со студентами, которые учатся на практически идеальный результат, это оценки 9 и 10.

Далее, по уже полученным кластерам построим график зависимости успеваемости от формы обучения, предполагается наблюдать что при улучшении результатов студентов, будет меняться форма обучения, то есть ожидается, что соотношение бюджет коммерция будет увеличиваться при улучшении успеваемости (рис. 3).

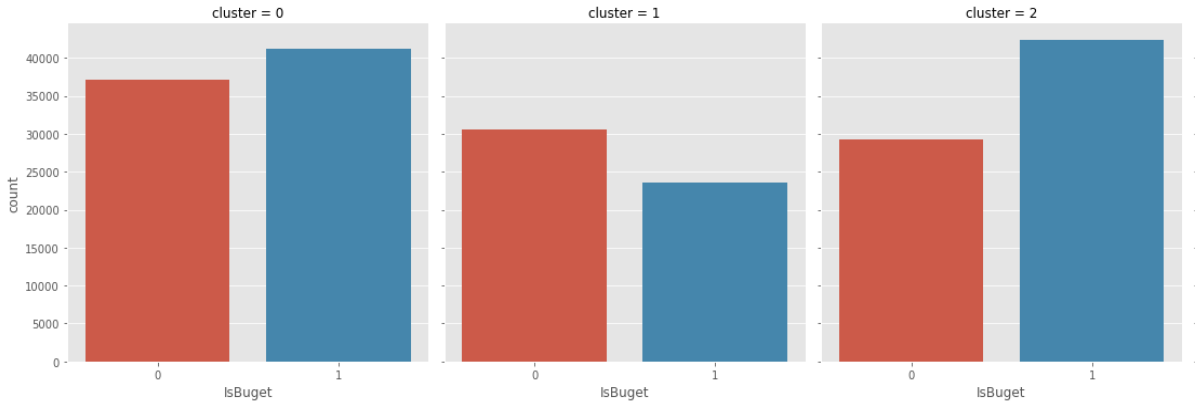


Рис. 3. Полученные кластеры с формой обучения

Рис. 3 в сравнении с рис. 2 показывает, что возможно определить зависимость доли студентов, обучающихся за счет государственного бюджета («бюджетники») от их успеваемости или наоборот. При этом самая большая доля бюджетников соответствует самым высоким оценкам (9 и 10 баллов), а ниже всего данная доля соответствует оценкам от 4 до 6 баллов.

Также предполагалось в ходе исследования построить интерактивную визуализацию с возможностью переключения между факультетами, регулирования формы обучения, отслеживания предметной области и отображения оценок. Для выполнения данного рода задачи очень хорошо подходит среда интерактивной визуализации Tableau. Такое решение отлично отображает результат и довольно простое в понимании (рис. 4).

Рис. 4. Визуализация успеваемости студентов

В результате полученная визуализация позволяет без особых усилий демонстрировать требуемый отчет и фильтрует данные по запросу. Помимо формы обучения, успеваемости, факультета, предмета и экзамена, можно получить срез по годам обучения, курсам и все это с объединением по 0, 1 и 2 кластерам (рис. 5).

Рис. 5. Объединение по кластерам

В ходе работы были проанализированы полученные данные, обработаны, очищены от выбросов и пропусков. Также была изучена тема интеллектуального анализа образовательных данных, подобран и реализован алгоритм K-Means для работы с датасетом такого типа, были изучены метод локтя и метод главных компонент для уменьшения размерности данных.

Была построена система интерактивных визуализаций с возможностью получать срез по разного типа данным. Различные срезы данных можно наблюдать выше на графиках. В дальнейшем планируется оптимизировать ввод информации для того, чтобы было более удобно использовать данного рода систему в образовательных целях.

Литература

1. Study of Data Mining in Higher Education-A Review [Electronic resource] // ijcsit[Official website]. URL: http://ijcsit.com/docs/Volume%206/vol6issue01/ijcsit20150601101.pdf (Дата обращения: 13.04.2022).
2. Knowledge Management in Higher Education Institutions: A framework to improve collaboration [Electronic resource] URL: https://www. researchgate.net/ publication/ 262558878_ Knowledge_Management_in_High er_Education_ Institutions_A_ framework_to_ improve_collaboration (Дата обращения: 14.04.2022).
3. Data mining techniques for data cleaning [Electronic resource] URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-320-6_91 (Дата обращения: 14.04.2022).
4. CLUSTERING ALGORITHMS IN EDUCATIONAL DATA MINING: A REVIEW

[Electronic resource] URL: https://www.ijcns.com/pdf/ijpcscvol7no12015-9.pdf (Дата обращения: 7.01.2022).
5. Analysis of Educational Data Mining using classification [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/336414485_Analysis_of_Educational_Data_Mining_using_Classification (Дата обращения: 10.01.2022).

УДК 004.8

АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАССТАНОВКА ЗНАКОВ ПРЕПИНАНИЯ В РАСПОЗНАННОМ ТЕКСТЕ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Д.В. Тирских[1]
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент О.И. Бернгардт[1,2]
1 – Иркутский государственный университет
2 – Институт солнечно-земной физики СО РАН

Аннотация
В данной работе предлагается один из вариантов решения проблемы восстановления пунктуации в неструктурированном тексте. Такой текст, к примеру, мог быть получен путем применения автоматического распознавания речи. Сплошной текст, не разбитый на предложения, труден для восприятия людьми и неоптимален для многих задач обработки естественных языков. Задача сводится к задаче мультиклассовой классификации – прогнозу знака препинания посередине заданного контекста 6-и окружающих его слов. Использованная модель основана на переносе знаний от языковом модели BERT и использовании сверточной сети для выполнения прогноза знака препинания по контексту окружающих его слов.
Ключевые слова
Машинное обучение, пунктуация, обработка текстов, сверточные нейронные сети, трансфер знаний.

Введение

Важность решения задачи расстановки знаков препинания в сплошном неструктурированном тексте заключается в практической пользе, которое оно принесет для различных направлений обработки естественных языков. К примеру, в настоящее время задача распознавания человеческой речи решается множеством различных способов, но большинство из них на выходе выдают сырой сплошной текст, состоящий из набора распознанных слов. Такое текст трудно читаем для человека, привыкшего к тексту, разбитому на отдельные предложения. Характерным примером такого сервиса является Youtube, который способен распознавать произносимый на видео текст, но не расставляет знаки препинания.

К тому же многие задачи, успешно решаемые современными методами NLP (Natural Language Processing – обработка естественных языков), такие как суммаризация текста, определение частей речи, создание вопросно-ответных систем или автоматический перевод текста требуют наличия в тексте хотябы минимальной структуры, чего, к сожалению, не предоставляют современные системы распознавания речи.

Существующие на данный момент методы исправления пунктуации в тексте можно разделить на две группы – основанные на машинном обучении и основанные на прасинге текста и системах правил. Системы, работающие на наборе заранее заданных правил хоть и надежны и вполне неплохо справляются с расстановкой недостающих запятых внутри предложения, но они не способны отделять предложения друг от друга в тексте т. к. для этого практически невозможно придумать работающие правила, они также не способны учитывать контекст, что бывает важно для правильной постановки пунктуации.

Решения, основанные на методах машинного обучения как раз и хороши тем, что способны уловить смысловые различия в участках текста и разбить его на отдельные

части. Но надежность и предсказуемость их работы все еще находится под вопросом. Тем не менее, развитие таких методов позволяет достичь результатов невозможных с применением стандартных методов. Поэтому для решения поставленной задачи были выбраны нейронные сети.

Постановка задачи

Задачей является прогноз знака препинания в центре заданного небольшого окна контекста окружающих его слов. Последовательное перемещение окна исследуемого контекста позволяет независимо проверять каждый интервал между словами на возможность постановки там знака препинания.

Для решения этой задачи выбран метод обучения с учителем. При обучении текст переводится в единый регистр и разбивается на отдельные токены(слова). Прогнозируемый выход нейронной сети (разметка текста знаками препинания) сохраняется отдельно в виде последовательности индексов, соответствующих каждому знаку пунтктуации. Целью обучения является прогноз по набору из n токенов-слов в заданном окне контекста знака препинания, стоящеего посередине этого окна (на позиции между n/2 и n/2+1 словом, отмечено красным прямоугольником), как показано на рис. 1. Возможные знаки препинания на других позициях (отмечено зеленым прямоугольником) при этом не предсказываются и могут быть найдены только когда центр окна контекста переместится на них.

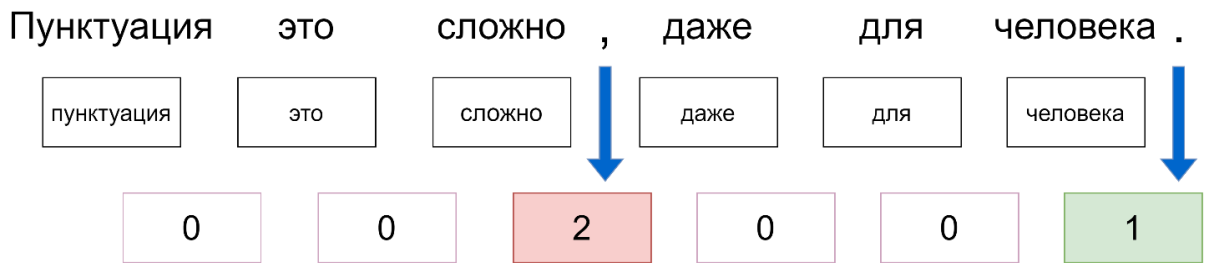


Рис. 1. Постановка задачи

Подготовка данных

В качестве данных, на которых будет производится обучение сети, был выбран корпус SynTagRus (*Syntactically Tagged Russian text corpus).* Данный корпус был выбран из-за наличие в нем текстов разной длинны и жанров, что позволит избежать подстройки сети под какой-то определенный тип текстов. На данный момент корпус состоит из 87336 предложений [1]. Для создания датасета тексты корпуса были отчищены от всех ненужных в данной задаче символов, переведены в нижний регистр, а затем разбиты на отдельные токены, каждому из которых был присвоен соответствующий класс. Размер датасета составил 1203755 токенов. Так же, чтобы окончательно убедиться в работоспособности предложенного решения и протестировать его работу на текстах определенного жанра, был собран дополнительный датасет из примерно 6000 тысяч новостных текстов с портала лента.ру.

Постановка задачи приведенная выше неизбежно ведет к проблеме несбалансированности классов, что усложняет решение задачи классификации. Основным употребляемым классом является отсутствие знака пунктуации (класс 0), затем точки (класс 1) и запятые (класс 2), вопросительные и восклицательные знаки употребляются еще реже - их суммарное количество составляет меньше одного процента от общего объема знаков препинания. Таким образом, в используемом нами датасете наблюдается сильный дисбаланс классов, что делает затруднительным предсказание редких классов – вопросительных и восклицательных знаков. Поэтому было решено объединить все классы, означающие конец предложения в один общий

класс END – конец предложения. Распределение классов в итоговом датасете показано на рис. 2.

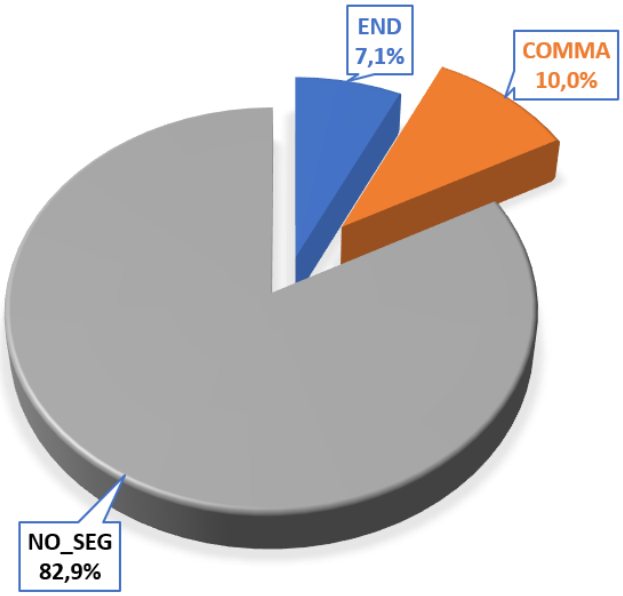


Рис. 2. Распределение классов в датасете

Метрики

В качестве метрик, используемых для оценивания качества работы модели и выбора оптимальной модели на стадии обучения были выбраны: Precision, Recall, F1-score. Основной метрикой стала F1, известная как устойчивая к дисбалансу классов, и получаемая из среднего гармонического между Precision и Recall.

Архитектура и обучение нейронной сети

Задача решается методом переноса знаний методом feature extraction от обобщенной языковой модели и построением оптимального классификатора, прогнозирующего необходимый знак препинания.

С помощью модели BERT, а именно, тренированной на русской части википедии и новостных текстах сети – RuBert [2], токены из датасета преобразуются в векторные представления (эмбеддиги) длиной в 768 значений. В качестве эмбеддингов была использована сумма выходов последних четырех слоев сети. Токены разбиваемые сетью на несколько частей были усреднены. Использование сети BERT позволяет учитывать контекст при создании эмбеддингов, что решает проблему кодирования многозначных слов [3]. Полученные N векторов (N-количество слов в окружающем контексте-окне) использовались как характерные описания слов (features), подаваемые на вход классификатора, осуществляющего прогноз знака препинания по центру этого контекста.

В качестве архитектуры классификатора была выбрана архитектура, основанная на сверочных нейронных сетях. Архитектура полученной сети изображена на рис. 3. На вход сети подается окно длиною в N=6 слов. Начало, середина и конец окна параллельно обрабатываются набором сверток, которые движутся слева на право, получая тем самым различные комбинации параметров эмбеддингов для нескольких слов сразу. Всего в каждом наборе по 7 сверток с различными размерами ядра и шага. После этого результаты сверток попадают на пулинг слой, в результате чего из каждого набора сверток получается по 175 значений. Далее выходы всех трех блоков конкатенируются и подаются на полносвязные решающие слои. Количество обучаемых параметров в полученной нейронной сети – 429 103. Вес получившийся модели – 1,7 мегабайт.

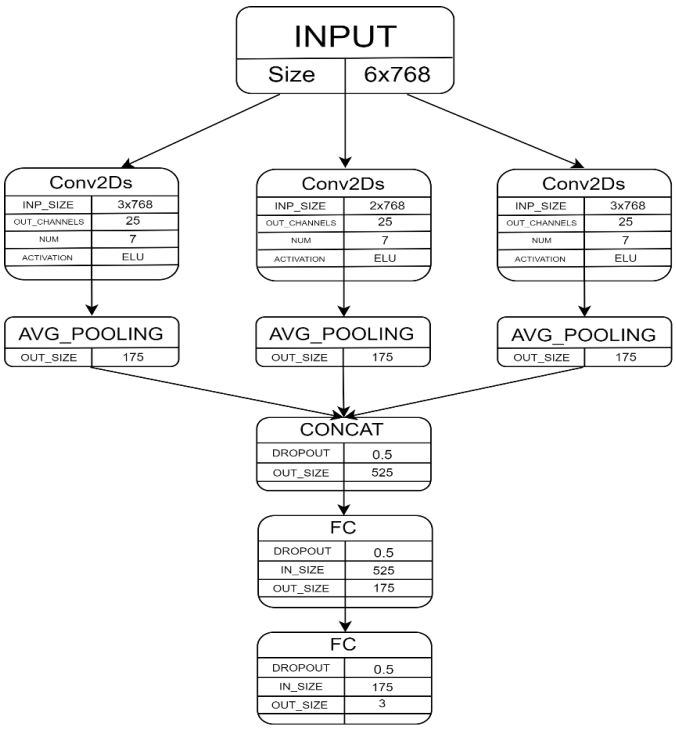


Рис. 3. Архитектура сети

Для обучения сети был выбран оптимизатор Adam и функция потерь взвешанная кросс-энтропия, где веса при каждом классе были рассчитаны для компенсации дисбаланса классов.

Результаты работы сети

Используя описанную ранее архитектуру, удалось добиться высоких значений метрики F1 порядка 0.81 на тестовой и валидационной выборках. Значения метрик классификации полученных на различных датасетах (обучающем, тестовом и новостных текстах с lenta.ru) представлены в таблице. Класс «NOSEG» соответствует отсутствию знака, «INSEG» – знаку запятой, «OUTSEG» – классу конца предложения.

Таблица

Показатели метрик

Датасет	Класс	Precision	Recall	F1	Количество
Test	NOSEG	0.96	0.97	0.96	98824
	IN-SEG	0.76	0.71	0.73	12412
	OUT-SEG	0.74	0.71	0.73	8631
	Macro avg	0.82	0.80	0.81	
Validation	NOSEG	0.96	0.97	0.97	103916
	IN-SEG	0.78	0.73	0.75	12573
	OUT-SEG	0.74	0.74	0.74	8623
	Marco avg	0.83	0.81	0.82	
Lenta	NOSEG	0.98	0.98	0.98	913689
	IN-SEG	0.88	0.76	0.82	83244
	OUT-SEG	0.79	0.89	0.84	71625
	Macro avg	0.88	0.88	0.88	

Интересно на этом фоне выглядят результаты полученные на датасете состоящем из новостных текстов lenta.ru. Наблюдаемые показатели метрик на нем примерно на

10 процентов выше, что свидетельствует о лучшей работе классификатора на новостных текстах. Это может быть обоснованно особенностями публицистического стиля, используемого в текстах данного жанра. Предложения в новостных статьях обычно короче, а пунктуационное разнообразие меньше, чем в литературных текстах.

Совершаемые сетью ошибки можно разделить на три типа: отсутствие знака, постановка лишнего знака, постановка неверного знака. Все это проиллюстрировано на рис. 4. (Красным пробел – отсутствие знака; Зеленый цвет – неверный знак; Желтый цвет – лишний знак.)

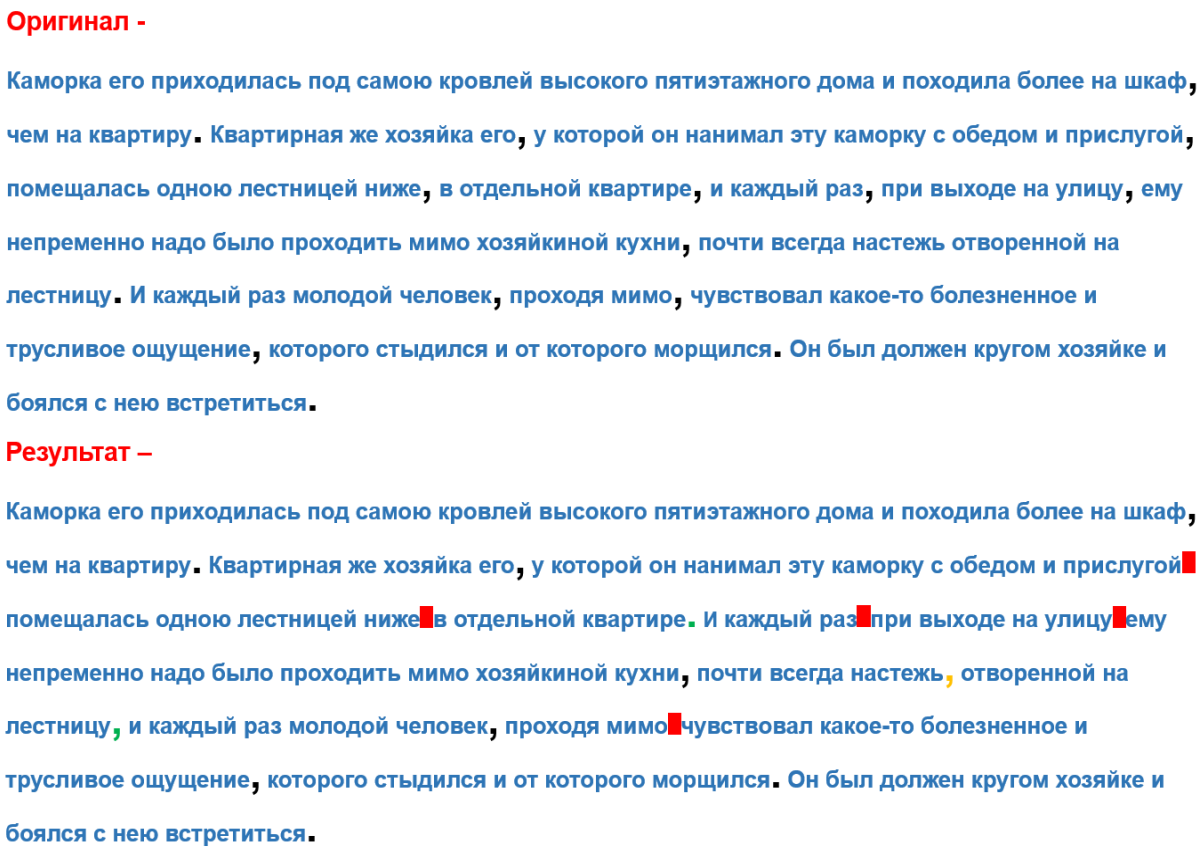


Рис. 4. Демонстрация работы сети

Скорость роботы сети

Для тестирования скорости работы сети был выбран текст длиною в 120 слов, что является средним темпом речи в минуту для русского языка. Тестирование проводилось на устройстве, оборудованном графическим ускорителем Tesla T4. Полный цикл работы сети, включающий в себя разбиение текста на токены, векторизацию токенов с помощью сети ruBERT и вынесение предсказаний в среднем занимает 40 мс. Из которых 13 мс. затрачиваются предложенной сверточной нейронной сетью на предсказывание знаков препинания.

Выводы

В работе представлен метод прогнозирования знаков препинания в неразмеченом русскоязычном тексте. Модель основана на переносе знаний от языковом модели ruBERT методом feature extraction и использовании сверточной сети для выполнения прогноза знака препинания по контексту окружающих его слов. Обучение модели проводилось на датасете SynTagRus. Достигаемая метрика качества F1 достигает 0.81 на тестовом датасете и 0.88 на новостном lenta.ru. Результаты работы могут быть применены для улучшения работы систем автоматического распознания речи и систем

машинного перевода. В дальнейшем полученное решение может быть улучшено для повышения качества работы и повышения быстродействия.

Литература

1. Universal Dependencies Russian SynTagRus [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://universaldependencies.org/treebanks/ru_syntagrus/index.html (дата обращения: 12.04.2022).
2. BERT in DeepPavlov [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://docs.deeppavlov.ai/en/ master/features/models/bert.html (дата обращения: 13.04.2022).
3. Andreas Pogiatzis NLP: Contextualized word embeddings from BERT [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://towardsdatascience.com/nlp-extract-contextualized-word-embeddings-from-bert-keras-tf-67ef29f60a7b (дата обращения: 13.04.2022).

УДК 004.415.25

АНАЛИЗ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТНЫХ РЕСУРСОВ ОТДЕЛА РАЗРАБОТКИ IT-КОМПАНИИ

А.Р. Трегубова
Научный руководитель – к.т.н., доцент В.А. Грудинин
Университет ИТМО
e-mail: a.tregubova@list.ru

Аннотация
В рамках данной работы была разработана система анализа текущего потребления аппаратных ресурсов, которые используются различными отделами компании по разработке программного обеспечения. На основе получаемых данных система способна принимать простые решения относительно перераспределения выделяемых аппаратных ресурсов между отделами, кроме этого, на основе информации о количестве сотрудников в различных отделах система может спрогнозировать количественные показатели потребления ресурсов при росте отделов.
Ключевые слова
Аналитическая система, прогнозирование, оптимизация, распределение аппаратных ресурсов, анализ потребления аппаратных ресурсов.

Одной из задач решаемых DevOps инженерами или администраторами IT отделов компаний является предоставление доступа к аппаратным ресурсам остальным сотрудникам. После того как сотрудники получили доступ и начинают использовать выделенные ресурсы, появляется следующая задача – в каждый момент времени обеспечить оптимальное потребление ресурсов таким образом, чтобы нагрузка на ресурсы была равномерной. Кроме этого, необходимо предсказать момент, когда текущих аппаратных ресурсов будет недостаточно для удовлетворения всех задач. Для решения этих проблем и разрабатывается аналитическая система в данной работе.

Таким образом, исходную задачу можно разбить на следующие подзадачи:

– определить насколько эффективно используются текущие аппаратные ресурсы;
– научиться распознавать сбалансированы ли ресурсы между различными командами;
– расчет необходимых аппаратных ресурсов при расширении команды.

В настоящее время нет необходимости создавать такую систему с нуля. Подобные системы представляют собой набор модулей, выполняющих следующие функции – мониторинг аппаратных ресурсов, взаимодействие с пользователем, автоматическое выполнение запланированных задач. Отдельные модули подобных систем уже доступны на рынке.

Разрабатываемая система состоит из следующих компонент:

– база данных;
– HTTP сервер;
– система мониторинга;
– сервера.

На рис. 1 изображены потоки данных между этими компонентами при запросе информации по текущему использованию серверных ресурсов.

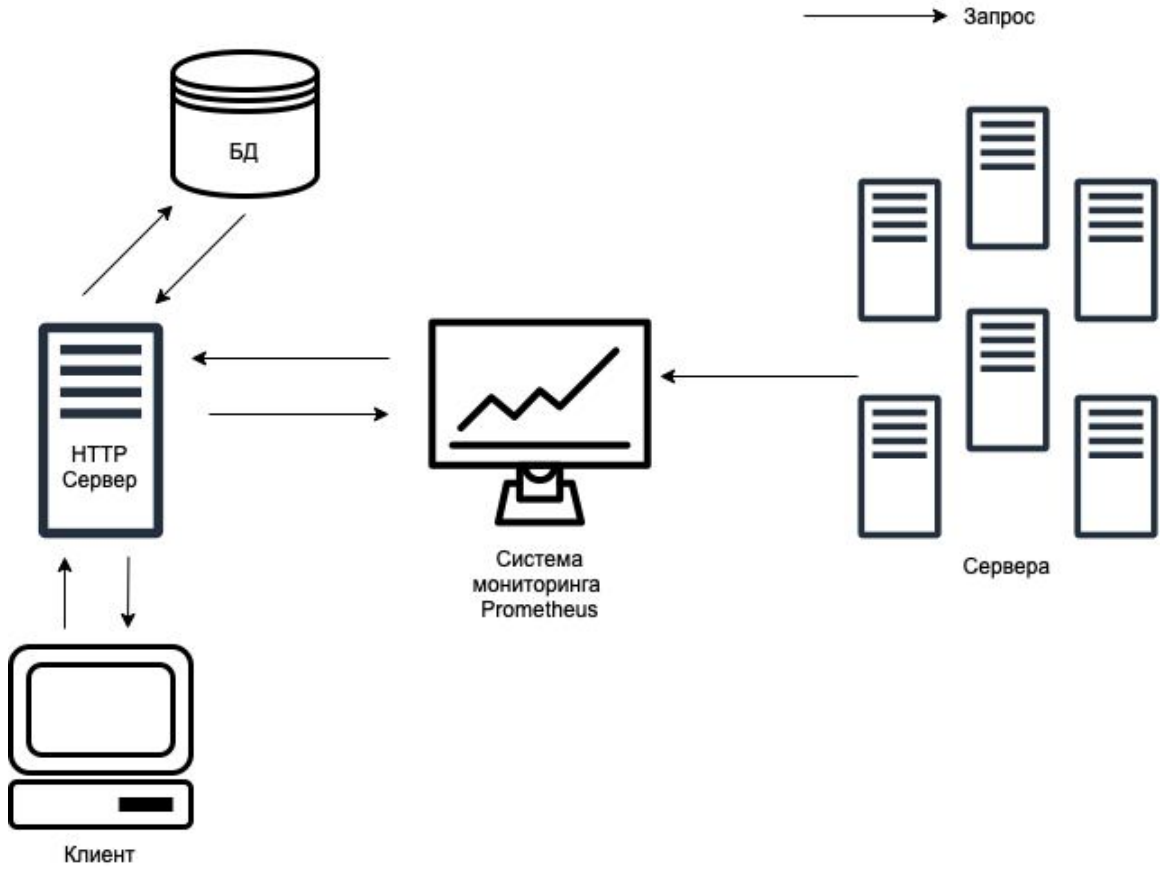


Рис. 1. Компоненты аналитической системы

Для разработки аналитической системы сначала необходимо выбрать инструменты, которые будут учитывать использование аппаратных ресурсов. К этим инструментам относятся хранилище метрик, их сборщик и обработчик, а также инструмент для их визуализации. Все эти инструменты в совокупности представляют из себя систему мониторинга.

Для того, чтобы выбрать подходящие компоненты для разрабатываемой системы мониторинга необходимо сформулировать требования. Сборщик метрик должен уметь принимать метрики и сохранять их в базу, а также понимать несколько типов метрик. Хранилище метрик должно иметь возможность хранить данные полгода или больше и уметь применять к данным математические вычисления. И, наконец, компонент для визуализации должен располагать необходимым функционалом для отображения графиков по полученным метрикам, а также иметь возможность добавлять собственные значения.

Основываясь на тематических информационных ресурсах сети Интернет, были выбраны и проанализированы наиболее популярные решения в области систем мониторинга и составлена следующая таблица.

В результате анализа доступных на рынке систем мониторинга и удовлетворяющих поставленным требованиям были выбраны Prometheus, InfluxData, Graphite.

Для того, чтобы сделать итоговый выбор между тремя оставшимися системами, необходимо сравнить еще две характеристики, которые являются ключевыми при рассмотрении подобных систем – объем потребления памяти и их скорость работы.

Таблица

Сравнительный анализ систем мониторинга

Требование/ Инструмент	Nagios [1]	Icinga [2]	Prometheus [3]	InfluxData [4]	Cacti [5]	Zabbix [6]	Graphite [7]
Прием метрик и сохранение в БД	+	+	+	+	+	+	+
Понимание нескольких типов метрик	+	+	+	+	+	+	+
Возможность хранить данные полгода или больше	+	+	+	+	+	+	+
Функции для математических вычислений	-	-	+	+	-	-	+
Параметризация	+	+	+	+	+	+	+
Использование запросов	-	-	+	+	+	+	+
Формирование отчетов	-	-	+	+	+	+	+
Поддержка сообщества	-	+	+	+	-	+	+
Документация	+	+	+	+	-	+	+

Как видно по графику, представленному на рис. 2, система мониторинга Graphite потребляет гораздо больше памяти для хранения своих данных, всего за несколько минут вся доступная память была утилизирована. В связи с этим, уже на данном этапе было принято решение отказаться от использования от данной системы.

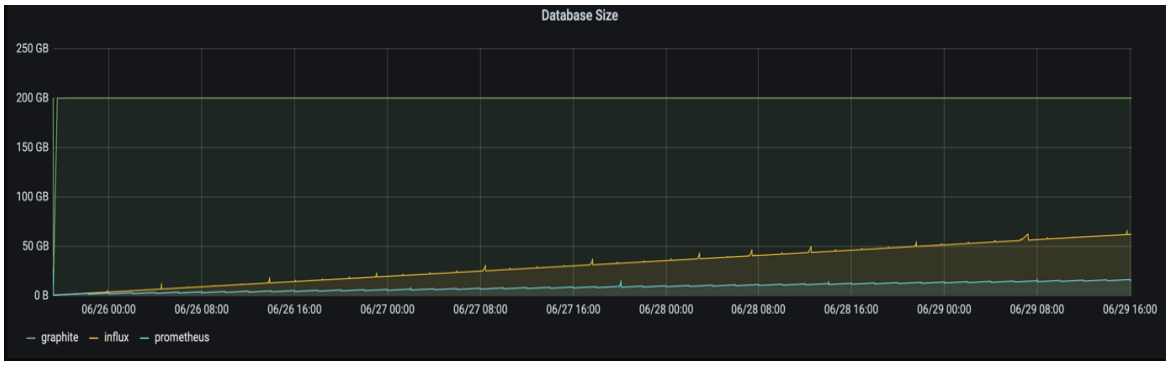


Рис. 2. График размеров баз данных

Далее были проанализированы выводы среднего значения времени ответа Influx и Prometheus на сравнительно большом объеме входных данных - на разных временных интервалах с разными значениями метрик. Для генерации таких данных был разработан

скрипт, в качестве результата его работы создавался набор файлов, каждый из которых содержал 1000 интервалов, от 5 минут до 15 часов с произвольными значениями метрик.

Как видно из рис. 3 Prometheus (на рис. 3 изображен слева) является более быстрым решением на типовых запросах, вне зависимости от используемых временных интервалов. Таким образом, в качестве системы мониторинга был выбран именно он.

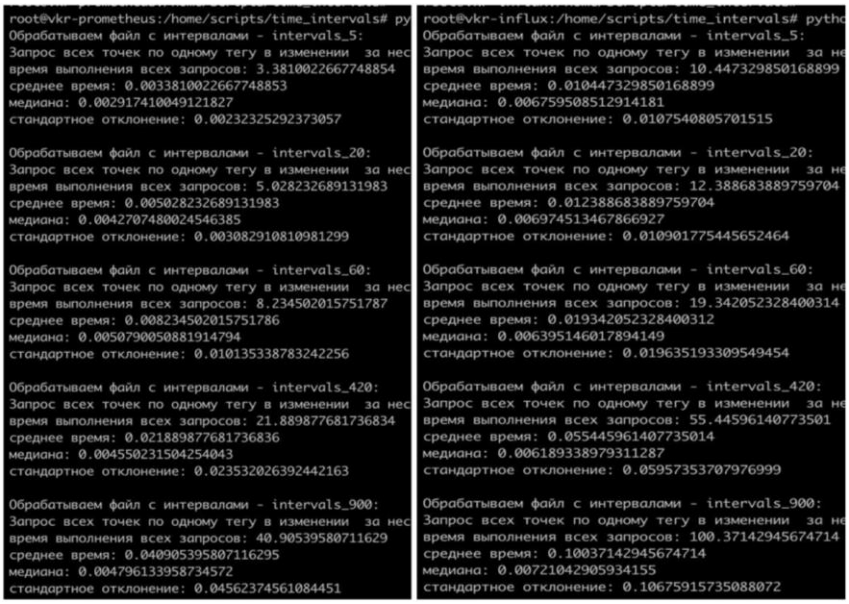


Рис. 3. Сравнение времени обработки запросов базами за разные временные интервалы

Следующим модулем аналитической системы является модуль для взаимодействия с пользователем. В рамках данной работы было принято решения использовать REST API. Соответственно, стояла задача выбора подходящего http-сервера и фреймворка для предоставления REST API. Выбор был сделан в пользу Flask – легковесного web-фреймворка на языке Python, который также предоставляет возможности для пакетного выполнения запланированных задач.

Фреймворк Flask позволяет конвертировать любой метод в обработчик, добавив к нему специальный декоратор, в параметрах которого будет указано на какой http-запрос будет реагировать данный обработчик. На рис. 4 отображен пример такого обработчика на GET запрос протокола HTTP.

```
128 @app.route("/departments", methods=['GET'])
129 def departments():
130     result = {'departments': []}
131     for department in query_db('SELECT * FROM Department;'):
132         _servers = query_db('SELECT * FROM Department_server_mapping WHERE department_id = ?;', [department['id']])
133         result['departments'].append(
134             {'name': department['name'], 'employees_count': department['employees_count'],
135              'servers': [s['id'] for s in _servers]}
136         )
137     return result
138
```

Рис. 4. Получение списка департаментов

Для проверки корректной работы сервиса была использована утилита командной строки curl, которая позволяет выполнять HTTP-запросы с различными параметрами и методами. На рис. 5 изображен вывод загрузки серверов для каждого департамента. Эти данные берутся из системы мониторинга.

Рис. 5. Получение данных о загрузке серверов

С помощью сервиса также можно узнать какое количество cpu и памяти следует добавить в зависимости от количества новых людей и к какому департаменту они относятся (рис. 6).

Рис. 6. Расчет необходимого количества дополнительных ресурсов

Также в сервис был добавлен функционал для автоматического распределения свободных серверов между департаментами в зависимости от нагрузки. Демон проверяет нагрузку каждую минуту и при необходимости может добавить свободный сервер, если таковой имеется, департаменту. Это видно на рис. 7 – прибавился новый инстанс с портом 9400.

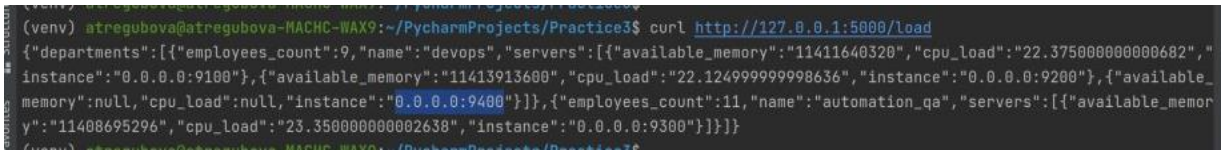


Рис. 7. Автоматическое добавление нового сервера

В рамках данной работы была разработана и запущена система для оптимизации и прогнозирования потребления аппаратных ресурсов. Использование такой системы повысит эффективность работы. За счет перераспределения аппаратных ресурсов между их потребителями будут предотвращены ситуации, когда часть ресурсов простаивает, а другая часть испытывает максимальные нагрузки. Кроме этого, система способна дать ответ о количестве потребления ресурсов в будущем. Данный ответ является ключевым при планировании бюджета.

Литература

1. Nagios (Часть 1) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://corpadmin.pp.ua/blog/monitoring/post/4-nagios-chast-1 (дата обращения: 14.11.2021).
2. Icinga [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Icinga (дата обращения: 17.11.2021).
3. Prometheus, не уходи: 6 альтернативных инструментов мониторинга для Kubernetes [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/ company/ vdsina/blog/501938/ (дата обращения: 26.11.2021).
4. InfluxDB [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru. wikipedia.org/ wiki/InfluxDB (дата обращения: 2.12.2021).
5. Cacti [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Cacti (Дата обращения: 10.12.2021).

6. Система мониторинга Zabbix для начинающих [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://eternalhost.net/blog/sistemnoeadministrirovanie/zabbix-chto-eto (дата обращения: 17.12.2021).
7. Как установить и настроить связку Grafana, Graphite [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://1cloud.ru/help/linux/kak-ustanovit-inastroit-svyazki-grafana (дата обращения: 20.12.2021).

УДК 004.457

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ANSIBLE И TERRAFORM

Ж.Х. Турсунбекова
Научный руководитель – к. воен. н., доцент К.З. Билятдинов
Университет ИТМО
e-mail: tursunbekova.zhanna@mail.ru

Аннотация
В работе рассмотрено понятие облачных вычислений, поднята тема важности автоматизации построения облачной инфраструктуры и осуществлен обзор популярных инструментов для реализации механизмов автоматизации. Работа имеет прикладной характер, так как в ней разрабатывается модель инфраструктуры в облаке, а также речь идет о практической реализации данной модели средствами автоматизации.
Ключевые слова
Облачные вычисления, автоматизация, модель облачной инфраструктуры, Ansible, Terraform, Amazon Web Services.

Введение

На сегодняшний день многие компании используют облачные вычисления для построения собственной инфраструктуры для различных целей, например работы приложения. Развертывание инфраструктуры в облаке со всеми необходимыми параметрами вручную может занять время, к тому же данный метод неудобен в повторном использовании. Для очередного развертывания потребуется проходить снова через все этапы настройки, будь то сервера или специального облачного хранилища. Данную проблему можно решить с помощью средств автоматизации. Автоматизация помогает повысить качество исполнения процесса, а также сократить время его выполнения.

Облачные вычисления и преимущества автоматизации при работе с ними

Облачные вычисления – это модель обеспечения доставки IT-ресурсов по требованию через Интернет. При таком подходе клиент может отказаться от предшествующей модели работы с IT-ресурсами, когда было необходимо приобретать, настраивать и хранить в определенных условиях физическое оборудование. На смену этого подхода облачные вычисления могут предложить доступ к необходимым IT-сервисам, которые предоставляют поставщики облачных услуг [1].

Автоматизация инфраструктуры в облаке – это процесс развертывания аппаратных или программных компонентов с использованием понятия «инфраструктура как код» (IaC – Infrastructure as Code), которое стало возможным благодаря распространению платформ поставщиков облачных услуг, позволяющих выделять и использовать облачные ресурсы с помощью вызовов удаленных API [2].

Модель «инфраструктура как код» использует способ управления инфраструктурными ресурсами, при котором описание этих ресурсов хранится в текстовых файлах в определенном формате. Такие файлы можно использовать для автоматизации создания, обновления или удаления ресурсов путем применения специальных инструментов автоматизации.

Также эти файлы можно хранить в системе контроля версий, что позволяет следить за версионированием, делиться этими файлами, а также работать над инфраструктурой сразу нескольким специалистам.

Обзор выбранных инструментов автоматизации

В качестве инструментов автоматизации были выбраны Terraform и Ansible.

Terraform – это программное обеспечение, разработанное компанией HashiCorp, которое предназначено для управления инфраструктурой с помощью декларативного подхода описания ресурсов [3]. Данное описание находится в файлах конфигурации, которые можно хранить в системах контроля версий.

Terraform создает и управляет ресурсами облачных платформ и других сервисов с помощью программных интерфейсов приложений (API). Данное ПО отвечает за всю логику развертывания инфраструктуры, так как написание файлов конфигураций с использованием декларативного подхода означает, что не нужно создавать инструкции по развертыванию инфраструктуры, а нужно лишь описать ее конечное состояние.

Ansible – это инструмент управления конфигурациями, который используется для автоматизации настройки и развертывания программных компонентов на удаленных хостах.

Для обеспечения работы используется инвентарный файл, в котором хранится необходимая для подключения информация об удаленных хостах, например IP-адреса. Хосты можно группировать, что приносит удобство, если необходимо применить одинаковые настройки на несколько устройств. Такие файлы можно создавать вручную или динамически с помощью определенных плагинов.

Для написания файлов конфигураций Ansible использует декларативный язык разметки YAML. Данные файлы называются сценариями (playbook), они хранят информацию о том, что необходимо сделать на удаленных устройствах, например обновить пакеты или установить новый программный продукт. Ansible удаленно подключается к необходимым хостам по протоколу SSH и не требует для своей работы установки специального агента на удаленное устройство.

Разработка модели инфраструктуры в облаке

В качестве облачного провайдера был выбран Amazon Web Services, так как он считается лидером в области облачных вычислений и предоставляет большой выбор ресурсов [4]. Для разработки модели был произведен обзор сервисов облачного провайдера. Модель представляет стандартную трехуровневую архитектуры.

Первым шагом, с которого начинается разработка облачной инфраструктуры на платформе AWS, является определение региона, в котором будет происходить развертывание. Это значение легко изменять и настраивать в файлах автоматизации. Регионы в свою очередь делятся на зоны доступности (Availability zones). Расположение ресурсов сразу в нескольких таких зонах считается хорошей практикой, так как это повышает доступность и отказоустойчивость системы.

Далее необходимо создать виртуальное частное облако (VPC), в котором будет располагаться основная часть выбранных ресурсов. Компоненты VPC определяют виртуальную сеть, которую необходимо настроить. Разрабатываемая инфраструктура состоит из одного частного облака, расположенного в двух зонах доступности. В каждой такой зоне располагается одна общедоступная подсеть и две частные подсети. Также у VPC имеется Интернет-шлюз.

Далее в подсетях располагаются используемые ресурсы. В общедоступной сети находятся EC2 экземпляры, их можно сравнить с виртуальными машинами, с помощью которых происходит взаимодействие с пользователями. Данные экземпляры имеют публичные IP-адреса и передают траффик через Интернет-шлюз. Количество экземпляров регулируется с помощью автоматической группы масштабирования,

которая работает сразу на две зоны доступности. Для распределения траффика между экземплярами EC2 используется балансировщик нагрузки.

На втором уровне, уровне приложений, уже в частной подсети также располагаются экземпляры EC2, но без публичного адреса. Балансировщик нагрузки на этом уровне контролирует траффик, поступающий от экземпляров EC2, находящихся в общедоступной сети. Отличие этого уровня заключается в наличии совместной файловой системы EFS. В каждой зоне доступности располагается одна точка монтирования EFS, к которой подключаются экземпляры EC2.

На уровне баз данных, в одной зоне доступности располагается экземпляр основной базы данных, во второй зоне доступности экземпляр резервной базы данных для увеличения отказоустойчивости системы.

Помимо ресурсов в виртуальном частном облаке, в разрабатываемой инфраструктуре использованы сервис мониторинга CloudWatch и сервис аудита событий CloudTrail. Для хранения записей этих сервисов будет использоваться хранилище данных S3.

Ниже представлен окончательный вариант разработанной модели инфраструктуры в облаке (рисунок), на которой также показаны зависимости между используемыми ресурсами, поставляемыми в качестве сервисов поставщиком облачных услуг.

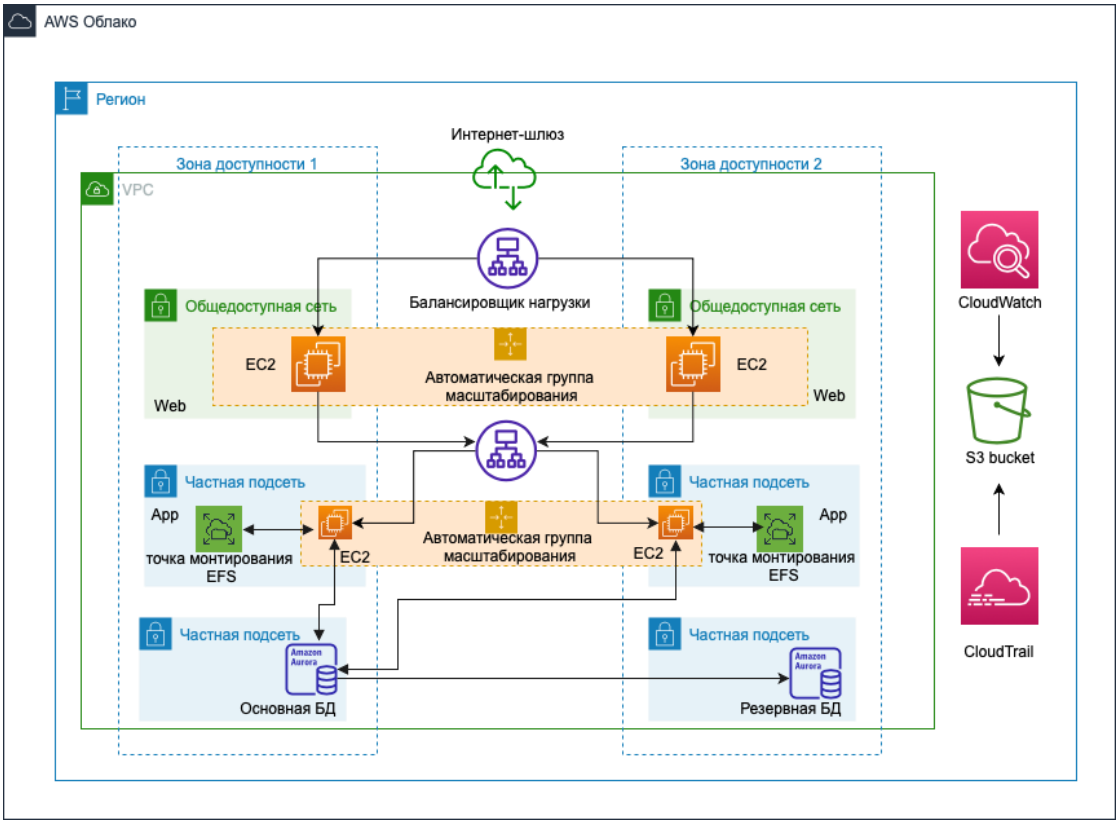


Рисунок. Модель разрабатываемой облачной инфраструктуры

Практическая реализация модели инфраструктуры

После разработки модели инфраструктуры и выбора инструментов автоматизации была произведена практическая реализация модели.

Сначала были написаны файлы формата tf (terraform), содержащие описание ресурсов инфраструктуры. В разработке данных файлов помогла построенная ранее модель. Если разворачивается инфраструктура, содержащая большое количество компонентов, визуализация ее модели крайне важна.

Также при работе использовался файл terraform.tfvars, в котором хранятся значения наиболее часто используемых переменных. Благодаря этому файлу легко изменять настройки при необходимости. Эти переменные включают в себя значения региона развертывания, зон доступности, используемые теги при создании ресурсов и другое. В итоге, с помощью написанных файлов была развернута инфраструктура в облаке Amazon.

При работе с Ansible изначально был создан файл на основе специального плагина [5], который позволяет по определенным параметрам обращаться к экземплярам EC2 и доставлять конфигурацию. Созданные виртуальные машины были поделены на две группы с помощью тегов, присвоенных им при развертывании инфраструктуры. Первая группа включает в себя экземпляры EC2, входящие в общедоступную сеть, вторая группа состоит из хостов уровня приложений.

Далее были разработаны отдельные файлы сценариев, в которых описаны задачи, необходимые к выполнению группой удаленных хостов. Для хостов, расположенных в общедоступной сети, задачи связаны с установкой программных компонентов для веб-серверов. Для экземпляров EC2 уровня приложений файл сценария содержит задачи по установке различных утилит для возможности запуска кода. Также с помощью Ansible происходит монтирование файловой системы, созданной на этапе развертывания инфраструктуры.

В итоге, с помощью написанных файлов сценариев была произведена первоначальная настройка виртуальных машин в облаке, что упрощает их ввод в эксплуатацию.

Заключение

В результате работы была достигнута поставленная цель в обеспечении автоматизации процессов развертывания инфраструктуры в облаке. Вместе с тем, были изучены технологии и инструменты автоматизации, была разработана модель инфраструктуры в облаке и на основе этого были написаны файлы автоматизации инфраструктуры. Разработанные шаблонные файлы можно использовать для создания облачной инфраструктуры с помощью средств автоматизации.

Литература

1. Что такое облачные вычисления? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aws.amazon.com/ru/what-is-cloud-computing (дата обращения: 14.04.2022).
2. Ian Buchanan How infrastructure as code (IaC) manages complex infrastructures [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. atlassian.com/ru/ microservices/cloud-computing/infrastructure-as-code (дата обращения: 14.04.2022).
3. What is Terraform? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. terraform.io/intro (дата обращения: 15.04.2022).
4. AWS Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.aws. amazon.com (дата обращения: 16.04.2022).
5. EC2 inventory source [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.ansible.com/ ansible/latest/collections/amazon/aws/aws_ec2_inventory.html (дата обращения: 17.04.2022).

УДК 004.934

НАХОЖДЕНИЕ ТОЧКИ СМЕНЫ ДИКТОРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАРИЗАЦИИ

Н.А. Хмелев[1]
Научный руководитель – менеджер продукта научно-исследовательского департамента Д.В. Попов[2]
1 – Университет ИТМО
2 – ООО ЦРТ-Инновации
e-mail: 338534@niuitmo.ru

Аннотация
В работе рассмотрено применение алгоритма сегментации реплик по текстовой модальности для улучшения алгоритма тембральной диаризации. В работе рассмотрены различные методы встраивания алгоритма сегментации в алгоритм диаризации в случае ручной сегментации и на основе полученных знаний применение алгоритма автоматической сегментации по тексту. В основе алгоритма автоматической сегментации, рассмотрена нейронная сеть, расставляющая знаки препинания, по которым текст делится на сегменты.

Ключевые слова
Диаризация, сегментация речи.

В современном мире востребованы автоматические системы, позволяющие разделить реплики нескольких дикторов из аудиозаписей, например для анализа качества обслуживающего персонала или анализ конфликтных ситуаций. В таких системах применяются различный вариации алгоритмов диаризации. Значимой проблемой в определении метки говорящего являются короткие реплики, которые нередко алгоритм разделяет и присваивает различным дикторам. Предполагается, что решением данной проблемы может служить получение законченных предложений или словосочетаний для устранения данной проблемы и повышения качества разделения реплик диктора.

Цель работы – повысить качество алгоритма диаризации путем комбинации алгоритма тембральной кластеризации и алгоритма сегментации текста.

В качестве базы данных для проведения экспериментов была использованная база данных “AMI Corpus”[1]. Эта база данных состоит из 100 часов аудиозаписей, записанных на средний микрофон, и в каждой записи присутствует ровно 4 диктора, говорящих на английском языке, в основном не носители языка.

В качестве опорного алгоритма диаризации, взять алгоритм представленный на рис. 1. Первым шагом этого алгоритма является модуль автоматического распознавания речи, на выходе которого получаются слова с их временными границами. Следующим шагом алгоритма является извлечение признаков с помощью нейронной сети с архитектурой SincNet, на выходе которой получается вектор признаков для каждого слова, более подробно об алгоритме извлечения признаков можно прочитать в [2] и [3]. Последний шаг алгоритма – это спектральная кластеризация.

Рис. 1. Базовый алгоритм диаризации

Для алгоритма спектральной кластеризации, предварительно считается матрица смежности по косинусному расстоянию между векторами признаков, после чего к полученной матрице применяется рад преобразований:

- гауссово размытие: чтобы сгладить данные и исключить выбросы;
- бинаризация: сепарирование разных спикеров;
- восстанавливаем симметричность матрицы;
- уточнение расстояний для объединения дикторов;
- нормализация.

Более подробно о алгоритме спектральной кластеризации и подготовке матрицы смежности можно прочитать в [4].

Для того чтобы определить каким образом необходимо комбинировать алгоритм сегментации по предложениям, была взята ручная разметка по сегментам и использовалась в 3 сценариях применения, представленным на рис. 2, на котором цифрами обозначены различные сценарии.

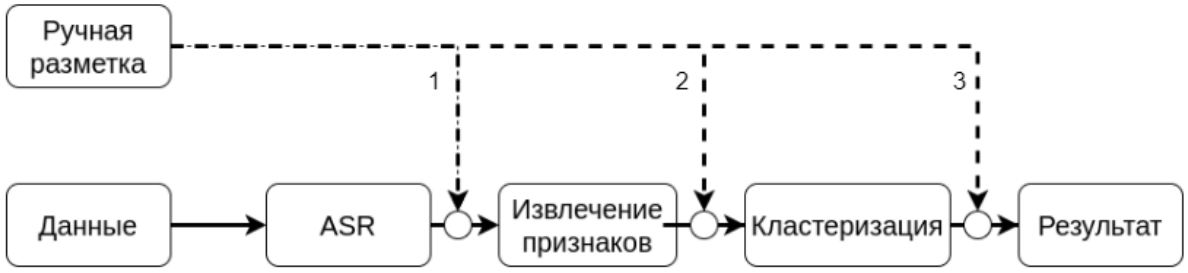


Рис. 2. Различные сценарии комбинирования алгоритмов.

Сценарий 1: По ручной разметке, слова, полученные из алгоритма автоматического распознавания речи, объединяются в предложения и по полученному временному отрезку извлекается один вектор признаков.

Сценарий 2: Из полученных векторов признаков для каждого слова, внутри каждого предложения по ручной разметке, выбирается один вектор признаков, полученный в результате усреднения.

Сценарий 3: По полученному результату диаризации, слова объединится в предложения и этому предложению ставится метка того диктора, чьих слов больше по мнению алгоритма.

Результаты сравнения каждого из этих сценариев приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты комбинирования алгоритмов

Вариант комбинирования	Пропуски слов (шт.)	Ложные срабатывания (шт)	V - мера	F - мера
Базовый алгоритм	1455	14	0.73	0.87
Сценарий 1	450	1	0.38	0.75
Сценарий 2	332	14	0.57	0.81
Сценарий 3	332	14	0.65	0.83

По результатам тестирования наилучшим вариантом комбинирования является сценарий 3, однако не улучшает качество базового алгоритма.

Для сегментации текста был использован алгоритм автоматического расставления знаков препинания в тексте использовался алгоритм на основе нейронной сети с архитектурой BERT, подробно о которой можно прочитать в [5]. В данном эксперименте использовался предобученный алгоритм.

Данный алгоритм не решает задачу сегментации текста, однако расставляет знаки препинания, по которым можно разделить весь текст на предложения или фразы. В данном случае алгоритм способен расставить только некоторые знаки препинания и расставить заглавные буквы, по которым мы можем разбить текст. Для начала нам необходимо проверить качество сегментации по разным знакам препинания. Результаты сегментации по различным знакам препинания указаны в табл. 2.

Таблица 2

Результаты комбинирования алгоритмов

Разделение на сегменты по знакам препинания	Precision	Recall	F - мера
!?.,-:;	0.80	0.69	0.74
A-Z!?.,-:;	0.82	0.62	0.70

По полученным результатам можно сделать вывод что разделение только по знакам препи нания без заглавных букв более качественно по гармоническому среднему метрик Precision и Recall.

В результате наилучших данных из приведенных выше экспериментов был построен алгоритм сегментации и комбинирование его с алгоритмом диаризации (рис. 3), а так же проведено сравнение с базовым алгоритмом диаризации в табл. 3.

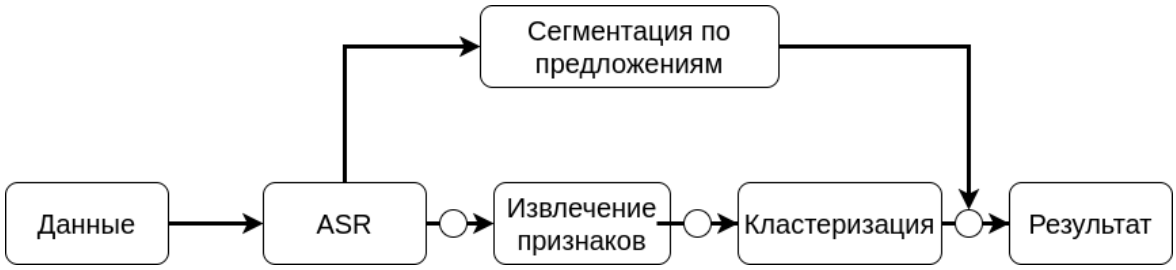


Рис. 3. Конечный алгоритм диаризации с применением сегментации по предложениям

Таблица 3

Результаты комбинирования алгоритмов

Вариант комбинирования	Пропуски слов (шт.)	Ложные срабатывания (шт)	V - мера	F - мера
Базовый алгоритм	1455	14	0.73	0.87
Разработанный алгоритм	332	14	0.51	0.77

В результате проведенных исследований был найден наилучший сценарий встраивания алгоритма автоматической сегментации текста в алгоритм диаризации. Однако даже наилучший сценарий встраивания, полученный по разметке сделанной

человеком оказался неудачным и показывает результат хуже, чем базовый алгоритм диаризации. Из проведенного эксперимента следует, что необходимы дальнейшие исследования по применению текстовой модальности для задачи диаризации и совмещения сегментации по тексту и сегментации по акустическим признакам.

Литература

1. Описание базы данных “AMI corpus” [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://groups.inf.ed.ac.uk/ami/corpus (дата обращения: 10.03.2024).
2. Turn-to-Diarize: Online Speaker Diarization Constrained by Transformer Transducer Speaker Turn Detection[Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2109.11641 (дата обращения: 10.03.2024).
3. SPEAKER RECOGNITION FROM RAW WAVEFORM WITH SINCNET [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1808.00158.pdf (дата обращения: 10.03.2024).
4. Additive Margin SincNet for Speaker Recognition [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1901.10826.pdf (дата обращения: 10.03.2024).
5. Automatic punctuation restoration with BERT models [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2101.07343v1.pdf (дата обращения: 10.03.2024).

УДК 004.021

CONCURRENCY-OPTIMAL DATA STRUCTURES: CONSTRUCTION OF ADAPTIVE CONCURRENT SETS, ARRAYS AND LISTS

A.S. Tsutsiev
Scientific Advisor – Ph.D., assistant professor V.E. Aksenov
ITMO University
e-mail: a.tsutsiev@yandex.com

Abstract
Designing a concurrent data structure faces with a number of problems, one of which is the use of locks in the implementation, namely their number and location. On the one hand, having many locks makes it possible to reduce the total wait time for taking a lock when performing operations, on the other hand, since operations with locks are time-consuming, the execution time increases significantly. The presented work describes an attempt to establish experimentally the relationship between the number and location of locks in an implementation of concurrent data structure and its performance. A series of experiments with various implementations of dynamic arrays and sets has led us to the creation of a base concept for a contention-adaptive implementation of concurrent hash tables and sets and, in perspective, any other data structure.
Keywords
Algorithms, concurrent data structures, adaptive concurrent data structures, parallel programming, optimal concurrency.

Introduction

The initial goal was to obtain practical results that would expand the concept of “concurrency-optimal” [1], namely: the ability of a data structure to "accept" all correct concurrent schedules, that is, to reproduce all correct scenarios of a sequential implementation in the concurrent setting. In addition to the theoretical guarantees such as correctness and concurrency-optimality, we always should care about the efficiency, namely, the throughput of a data structure – the number of performed operations per unit of time.

In this work, we present different approaches to the implementation of a concurrent dynamic array and concurrent dynamic set (without locks, lock-free, with different lock configurations both in type and quantity). We compare the performance of those implementations by measuring the throughput (number of operations per second) on various read and write operations. Based on the results of this comparison, we came up with an idea of an adaptive concurrent data structure based on consistent hashing, that outperforms all considered non-adaptive versions.

Objects and methods of research. Data types

In this work, we study various implementations of the following three data types: *dynamic arrays*, *sets*, and *multisets*. In the description of these data types, we present the list of operations they support. These names clearly explain what the operation are doing. Also, to simplify the presentation we split the operations into two groups the ones that modify the data structure, i.e., write operations, and the ones that do not, i.e., read operations.

Sets and *multisets* data types provide the following operations:

- *Read operations*: retrieve a value by key, retrieve the total number of stored elements.
- *Write operations*: add an element, remove a key, delete a set of elements, and clear the entire structure.

The *array* data type is the extension of a set data type. This means that it has the same operations as the set plus the following ones:

- *Read operations*: retrieve an element by index.
- *Write operations*: add an element (to the front/end/arbitrary position), remove an element by position.

As a performance measure, we choose the throughput, i.e., the number of operations per second. For each implementation, we measure the throughput on several different settings, i.e., the varying number of threads and the range of values.

Objects and methods of research. Experiments

The experiments were performed in the cloud on 20-core processor Intel Xeon Gold 6230.

For each implementation, its throughput was measured depending on various parameters: numbers of threads (from 1 to 16), and the initial number of elements (from 10^2 to 10^6).

As for the data type, we chose a 32-bit integer for two reasons: 1) it is simpler to work with, it does not create a big overhead, and 2) because 32-bit integers can emulate the hash of objects with different distributions.

The results which are shown in the next chapters are obtained when the values are chosen from the full range of integer values.

We chose Synchrobench [5, 6] as a benchmarking tool to model a high-contention concurrent execution environment since it provides opportunities for configuring various execution parameters.

Each measurement point consists of five independent launches of the benchmarking program with a 5s warmup, after which the resulting throughput is calculated as an average between the results obtained in launches.

Each launch starts with the initialization of the data structure being tested and the filling with a predetermined number of elements, i.e., the initial size. Values for the elements are chosen with uniform probability. Then, the benchmarking program via a predetermined number of threads performs read and write operations on the data structure for five seconds while counting the number of operations finished. We chose a 40% read-write ratio while the operations for each type (e.g., remove/add for write, size/contains for read) are chosen with uniform probability. The throughput is calculated as the ratio between the number of operations finished and the time of that launch (5 seconds, in our case).

It is worth to mention the range of keys chosen as an argument for an operation. We set this range to be $2 \cdot initial\ size$. In such a setting, a call of a remove operation has a 50% chance to succeed, i.e., find and remove a key that is indeed stored in the data structure.

We start with considering several different implementations of the array data type. The comparison of these data structures is presented at fig. 1.

Sequential implementation

The first considered implementation variant, as in the above-mentioned work [1], is sequential. This implementation, obviously, is not prepared to correctly work in a concurrent environment. For example, it does not satisfy linearizability. However, this should be our baseline since it should have the “best possible” throughput. It shows relatively good performance, increasing with the number of threads.

Lock-free implementation

The second one examined design is a lock-free array based on the Michael-Scott queue [2]. It shows the worst results with the highest proportion of unsuccessful operations among other implementations, as expected. Such results are due to additional resource-intensive complications of the implementations, which are necessary for its correct operation without the use of locks.

Single-lock implementations

We study implementations with the use of a single lock in order of the increasing complexity. Firstly, we consider a version with a regular lock that provides an exclusive access to the entire data structure. Secondly, we take a version with a read-write lock. The performance of both versions obviously turned out to be lower than sequential, but significantly higher than lock-free and with an expected decrease with an increase of the number of threads. It is worth noting that, despite the initial superiority over the implementation with a regular lock, with the number of threads greater than three, the version with a read-write lock loses its advantage due to the higher operations complexity. However, the same implementations in C++ do not show this issue, which makes it possible to assume that it is due to some peculiarities of the implementation of read-write locks in the Java standard library, and, as a result, its inefficiency.

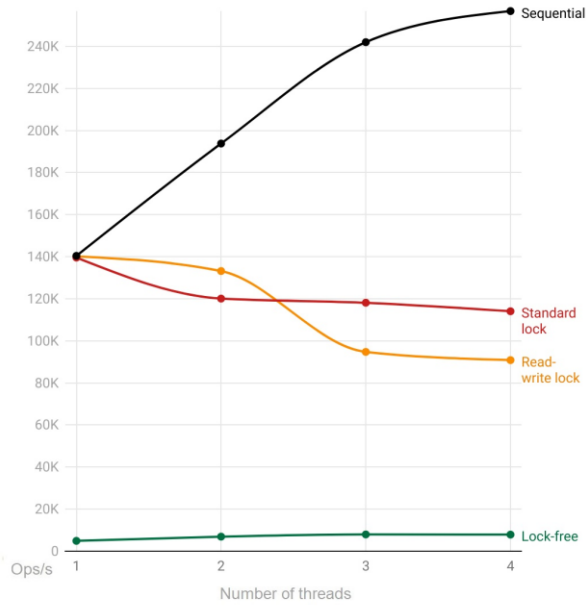


Fig. 1. Conventional techniques

Now, we want to improve the performance, and we present a notion of conditional locks.

Conditional locks

In order to improve the results, it was decided to optimize each operation of array data type taking into account its specifics. Since operations with locks (acquisition and release) are resource-intensive operations, the strategy for taking locks was revised, namely, cases of parallel calling of operations were identified, when the use of locks is not necessary while maintaining linearization. To do this, an atomic variable was added to the data structure, indicating the state of the array: overwriting in the middle, expanding the beginning or end, or deleting an element (since these operations are associated with changing the size of the structure), as well as the absence of the above operations. Thus, all write operations still:

1) take an exclusive lock,
2) set the appropriate state of the structure,
3) perform their actions, and, finally,
4) return the state to what it was before they were called. Read operations, in certain cases, may not take the lock and still be correct in the terms of linearizability, for example, searching for an element by value when adding new ones when elements are not deleted and added in parallel, returning the value of the size variable, etc.

It is presented as pink line of fig. 2. This approach significantly increases the performance of the model compared to the version without such modifications.

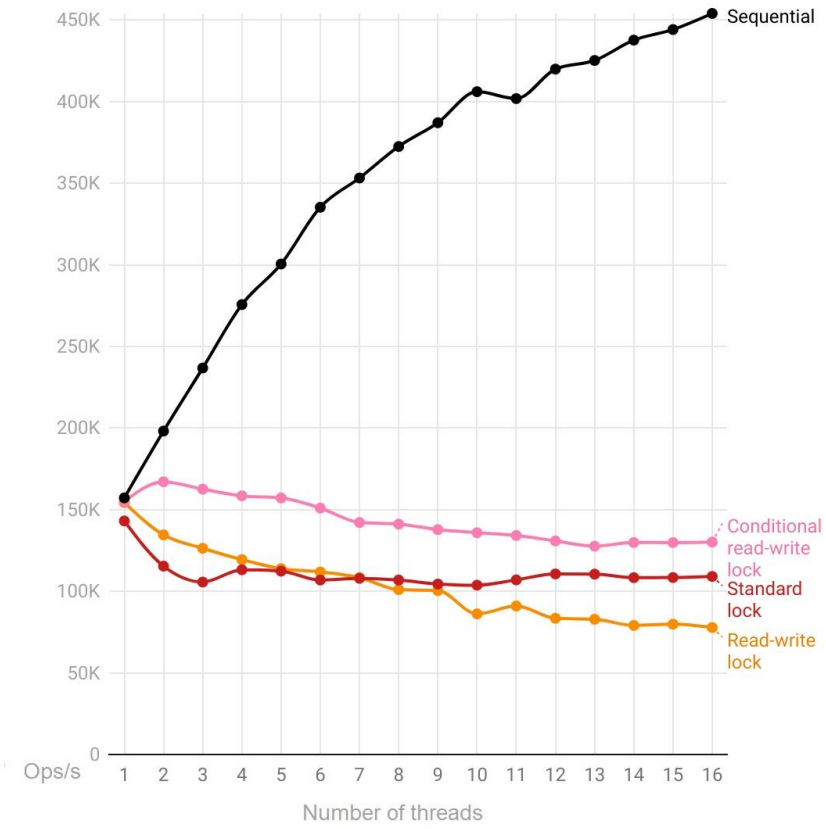


Fig. 2. Conditional locking strategy compared to conventional techniques

Starting at that point we already consider set data type. As the target idea we use hashes with segmentation.

Segmentation

The main features of the implementations mentioned above, that limit their performance, are the need for a long wait for parallel write operations, even if they are performed in different parts of the structure, as well as the relatively long time of search operations (and, as a result, deletion, etc.) due to their linear complexity. To solve the first problem, we began to use locks not on the entire data structure, but on some of the elements, breaking it into blocks, each of which has its own lock. To solve the second problem, we turned to the principle of consistent hashing [3], which is used for sharding in distributed systems. Based on this principle, we created a data structure that is an array of units, each unit, in turn, is a concurrent array data structure described earlier with a conditional read-write lock.

Each unit stores elements whose hash function value falls within the segment: less than or equal to the value that defines it, but greater than the hashes in the previous unit. Each operation with an element-argument starts with the calculation of its hash and with the determining its unit using a binary search. Thus, the complexity of each request is equal to the logarithm of the number of units plus the size of the unit (instead of just the size of the entire structure, as was the case before). Also, sometimes we rebuild the whole data structure by taking the global lock.

Such an organization of the data structure makes it possible to reduce the wait time for exclusive locks to be taken: a lock on the entire array of units is taken for writing only if the system of units itself is rebuilt, and since, say, the parallel addition of two elements can occur in different units, two corresponding locks on elements in units will be taken independently of each other. This approach allowed to significantly increase performance on the parameters of 1024 elements and 11 units. Our best results: 13x more throughput on average than previous array versions, and plus the throughput increases with the number of threads. However, the

performance of such an implementation largely depends on the selection of structure parameters, which define the number and size of blocks, that, in turn, depends on the intended use case: the number of elements, the ratio of the number of write operations to the number of read operations, etc.

Please note, that in the ideal world we could get a corresponding unit by the hash, however, it will not work for the workload when all the elements lie in the same hash range, thus, making the whole data structure to work as a dynamic array data structure, described above and, consequently, have a very bad performance. Thus, we allow for small rebuild of the data structure that we will use later. This "Slotted" approach will be our baseline (fig 3. 4).

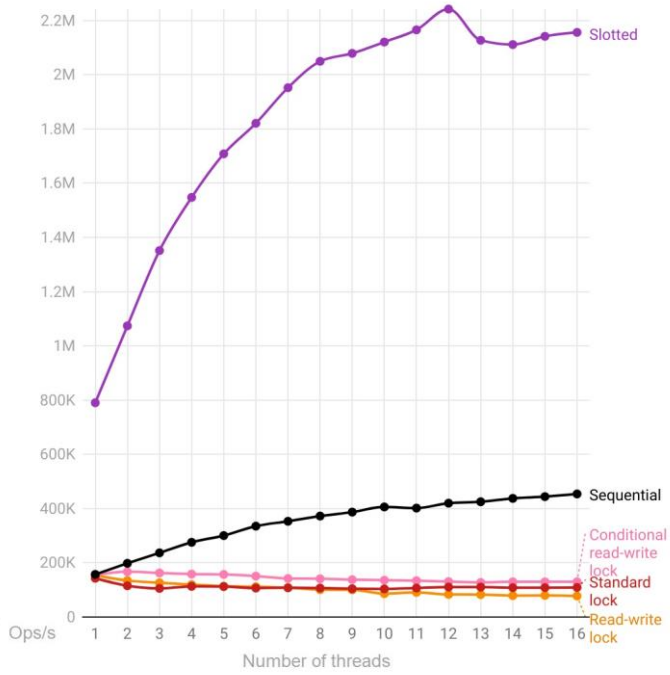


Fig. 3. Segmentation compared to non-segmented implementations (linear scale)

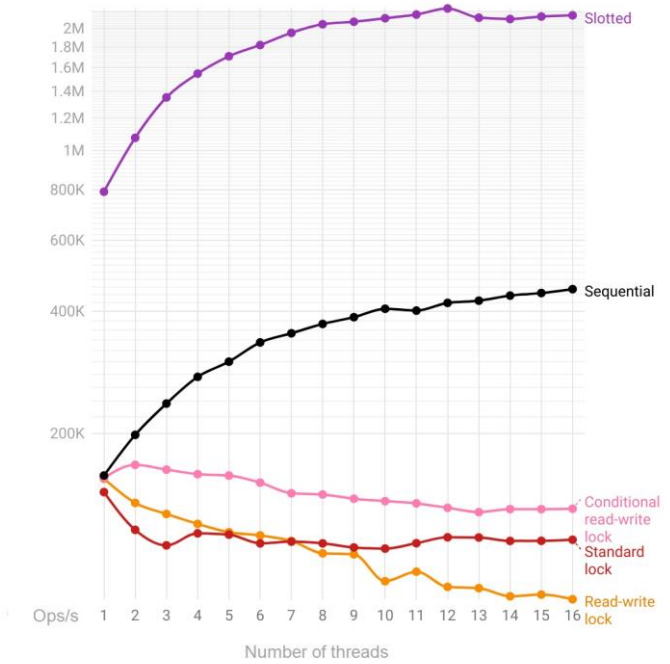


Fig. 4. Segmentation compared to non-segmented implementations (logarithmic scale)

Since we allow for the array of units to be rebuilt, we can use adaptivity on them: split and join some units if there is not enough load or there a high load.

Adaptivity

The main drawback of static partitioning can happen in two following situations. With a small number of units, the process of choosing a unit takes a short time, however, the waiting time for writing to it, as well as the time of working with it (since the operations of searching, deleting, etc. have linear complexity with respect to the size of the unit) is relatively large. If you increase the number of units, achieving a better distribution of values, and, as a result, a better distribution of operations between units, a problem arises: operations begin to affect only a small fraction of units, leaving most empty – extra time is spent searching for a unit and the waiting for threads increases to work with it, as described above. To solve these problems, it is necessary to introduce a mechanism that allows us to split too loaded units and combine lightly-loaded ones. In our implementation the units consist of: the array data structure with a conditional read-write lock, and the biggest hash in it. Thus, the union of units is the union of two arrays into the one that has the larger max. The split transfers the first half of all elements stored by the unit to a new unit with a new max equal to the maximum value of the hash function among the transferred elements. Also, if the data structure implies the storage of identical elements, it is necessary to take them into account when splitting. Separately, it is worth noting that in the process of splitting a unit, it is necessary to avoid comparing the elements themselves, comparing instead their hash values, instead of their vanilla values.

We decide to perform merge and split depending on the load on the units. As a measure of the load per unit, we considered two quantities: the size of the unit and the number of write operations applied to it relative to write operations in general per structure.

Adaptivity based unit’s size

The idea of interpreting the load on a unit through its size was described in the bachelor's thesis "Development of memory-friendly concurrent data structures" by Smirnov R.A. [4], where blocks that become big are split into halves.

We update that approach a little bit and developed the following mechanism: to rebuild the structure of units, units that are too large in terms of the number of elements must be divided in half, and units that are too small must be combined with the smallest of the neighbors. The system is configured with several parameters. The main two are the maximum and minimum possible unit sizes. The third parameter is the frequency of consideration and optimization of units – the number of operations on the entire data structure, once every which to analyze. Also, when creating a structure, you can initially fill it with units of equal size, their number is the fourth parameter, however, during testing, we decided to leave it equal to one.

Additionally, size adaptation partially solves the problem of a bad hash function – if its values are poorly distributed, overloaded units will be split into several.

We have considered two approaches to restructure the structure: 1) decide to optimize a separate unit immediately after a write operation, or 2) consider to optimize the whole array of all units.

The first approach showed the best results (despite the fact that it leaves some empty units), since it takes a long time to analyze all the units at once.

The throughput of this implementation is shown at fig. 5. We still work on the load with 1024 values. Although the size-adaptive implementation showed a threefold increase in performance compared to the static version, the interpretation of the load per unit in terms of the number of operations turned out to be more accurate, as will be shown below.

For this reason, we did not carry out further research and improvements in size adaptivity, and the focus was shifted towards adaptivity in the number of operations.

Adaptivity based on number of operations with unit

To count the number of write operations, atomic counters were added to each unit, as well as to the data structure itself. In the course of working on this type of adaptive implementation, we considered three options for the calculation of the load per unit. In the first one, the decision to split/combine units is made depending on whether the number of operations with the unit is greater or less than some heuristically defined constants. In the second one, the load onto a unit is calculated as the ratio of the number of operations on it to the number of operations on the structure as a whole, that is, as the share of the unit's participation in the work of the structure; similarly, the resulting value was compared with constants. And in the third approach, we calculate the ratio of the number of operations per unit to the average number of operations among all units – a characteristic of how much the load per unit stands out from the total mass. According to the results of our experiments, the third approach showed itself best of all: both in terms of results and ease of setup. Unlike the previous adaptive version, the counting approach distributes the load between units in a more optimal way, since the participation of deletion operations is taken into account here directly, and not indirectly through the size. Also, this approach performs better with an increase in the number of threads – performance increases, in contrast to the approach based on the size of units.

Fig. 5 contains the comparison of adaptive versions on the load with 1024 values, while fig. 6 and fig. 7 contains all the data structures considered in this work on one plot.

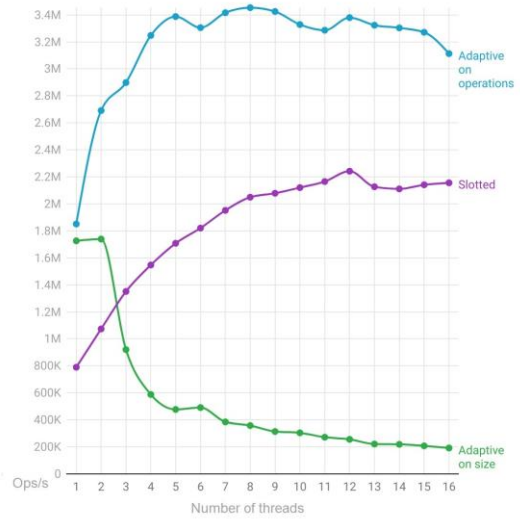


Fig. 5. Adaptive implementations compared to static segmentation

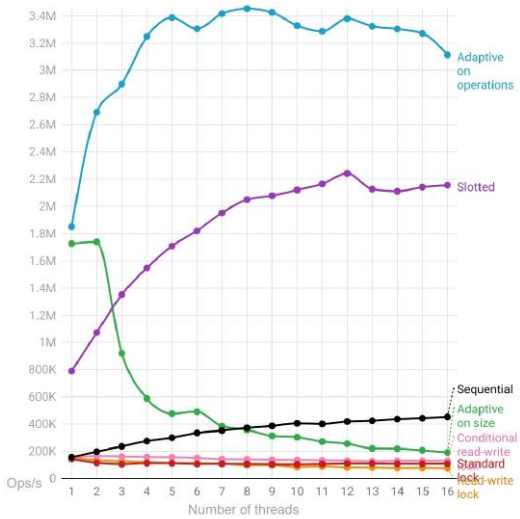


Fig. 6. All explored models together (linear scale)

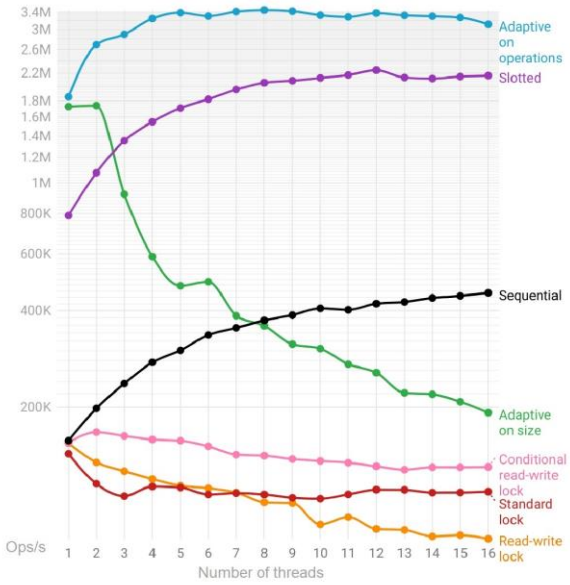


Fig. 7. All explored models together (logarithmic scale)

Conclusion

The adaptivity idea described in this work can be used as a basis for building other adaptive concurrent implementations of sets, multisets, and hash tables. A similar approach allows to build an adaptive version of a concurrent linked-list, where the blocks into which it is divided are split and merged with a similar strategy. Based on the results of the experiments, we developed the following criteria for designing concurrent implementations:

- Using locks is more efficient than the lock-free approach.
- The use of read-write locks is preferable (taking into account the specifics of their implementation in the library used).
- Locks should, if possible, be applied to blocks of elements, and not to the entire structure at once.
- Too small block sizes, and, as a result, too many locks, leads to a drop in performance.
- It is necessary to take into account the specifics of the task (the set of operations used, the potential load, etc.), in accordance with which to modify the universal model.
- An adaptive approach to partitioning data into blocks allows you to achieve a significant increase in performance.
- The number of operations with unit is a better interpretation of unit's load, than its size.

Future work

The main disadvantage of the adaptive implementations proposed by us is the dependence on the parameters that determine the structure operation strategy on the program execution conditions: the number of threads, the mechanism of the operating system scheduler, and others. We managed to select the optimal parameters for various load tests and formulate some hypotheses regarding what and in what form these parameters may depend. We are currently investigating models in which these parameters are automatically adjusted in the face of changing thread competition, as well as other interpretations of unit load, such as the queue size of threads waiting to acquire a lock.

References

1. Gramoli V., Kuznetsov P., Ravi S. and Shang D. A Concurrency-Optimal List-Based Set. 2015. 15 P.

2. Michael M. and Scott M. Simple, Fast, and Practical Non-Blocking and Blocking Concurrent Queue Algorithms // Proceedings of the Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. 1996. 12 P.
3. David K., Eric L., Tom L., Rina P., Matthew L., and Daniel L. Consistent hashing and random trees: distributed caching protocols for relieving hot spots on the World Wide Web. // Proceedings of the twenty-ninth annual ACM symposium on Theory of computing (STOC '97). – Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. 1997. P. 654–663.
4. Смирнов Р.А. Разработка конкурентных структур данных, дружелюбных к памяти: выпускная квалификационная работа. СПб. 2021. 44 с.
5. Gramoli V. More Than You Ever Wanted to Know about Synchronization Synchrobench, Measuring the Impact of the Synchronization on Concurrent Algorithms // Proceedings of the ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming, PPOPP. 2015. P. 1-10.
6. Synchrobench. URL: https://github.com/gramoli/synchrobench. (дата обращения: 19.04.2022).

УДК 004.58, 004.55, 004.51

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕБ-РЕСУРСА МУЗЕЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Е.А. Черногор
Научный руководитель – к.ф.-м.н. А.Г. Балахчи
Иркутский государственный университет
e-mail: chernogor.k@ya.ru

Аннотация
В работе рассмотрены основные вопросы, связанные с реализацией веб-ресурса "Музея городского быта", в который интегрированы технологии дополненной и виртуальной реальности. Моделируемые компьютером объекты создают компоненты иммерсивной среды – расширяют возможности посетителей по восприятию информации, обеспечивают непрерывный поток стимулов и опыта. Также в статье затронуты особенности реализации и нюансы использования AR инструментов.
Ключевые слова
Дополненная реальность, AR/VR, веб-программирование, indoor навигация, AR-гид, иммерсивный контент.

Дополненная реальность (англ. augmented reality, AR) – это технология, которая в реальном времени дополняет окружающую среду цифровыми данными при использовании мобильных или носимых гаджетов – планшетов, смартфонов, очков и т.д.

На современном этапе технологии дополненной реальности рассматриваются, как инструмент взаимодействия с информацией для расширения или получения нового типа опыта взаимодействия в различных сферах современной жизни. Основным сферами реализации является, в первую очередь, индустрия развлечений. Впрочем, AR также используют в образовании, туризме, маркетинге, и т. д., где с помощью данных технологий можно повысить вовлеченность пользователей и по-новому представлять информацию об объектах. На сегодняшний день есть несколько основных подходов к разработке AR решений: разработка приложений с AR, разработка решений, которые работают в специальных приложениях для AR, и разработка для браузера [1].

Одним из самых перспективных подходов на данный момент является webAR – браузерная дополненная реальность. Её основные преимущества: кроссплатформенность, быстрый доступ к решению без скачивания дополнительных материалов, возможность интеграции модулей решения в обычные сайты [2]. К тому же разнообразие библиотек для реализации позволяет минимизировать требования к аппаратной части для отображения базовых сценариев в контексте современных реалий.

Данная работа посвящена разработке веб-проекта с внедрением технологии дополненной и виртуальной реальности для репрезентации объектов культурного наследия – экспонатов музея городского быта города Иркутска. В начале работы были поставлены следующие задачи.

1. Разработка структуры и функциональных требований к будущему веб-ресурсу. Определение сценариев внедрения, появления и коммуникации для цифровых аватаров музейной экспозиции.

2. Сравнительный анализ присутствующих на рынке технологий пригодных для реализации описанных сценариев и выбор инструментов, которые позволят их реализовать в полной мере.

3. Реализация отдельных сцен с AR/VR и сборка на страницах в единый веб-ресурс, и его внедрение в деятельность музея.

Проект включает в себя следующие сценарии, требующие использования AR-VR технологий: распознавание лица, плоскости, изображения-маркера, возможность динамического обмена данными с реальным миром, позволяющими влиять на управление отображением цифровых аватаров основных объектов экспозиции.

В случае с распознаванием лица реализованы сценарии статической маски, анимированной маски и маски-игры. Сценарий распознавания маркеров предоставляет большую вариативность в разработке и также частично может заменяться на распознавание плоскостей, поэтому были выделены следующие варианты: отображение 3D моделей экспонатов в дополненной реальности; демонстрация интерактивных информационных материалов в виде фото-, видео- или аудио-галерей; гид экскурсовод, который позволяет проходить различные маршруты на территории музея, выполняя навигационную роль; порталы в дополненной реальности, при переходе в которые пользователь попадает в VR - интерактивный 360 градусный цифровой сторителлинг.

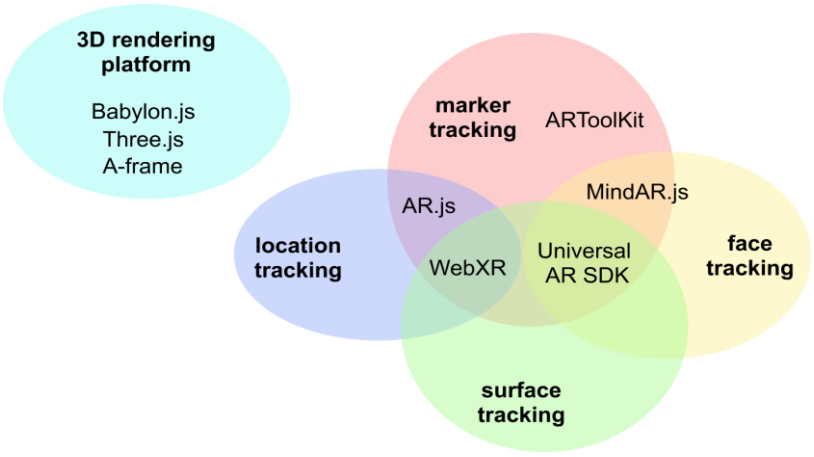


Рис. 1. Карта функциональности WebAR инструментов

Для разработки браузерной дополненной реальности сейчас выделяют следующие инструменты: WebXR, AR.js, Universal AR SDK, ARToolKit. В то время как для разработки браузерной виртуальной реальности можно использовать: WebXR, A-frame, Three.js или Babylon.js. Для решения проблемы с выбором технологий была построена карта библиотек и их возможностей (рис. 1). Технология WebXR предоставляет возможности для реализации как AR, так и VR. Тем не менее, опыты показали, этот инструмент достаточно требователен к аппаратной части устройства, и не на всех современных смартфонах сейчас есть возможность использования этой библиотеки [3, 4]. Наиболее подходящим является Universal AR SDK от компании ZapWorks. Этот SDK нуждается в платформе для 3D-рендеринга для отображения дополненной реальности. И среди списка всех доступных платформ уже присутствуют и A-frame, и Three.js, и Babylon.js. А это значит, что на основе любой из этих трех платформ можно реализовать полноценную браузерную виртуальную реальность и при добавлении Universal AR SDK можно интегрировать еще и дополненную реальность. Кроме того, у этой библиотеки есть также ряд дополнительных возможностей: CLI для формирования файлов маркеров; встроенные модули реализации video recorder, snapshot, social sharing; интерфейс для взаимодействия с точками лица; playcanvas для создания AR игр. Еще один плюс webAR – это способность подключать несколько разных библиотек, реализующих дополненную реальность. Например, Universal AR SDK не позволяет реализовать геопозиционную дополненную реальность, однако подключая AR.js мы можем сразу же решить данную проблему, в то время как для решения схожей

программы, но в разработке мобильного приложения нам пришлось бы потратить больше времени и ресурсов чтобы совместить две библиотеки и не факт, что результат был бы положительным.

При проектировании веб-ресурса система была поделена на две большие части: фронтэнд и бэкэнд. На фронтэнде было реализовано отображение сайта, страниц с AR/VR. Для разработки сайта используется HTML5, Bootstrap CSS, JavaScript. Для реализации дополненной реальности используется Universal AR SDK, а виртуальной реальности и 3D-рендеринга – A-frame и There.js. В реализации бэкэнда использовалась библиотека Flask для python3 для написания веб-сервера и также MySQL субд.

В первую очередь были реализованы простые сценарии взаимодействия с пользователем: такие как фотобудка (маски) и интерактивная галерея. Обе эти подзадачи представляют наложение поверх маркера оверлея и при нажатии кнопок управляющего интерфейса происходит какое-то действие, или смена маски или смена контента в галерее. Для фотобудки также дополнительно было реализовано сохранение фотографий в память устройства (рис. 2).

Рис. 2. Демонстрация работы фотобудки и интерактивной галереи

Далее был реализован портал, который состоит из двух частей: AR и VR. В дополненной реальности при наведении камеры на стену на плоскость накладывается анимация входа в портал. В виртуальной реальности представлена комната, в которую можно зайти из реального мира и точно так же выйти (рис. 3). Виртуальные комнаты представлены в виде нескольких фото 360 комнат и также генеративной комнаты, сделанной с помощью a-frame-enviroment.

Рис. 3. Демонстрация работы AR и VR части портала

Реализация AR гида – это одна из самых трудоемких подзадач, поскольку гид содержит в себе сложный сценарий взаимодействия между частями системы и пользователем. Данная подзадача делится на несколько частей:

- навигация: разработка приложения, которое проводит пользователя по определенному маршруту;
- экспозиция: реализация отображения виртуальных экспонатов в виде 3Д или медиа экспонатов (файлов);
- статистика: визуализация данных, которые отображаются на общем сайте. Данные предоставляют организаторы;
- также существует вспомогательная задача – разработка базы данных.

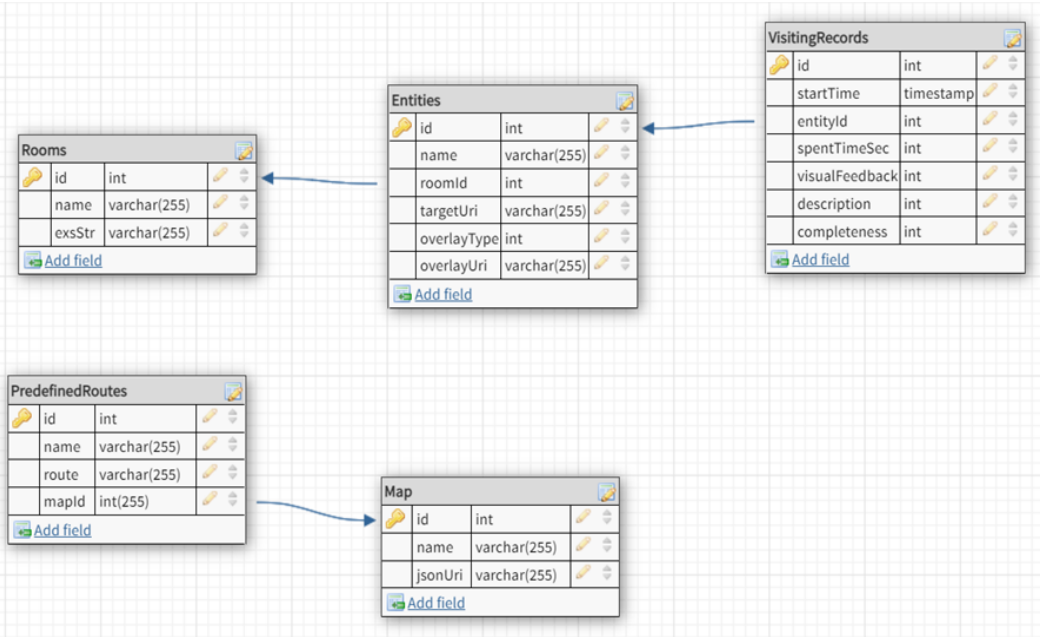


Рис. 4. Архитектура базы данных

Для реализации такой объемной задачи ее необходимо разбить на части и рассматривать по отдельности. В начале была реализована база данных, она состоит из пяти таблиц (рис. 4). Далее разрабатывалась структура взаимодействия различных элементов навигации (рис. 5).

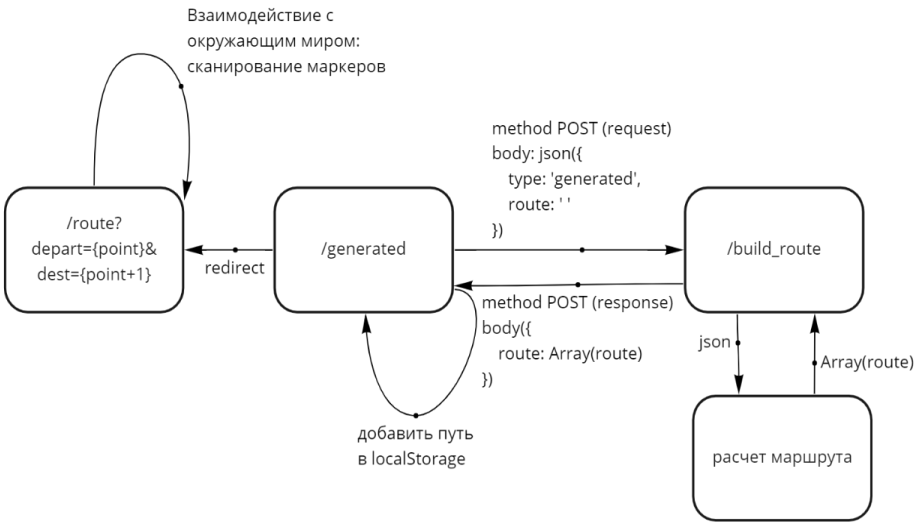


Рис. 5. Схема взаимодействия частей решения для навигации

Сначала пользователь выбирает тип маршрута, в примере это генеративный, url: /generated. Далее нажимает на кнопку сформировать маршрут. На сервер уходит POST запрос на endpoint /build_route.

Данные из тела запроса приводятся к стандартному виду и переходят в модуль расчета маршрута. Расчет маршрута построен на основе алгоритма решения задачи коммивояжера [5]. Когда маршрут полностью просчитан и сформирован, модуль возвращает список с точками, все еще находясь на /build_route.

Затем полученный список преобразуется в массив и записывается в тело ответа на POST запрос, который пришел в начале блока. Ответ приходит на клиентскую сторону, и далее маршрут и текущий индекс маршрута записываются в локальное хранилище.

После сохранения данных в хранилище, происходит перенаправление на страницу следования по маршруту между двумя точками, url: /route?depart={}&dest={}. И далее уже при распознавании изображения изменяется текущий индекс и формируется новый url для следующих точек (рис. 6).

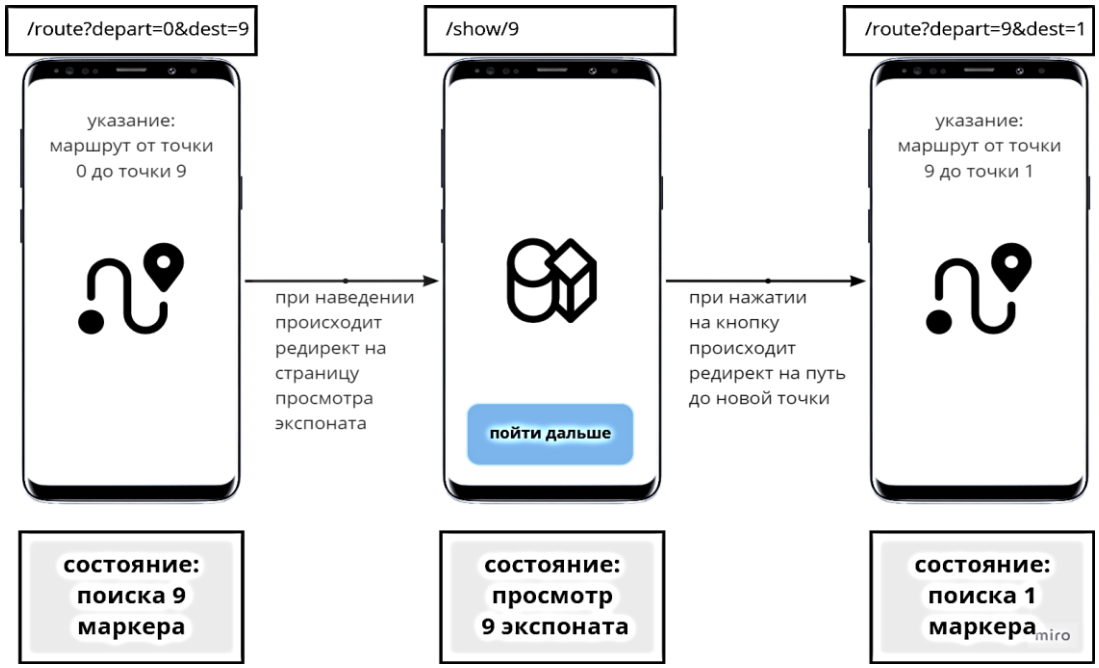


Рис. 6. Схема работы отображения экспозиции

Структуру реализации отображения экспозиции можно рассмотреть на рис. 6 выше. Режим работы гида можно поделить на две части:

- следование между точками –режим «в пути»,
- просмотр текущей точки – режим «просмотр».

По умолчанию гид всегда начинается в режиме «в пути». В шаблоне страницы отображается текущее сообщение – действия, которые необходимо проделать, чтобы найти следующий маркер.

При наведении на найденный маркер происходит перенаправление на страницу просмотра, также меняется тип отображения (переменная в хранилище), изменяется шаблон отображения.

Пользователь продолжает наводить камеру на маркер – происходит отображение оверлея. По прошествию некоторого времени, когда пользователь уже изучил экспонат, он нажимает на кнопку «пойти дальше». Страница опять переходит в режим «в пути»: происходит перенаправление на страницу следования по маршруту, меняется тип отображения, изменяется шаблон отображения (рис. 7).

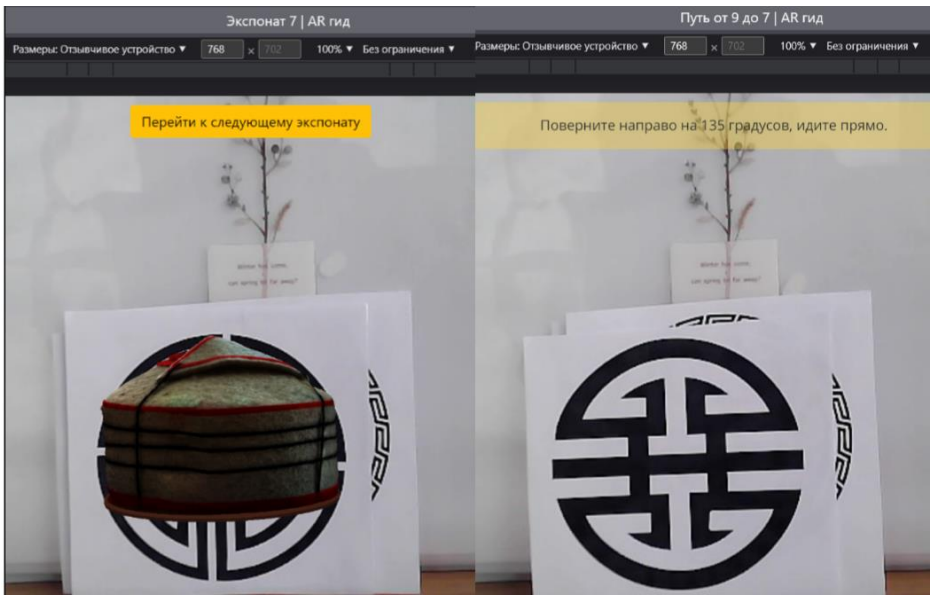


Рис. 7. Демонстрация работы гида в двух режимах

При реализации статистики было разработано два универсальных шаблона для просмотра информации. Первый шаблон позволяет представлять данные в табличном виде, а второй строить графики, причем типы графиков также можно менять в зависимости от настроек отображения.

В результате работы был реализован веб-ресурс включающий фотобудку, интерактивную галерею, порталы, AR гид и статистику посещений. На данный момент инструменты Universal AR SDK не позволяют полностью реализовать весь спектр запланированных сценариев. В будущем планируется внедрить вспомогательные инструменты – дополнительные библиотеки и добавить на разрабатываемый веб-ресурс функцию создание квестов или экскурсий по местам города с помощью геопозиционной дополненной реальностью. Также расширить возможности взаимодействия с динамическими или интерактивными объектами в AR/VR. В настоящий момент проект находится в стадии доработки и внедрения в функционирование музея.

Литература

1. What Differentiates Web AR from Apps? – AR Insader [Электронный ресурс], URL: https://arinsider.co/2021/11/23/what-differentiates-web-ar-from-apps/ (дата обращения: 02.02.2021).
2. Возможности дополненной реальности в вебе. Почему так важен Web AR? – Phygitalism [Электронный ресурс], URL: https://medium.com/phygitalism/web-ar-348de5d7188 (дата обращения: 02.02.2021).
3. A look at WebXR and its frameworks as an important future of XR technology. – DEV community [Электронный ресурс], URL: https://dev.to/babatunde/a-look-at-webxr-and-its-frameworks-as-an-important-future-of-xr-technology-5g0h (дата обращения: 02.02.2021).
4. ARCore supported devices – Google Developers [Электронный ресурс], URL: https://developers.google.com/ar/devices?hl=cs (дата обращения: 03.02.2021).
5. 10 Графовых алгоритмов – Андрей Шагин [Электронный ресурс], URL: https://medium. com/nuances -of-programming/10-графовых- алгоритмов-наглядное-объяснение-53226d8e6ba0 (дата обращения: 16.02.2021).

УДК 004.04

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В ПЛАНИРОВАНИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗЕЛЕНЫХ ЗОН НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Т.А. Чурякова
Научный руководитель – к.т.н. С.А. Митягин
Университет ИТМО
e-mail: churyakovat@itmo.ru

Аннотация
В работе проведен обзор методов планирования размещения зеленых зон на территории города с точки зрения изменения землепользования и растительного покрова. Рассматривается оценка влияния потенциальных изменений согласно концепции экосистемных услуг, так как изменения в землепользовании и растительном покрове были определены как один из основных факторов, ответственных за ухудшение способности экосистем предоставлять услуги в количественном и качественном отношении.

Ключевые слова
Экосистемные услуги, землепользование, моделирование, оценка экосистемных услуг, городские озелененные территории.

Рост населения и урбанизация приводят к значительным изменениям в ландшафтах и окружающей среде и могут вызывать различные социально-экономические и экологические проблемы, например, изменения в транспортной, жилищной политиках, приводящие к сокращению озелененных территорий города [1]. Эти проблемы имеют ряд последствий от более крупных проблем, таких как глобальное изменение климата, до достижения устойчивого развития на местном уровне. В настоящее время поддержание и улучшение зеленой инфраструктуры представляет собой ключевой инструмент для адаптации к изменению климата и планированию устойчивого развития. В контексте города важное место занимает концепция экосистемных услуг, преследующая цель продвижения экосистемных услуг для достижения большей устойчивости, здоровья и благополучия человека [2].

Целью планирования землепользования является создание безопасной, здоровой, приятной и социально функциональной среды для жизни и работы человека. Недостаточное количество зеленых насаждений в условиях сложившейся плотной городской застройки, отсутствие парков и зеленых насаждений в пешеходной доступности показывают нехватку и обеспечивают научную основу для распределения и оптимизации зеленых зон в городе. Растительность городских районов может играть роль в поглощении углекислого газа и, таким образом, в смягчении последствий изменения климата. Рекреационные услуги имеют экономическое значение: городские квартиры, расположенные в непосредственной близости от лесов и водоемов, стоят дороже, чем те, что расположены дальше. Рекреационные услуги также важны для туризма, поскольку вопросы, связанные с природой, часто влияют на решения иностранных туристов [3].

Модификации ландшафта являются одной из основных причин изменения окружающей среды, и поэтому им уделяется разумное внимание в методах моделирования, поскольку понимание изменений землепользования и растительного покрова, движущих сил и процессов обеспечивает решение экологических проблем. Основные причины изменения окружающей среды различаются в зависимости от характера и площади территории. Биофизические, физические и социально-

экономические факторы являются наиболее влиятельными движущими силами изменения землепользования и растительного покрова [4].

Изменения в землепользовании и растительном покрове признаны одними из основных факторов, влияющих на биоразнообразие и экосистемные услуги. Особенно в районах с высокой биофизической и социально-экономической неоднородностью до сих пор остается открытым вопрос о необходимости поиска оптимальных планировочных решений для объединения человеческих и природных систем.

Концепция экосистемных услуг может помочь в интеграции городских естественных и социальных научных исследований, что, в свою очередь, приведет к успешному применению результатов исследований в городском планировании, городском управлении и поддержании биологического разнообразия.

Экосистемные услуги являются функциональным связующим звеном между человеком и природой [3]. Например, деревья обеспечивают естественную тень, которая может помочь снизить температуру поверхности и воздуха, но без участия человека тень, обеспечиваемая деревьями, была бы просто естественной функцией, а не услугой. По сути, концепция экосистемных услуг является антропоцентрической и преследует цель продвижения экосистемных услуг для достижения большей устойчивости, здоровья и благополучия человека.

Благодаря «Оценке экосистем на пороге тысячелетия» в 2005 году концепция экосистемных услуг приобрела известность и важность. Была проведена всесторонняя оценка различных экосистемных услуг и классификация их по четырем категориям:

– обеспечивающие – это материальные блага, создаваемые экосистемами, такие как продукты питания, пресная вода, лесоматериалы, натуральные лекарства и фармацевтические препараты;

– регулирующие – представляют собой процессы, обеспечивающие долгосрочное функционирование экосистемы за счет поддержания характеристик экосистемы в стабильных пределах. Они включают в себя экологический процесс и динамику, борьбу с вредителями и болезнями, очистку воды и воздуха, разложение и детоксикацию отходов, регулирование климата и секвестрацию углерода. Являются важными предпосылками для других экосистемных услуг;

– культурные – это нематериальные блага, которые люди получают от экосистем включая духовное обогащение, когнитивное развитие, размышления, отдых и эстетические переживания;

– поддерживающие – это базовые функции экосистемы, которые позволяют функционировать другим услугам. Эти услуги поддерживают разнообразие растений и животных включая фотосинтез, опыление, среду обитания, круговорот питательных веществ и гидрологический круговорот [5].

Отсутствие информации об услугах городских экосистем может привести к тому, что решения по планированию и управлению землепользованием могут быть основаны на неадекватной информации о выгодах, которые люди могут получить, например, от городских парков и лесов. Это может привести к недооценке экосистемных услуг. Если воздействие изменений в землепользовании на экосистемные услуги не будет оценено заранее, потеря или восстановление этих услуг могут повлечь за собой значительные затраты. Некоторые из этих издержек могут быть измерены с экономической точки зрения, но многие из них трудно поддаются количественной оценке [3].

В последние несколько десятилетий модели изменения землепользования сыграли важную роль в понимании причин, механизмов и последствий динамики землепользования. Модели предоставили возможность изучить и оценить политику землепользования и помогли визуализировать альтернативные варианты будущего. Было разработано и применено несколько эмпирических методов и программного обеспечения для моделирования изменения землепользования и растительного покрова. Наиболее распространенные и широко используемые модели для проектирования

будущий изменений [2]:

1. Клеточные автоматы (Cellular Automata) – наиболее распространенная модель благодаря своей гибкости и простоте применения, в сочетании с географическими информационными системами определяет места с высокой степенью пригодности для перехода землепользования на основе взвешенного коэффициента пригодности наложения. Может моделировать пространственную динамику снизу вверх, способную установить взаимосвязи между классами землепользования и движущими силами, что позволяет моделировать различные сценарии. Одно из его основных преимуществ заключается в представлении движущих сил этих изменений в землепользовании с помощью правил перехода и выражении пространственных внешних эффектов с помощью правил соседств.
2. CLUE-S model – динамическая модель, позволяющая моделировать конкуренцию за землепользование. Охватывает как непространственные, так и пространственные данные. Непространственные данные применяются для оценки параметров землепользования и пространственных данных, включая прогноз землепользования, ограничения землепользования, изменения в землепользовании и пригодность пространственного распределения для каждого класса землепользования.
3. Land Change Modeler – интегрированная модель в программном обеспечении TerrSet. Включает в себя: искусственную нейронную сеть, цепь Маркова, клеточные автоматы и принципы мягкого и жесткого прогнозирования. Использует исторические наборы данных и факторы изменения переменных в виде карт.

Во всем мире предпринимаются серьезные усилия по включению экосистемных услуг и их ценности в политику, финансы и управление. Эти усилия все больше опираются на модели, которые связывают сценарии изменений в экосистемах с изменениями в предоставлении услуг, и они были приняты в международном масштабе. Наиболее часто используемыми методами для оценки будущих воздействий на экосистемные услуги являются [2]:

1. InVEST model - Интегрированная оценка экосистемных услуг и компромиссов, набор моделей, используемых для картирования и оценки товаров и услуг природы, которые поддерживают и наполняют человеческую жизнь. Модели InVEST проекта Natural Capital используются в 185 странах мира. Модели InVEST основаны на производственных функциях, которые определяют, как изменения в составе, конфигурации и функциях экосистемы могут повлиять на потоки и ценность экосистемных услуг в ландшафте или морском ландшафте. Они имеют открытый исходный код, тестируются и адаптируются через широкую сеть. В модели применяются геопространственные и табличные данные, измеряющие экологическую динамику. Данный метод используется для количественного измерения характеристик ландшафта и направлен на оценку товаров и услуг, получаемых от природы.
2. Coefficients to estimate ES value for different biomes - «benefit transfer», подразделяют экосистемные услуги на 16 типов и 17 подтипов в зависимости от их сервисных функций. Являются одними из наиболее широко используемых коэффициентов при оценке экосистемных услуг. В 2003 году и позже в 2008 году эти коэффициенты были адаптированы и продолжают пользоваться спросом.
3. Co$ting Nature - оценка природного капитала, экосистемных услуг, приоритетов сохранения окружающей среды, а также измерение нагрузки и угрозы биоразнообразию. Исследование воздействия экосистемных услуг в условиях антропогенной деятельности.

Городские экосистемы предоставляют жизненно важные услуги городским жителям. Все чаще признается, что экосистемные услуги должны быть включены в городское планирование. Чтобы справиться с всепроникающими эффектами изменений землепользования и растительного покрова и их будущими последствиями для предоставления экосистемных услуг, необходимо прогнозировать будущие изменения.

Модели, которые могут прогнозировать будущие изменения землепользования и растительного покрова, могут предвидеть потенциальное будущее воздействие на экосистемные услуги и поддерживать процессы принятия решений.

Литература

1. Wang L. et al. Analysis on the spatial accessibility of parks and green spaces and optimal site selection – Taking Weifang prefecture-level city as an example // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Vol. 865, № 1. P. 012020.
2. Gomes E. et al. Future land-use changes and its impacts on terrestrial ecosystem services: A review // Science of The Total Environment. Elsevier, 2021. Vol. 781. P. 146716.
3. Niemelä J. et al. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: A Finland case study // Biodiversity and Conservation. Springer. 2010. Vol. 19. № 11. P. 3225–3243.
4. Nwaogu C., Benc A., Pechanec V. Prediction models for landscape development in gis // Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer Berlin Heidelberg. 2018. P. 289–304.
5. Haase D. et al. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation // Ambio. Kluwer Academic Publishers. 2014. Vol. 43. № 4. P. 413–433.

УДК 004.93

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Ф.А. Шеметов[1]
Научный руководитель – Е.А. Лукьянец[2]
1 – Университет ИТМО
2 – ООО «ЦРТ-Инновации»
philippitemail@gmail.com

Аннотация
В работе исследованы существующие фреймворки, проведены сравнения фреймворков по параметрам и получены общие итоговые оценки, которые позволяют оценить эффективность каждого фреймворка.
Ключевые слова
Фреймворк, нейронные сети прямого распространения, оптимизация, прямой проход.

В настоящий момент существуют различные фреймворки для нейронных сетей прямого распространения на различных вычислителях (CPU/GPU/Мобильные процессоры). Каждый фреймворк обладает своим набором оптимизаций прямого прохода для нейронных сетей, так как есть разные серии вычислителей с разными поддерживаемыми операциями, есть разные операционные системы и также другие возможные комбинации, где оптимизация работает по-другому. Неоптимизированный прямой проход нейронной сети может занимать не мало времени и оперативной памяти на большом наборе данных чтобы спрогнозировать результат, из-за чего конечный результат не является эффективным. Примером можно взять камеру с искусственным интеллектом, где на вход на обученную нейронную сеть в реальном времени может подаваться примерно 1800 изображений в минуту. Неоптимизированный прямой проход не сможет всё это быстро обработать и спрогнозировать все нужные результаты.

Прямой проход (англ. inference) – действие, когда на обученную модель нейронной сети подается набор неизвестных данных, происходит их вычисление и в результате выдается прогноз, основанный на точности предсказания нейронной сети. Фреймворк (англ. Framework) – это библиотека, которая предоставляет возможность разработки, обучение и валидации нейронной сети с помощью высокоуровневого интерфейса [1-5].

Обзор и исследование фреймворков

Для оптимизации прямого прохода нейронных сетей и внедрение в SDK, нужно сначала рассмотреть, как минимум все популярные фреймворки для нейронных сетей, проанализировать их и изучить насколько они перспективны. В итоге получился список фреймворков:

- TensorFlow,
- PyTorch,
- ONNX,
- CAFFE,
- DL4J,
- Theano,
- Keras,
- MXNet,
- Microsoft Cognitive Toolkit,
- OneFlow.

Из этого списка фреймворки Caffe, Theano и Microsoft Cognitive Toolkit больше не поддерживаются разработчиками. Чтобы выбрать наиболее перспективные оставшиеся фреймворки из этого списка, нужно выделить некоторые параметры, по которым можно их сравнить: потребление ресурсов, сложность встраивания, сложность применения к существующим моделям, скорость работы, поддержка, активное развитие. Для исследования фреймворков была создана таблица, где происходит сравнение их по параметрам. Параметры оцениваются относительно сложности или присутствия функции в фреймворке, нормируются от 0 до 1 и умножаются на коэффициенты, которые представляют собой степень важности параметра для итогово результата.

Параметры, которые были выбраны для сравнения фреймворков и их описание:

1. Параметр “Потребление ресурсов в МБ(CPU)” – сколько выделяется оперативной памяти для прямого прохода на CPU.
2. Параметр “Потребление ресурсов в МБ(GPU)” – сколько выделяется оперативной памяти для прямого прохода на GPU.
3. Параметр “Сложность встраивания” – насколько легко реализовать передачу данных и получение итогового результат.
4. Параметр “Сложность применения к существующим моделям” – насколько легко произвести конвертацию модели к другому фреймворку.
5. Параметр “Скорость работы в секундах (CPU)” – как долго работает выполнение прямого прохода нейронной сети на CPU.
6. Параметр “Скорость работы в секундах (GPU)” – как долго работает выполнение прямого прохода нейронной сети на GPU.
7. Параметр “Поддержка” – есть ли все ресурсы для получения ответов на технические вопросы связанные с фреймворком.
8. Параметр “Активное развитие” – поддерживается ли в текущий момент разработчиками фреймворк.

Описание коэффициентов:

- коэффициент для параметра “Потребление ресурсов в МБ” равен 0,5, так как параметр только влияет на техническую сторону,
- коэффициент для параметра “Сложность встраивания” равен 1, так как параметр влияет на потраченное количество человеко-часов,
- коэффициент для параметра “Сложность применения к существующим моделям” равен 1, так как параметр влияет на потраченное количество человеко-часов,
- коэффициент для параметра “Скорость работы в сек” равен 1, так как параметр влияет на скорость работы прямого прохода, которое в дальнейшем будет оптимизироваться,
- коэффициент для параметра “Поддержка” равен 1, так как без поддержки придется тратить человеко-часы на исправление ошибок во фреймворке,
- коэффициент для параметра “Активное развитие” равен 1, так как требует траты человеко-часов на исправление совместимостей и ошибок во фреймворке.

Результатом является итоговая оценка (Таблица 3), которая высчитывается оценками по столбцам для каждого фреймворка по формуле: - (Потребление ресурсов в МБ(CPU)) * 0,5 - (Потребление ресурсов в МБ(GPU)) * 0,5 + (Сложность встраивания) * 1 + (Сложность применения к существующим моделям) * 1 - (Скорость работы в сек(CPU)) * 1 - (Скорость работы в сек(GPU)) * 1 + (Поддержка) * 1 + (Активное развитие) * 1 (табл. 1, 2).

Характеристики эксперимента:

- операционная система: Ubuntu 20.04,
- процессор: Intel i7-10700k x86_64,
- видеокарта: Nvidia GTX 1080 TI 12 Гб,
- размер оперативной памяти: 32 Гб.,
- модель нейронной сети: IResNet50,

– тестовые данные: ImageNet.

Таблица 1

Сравнение фреймворков. Часть 1

Фреймворк	Потребление ресурсов в МБ(CPU)	Потребление ресурсов в МБ(CUDA)	Сложность встраивания	Сложность применения к существующим моделям
ONNX	0	0,048	1	0,900
PyTorch	0,643	0	1	1
TensorFlow	1	0,964	1	0,800
MXNet	0,206	0,095	0,800	0,800
Keras	0,841	1	1	0,600

Таблица 2

Сравнение фреймворков. Часть 2

Фреймворк	Скорость работы в сек (CPU)	Скорость работы в сек (CUDA)	Поддержка	Активное развитие
ONNX	0	0	1	1
PyTorch	0,804	0,196	1	1
TensorFlow	0,801	0,375	1	1
MXNet	1	1	1	1
Keras	0,887	0,674	1	1

Таблица 3

Итоговая оценка

Фреймворк	Потребление ресурсов в МБ(CPU)
ONNX	3,876
PyTorch	2,678
TensorFlow	1,642
MXNet	1,449
Keras	1,118

Оценивание каждого фреймворка по каждому параметру:
Потребление ресурсов в МБ(CPU):
– ONNX – 180 МБ (0). Итого: 1;
– PyTorch – 1800 МБ (-0,64). Итого: 0,36;
– TensorFlow – 2700 МБ (-1). Итого: 0;
– MXNet – 700 МБ (-0,21). Итого: 0,79;
– Keras – 2300 МБ (-0,84). Итого: 0,16.
Потребление ресурсов в МБ(GPU):
– ONNX – 1300 МБ (-0,05). Итого: 0,95;
– PyTorch – 900 МБ (0). Итого: 1;
– TensorFlow – 9000 МБ (-0,96). Итого: 0,04;
– MXNet – 1700 МБ (-0,1). Итого: 0,9;
– Keras – 9300 МБ (-1). Итого: 0.

Сложность встраивания:

– ONNX – не было замечено проблем. Итого: 1;
– PyTorch – не было замечено проблем. Итого: 1;
– TensorFlow – не было замечено проблем. Итого: 1;
– MXNet – тяжело найти информацию о том, как можно встроить в проект. (-0,2). Итого: 0,8.
– Keras – не было замечено проблем. Итого: 1.

Сложность применения к существующим моделям:

– ONNX – требуется конвертация модели (-0,1). Итого: 0,9;
– PyTorch – модель реализована напрямую. Итого: 1;
– TensorFlow – требуется двойная конвертация модели (-0,2). Итого: 0,8;
– MXNet – требуется двойная конвертация модели (-0,2). Итого: 0,8;
– Keras – требуется двойная конвертация модели (-0,2), мало методов (-0,2). Итого: 0,6.

Скорость работы в секундах (CPU):

– ONNX – 1297 сек. (0). Итого: 1;
– PyTorch – 2318 сек. (-0,80). Итого: 0,2;
– TensorFlow – 2314 сек. (-0,80). Итого: 0,2;
– MXNet – 2567 сек. (-1). Итого: 0;
– Keras – 2424 сек. (-0,89). Итого: 0,11.

Скорость работы в секундах (GPU):

– ONNX – 296 сек. (0). Итого: 1;
– PyTorch – 361 сек. (-0,20). Итого: 0,8;
– TensorFlow – 420 сек. (-0,38). Итого: 0,62;
– MXNet – 627 сек. (-1). Итого: 0;
– Keras – 519 сек. (-0,67). Итого: 0,33.

Поддержка:

– ONNX – поддержка присутствует. Итого: 1;
– PyTorch – поддержка присутствует. Итого: 1;
– TensorFlow – поддержка присутствует. Итого: 1;
– MXNet – поддержка присутствует. Итого: 1;
– Keras – поддержка присутствует. Итого: 1.

Активное развитие:

– ONNX – активно развивается. Итого: 1;
– PyTorch – активно развивается. Итого: 1;
– TensorFlow – Аативно развивается. Итого: 1;
– MXNet – активно развивается. Итого: 1
– Keras – активно развивается. Итого: 1.

Итоговая оценка показывает (табл. 3), что самые большие оценки у фреймворков TensorFlow, PyTorch и ONNX. Выбираем их для дальнейших исследований.

Выводы

Результатами моей работы являются сравнение различных фреймворков для нейронных сетей и выбор наиболее перспективных фреймворков: TensorFlow, PyTorch, ONNX.

В дальнейшей работе будет исследована оптимизация времени работы прямого прохода для выбранных фреймворков и для каждого вычислителя (CPU/GPU).

Литература

1. SparseDNN: Fast Sparse Deep Learning Inference on CPUs [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2101.07948.pdf. (дата обращения: 08.03.2022).

2. PyTorch: Performance Tuning Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pytorch.org/ tutorials/ recipes/recipes/tuning_guide.html. (дата обращения: 14.03.2022).
3. Fast Sparse Deep Neural Network Inference with Flexible SpMM Optimization Space Exploration [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/ document/9622791. (дата обращения: 22.03.2022).
4. Deep Compression: Optimization Techniques for Inference & Efficiency [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.kdnuggets.com/2019/03/deep-compression-optimization-techniques-inference-efficiency.html. (дата обращения: 27.02.2022).
5. How to Optimize a Deep Learning Model for faster Inference [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.thinkautonomous.ai/blog/?p=deep-learning-optimization. (дата обращения: 25.03.2022).

УДК 004.8

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ИНТЕРЕСОВ И АКТИВНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Е.К. Щепина
Научный руководитель – к.т.н., научный сотрудник А.Г. Суриков
Университет ИТМО
e-mail: evgshchepina@gmail.com

Работа выполнена в рамках НИРМА №621313, «Разработка алгоритмов моделирования виртуальных сообществ на основе подходов композитного ИИ».

Аннотация
В настоящей работе представлена модель динамического анализа цифровых следов пользователей социальных систем, осуществляющая представление как отдельных пользователей, так и сообществ пользователей в пространстве их интересов и активностей. Данная модель позволяет отслеживать изменения в интересах пользователей, определять степень близости их интересов друг к другу, выделять кластеры, наблюдать за развитием интересов как отдельных пользователей, так и целых сообществ пользователей.
Ключевые слова
Мультимодальное пространство интересов, траектории интересов, динамическое моделирование, тематическое моделирование, анализ социальных сетей.

Введение

Пользователи социальных систем оставляют множество цифровых следов, используя которые можно не только сделать вывод о конкретном человеке, но и оценить целые сообщества людей – агентов рассматриваемых киберсистем. В данной работе мы предпринимаем попытку объединить выводы по гетерогенным цифровым следам пользователей, собрав результаты их анализа в едином пространстве интересов, и построить динамическую модель изменений данных интересов рассматриваемых пользователей с течением времени. Цель данной работы заключается в получении комплексного вывода об интересах и активностях пользователей и сообществ пользователей, представляющего как самостоятельную ценность (например, для решения задач социальных исследований), так и в качестве подхода для улучшения других алгоритмов и моделей.

Обзор работ

Определение интересов пользователей социальных систем - комплексная задача, работа над которой ведется более 10 лет. Помимо использования информации об интересах пользователей для маркетинговых активностей [1], существуют исследования по использованию анализа интересов пользователей для определения спаммеров [2]. Исследователи использовали подход определения связи между двумя пользователями через их общие интересы, получаемые с использованием технологии тематического моделирования, после чего кластеризовывали пользователей на группы для выявления пользователей, распространяющих спам-сообщения. Для моделирования связей между пользователями используют графы [2, 3], анализируя которые можно выявить некоторые свойства анализируемой группы пользователей. Некоторые используют лайки для определения факта того, что пользователь заинтересован в каком-то вопросе

и помимо текстов, анализируют также общую доступную информацию о пользователе, такую как пол, возраст, образование [4]. Известно, что социальные сети содержат много текстовой информации. Для извлечения семантики из этой информации используются специальные методы и алгоритмы анализа текстовых данных. Одним из таких подходов является тематическое моделирование. Существует много методов, которые используются для получения тематических моделей. Скрытое распределение Дирихле (Latent Dirichlet Allocation - LDA) [5] – это широко используемый метод моделирования тем для извлечения тем из текстовых данных. Помимо определения семантики текстов, тематические модели могут использоваться для структурирования текстовой информации [6]. Тематические модели получают темы (обычно представленные в виде наборов важных слов – терминов) автоматически из документов с использованием подходов к обучению без учителя. Однако не гарантируется, что темы будут правильно интерпретированы, поэтому для различения хороших и плохих тем используются различные метрики согласованности [7, 8]. Эти метрики помогают различать темы, которые являются семантически интерпретируемыми темами, и темами, которые являются артефактами статистического вывода. Помимо использования всего корпуса доступного текста, также используются различные подходы фильтрации текста. Например, использование для анализа только существительных может дать лучшие результаты, чем использование всего текста [9]. Помимо использования стандартных подходов к построению тематических моделей: использование таких алгоритмов как LDA (Latent Dirichlet allocation), PLSA (Probabilistic Latent Semantic Indexing), алгоритмы основанные на SVD (Singular Value Decomposition) и NMF (Non-negative matrix factorization), в работах также встречается использование комбинации тематических моделей, например, в работе исследователи использовали гибридных подход, на основе LDA и NMF для повышения точности модели [10]. Для моделирования интересов пользователей помимо унимодальных данных, используются такие мультимодальные данные, например, текст и визуальная информация [11]. Использование такого подхода может увеличить точность предсказательной модели. Помимо статического анализа, в некоторых работах используют свойство изменчивости данных, характеризующих пользователя. Так, в работе авторы рассматривают изменение графа друзей с течением времени [12]. Авторы другой работы анализируются графы и выделенные в них кластеры в разные моменты времени [13]. Используя такой подход, можно наблюдать, как меняются характеристики графа, например, мера центральности, плотность сети, централизация сети [14]. Для оценки кластеризации использовались точность, precision, recall, F-мера.

Описание модели

Посты и репосты пользователей могут свидетельствовать об их активности или личном мнении или опыте. Например, люди часто размещают на своей странице фотографии и тексты из путешествий, мероприятий или других значимых событий, а также свою точку зрения на общественно-политические и другие темы. При этом группы, на которые подписан пользователь могут свидетельствовать о его интересах и предпочтениях. Поэтому данные из этих двух источников были разделены на две разные тематические модели. Значения параметров модели (количество тем) определяются на основе метрик качества. Согласно векторами соответствия (эмбеддингов) текстов каждого пользователя результатам моделей строится граф, вершинами которого являются полученные темы (двух типов - интересы и активности), а вес ребра между вершинами равен определяется следующим образом:

$$w_{ij} = \sqrt[P]{\frac{\sum_{k=1}^{n} T_k^i * T_k^j}{n}}, \quad (1)$$

где w_{ij} – это вес ребра между темами i и j, n – это количество анализируемых пользователей, T_k^i – это значение темы i для пользователя k, P – это сглаживающий параметр.

Для анализа характеристик пользователей, таких как их интересы в динамике, вводится понятие траектории интересов пользователя. Траекторию i-го пользователя в N-мерном пространстве его интересов можно представить в виде последовательности M N-мерных векторов, характеризующих интересы пользователя для M временных меток:

$$traj_{\text{i}} = \left(\overrightarrow{v_i^1}, \overrightarrow{v_i^2}, \dots, \overrightarrow{v_i^M}\right), \tag{2}$$

$$\overrightarrow{v_i} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_N \end{pmatrix}, \tag{3}$$

где $\overrightarrow{v_i^j}$ – это вектор пользователя i, характеризующий его интересы в момент времени j.

Построив траектории для двух пользователей по формуле 2, можно количественно сравнить этих пользователей благодаря их траекториям. Для сравнения необходимо определить метрики сходства траекторий, которые будут наиболее подходящими показателями для данной проблемы:

1. Lock-step Euclidean distance (LSED) – метрика, измеряющая общее расстояние между всеми парами соответствующих точек на двух траекториях.
2. Longest common subsequence (LCSS) – метрика, определяющая, насколько хорошо совпадают две траектории, измеряя длину самой длинной последовательности точек, которая у них есть [15].
3. Discrete Fréchet distance (DFD) – метрика, оценивающая максимальное расстояние между выровненными точками вдоль пути [16].

При анализе пользовательских данных с течением времени можно использовать несколько подходов:

1. Применить предварительно обученную модель к новым данным. Основным недостатком этого подхода является невозможность получения новых тем из новых серий данных. Однако эта модель будет быстродействующей, так как не придется проходить процесс обучения на новых данных.
2. Переобучить модель на новых данных – обучить новую модель и получить новое распределение тем. При таком подходе можно получить новые знания из новых серий данных, но это займет некоторое время.

Принимая во внимание положительные стороны обоих подходов, можно создать итеративный алгоритм, в котором модель обучалась бы только через заданные промежутки времени с использованием новых серий данных. При таком подходе можно своевременно получать новые знания об имеющихся данных, однако за счет выбора моментов для дополнительного обучения эта модель будет работать быстрее.

Эксперименты

В качестве группы пользователей для анализа были взяты подписчики одной известной группы финансового банка в социальной сети ВК. Собрана информация о профилях пользователей, а также их постах, репостах и группах, на которые они подписаны. Всего было собрано и проанализировано около 12 000 пользователей.

Исходные текстовые данные постов, репостов, а также названия групп и их описания были предварительно обработаны для дальнейшего использования в тематической модели. Обработка данных включала в себя стандартные механики, такие как удаление знаков препинания, цифр и других символов, удаление ссылок, удаление стоп-слов, приведение слов к 1 форме для глаголов и единственному числу для

существительных, выделение словесной леммы, удаление нерусских слов. Кроме того, после проведения нескольких тестовых экспериментов по обработке данных было принято решение строить модели на данных, содержащих только существительные, остальные части речи после обработки данных были удалены.

Поскольку в данных постов есть дата поста, можно разбить эти данные на временные интервалы, тем самым воссоздавая изменения данных с течением времени. Далее данные разделяем по временным интервалам (6 месяецв) и обучаем тематическую модель LDA для каждого раздела, имитируя итеративный процесс. На каждом шаге мы получаем оптимальное количество тем, оптимизируя метрики Coherence и Perplexity. Визуализация этих зависимостей представлена на рис. 1.

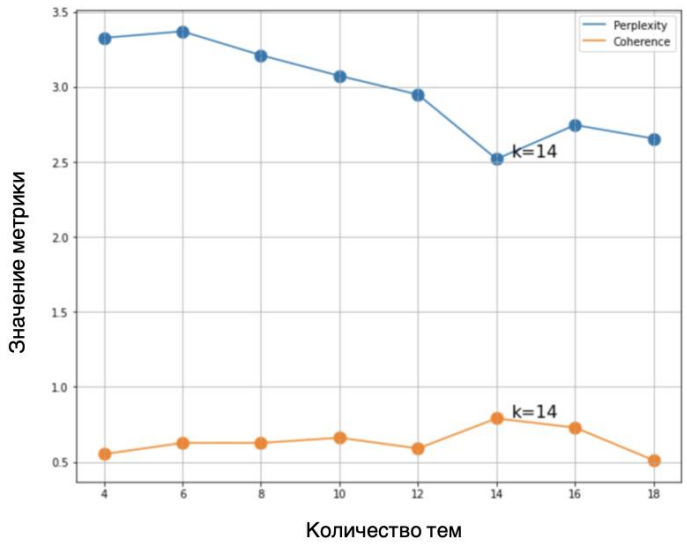


Рис. 1. Зависимость показателей качества модели от количества топиков на примере метки времени

Также анализировалось изменение количества постов и авторов с течением времени. Было установлено, что на более ранние даты искомая выборка данных содержала мало постов, поэтому было принято решение брать для дальнейшей работы только данные начиная с 2018 года. Эта зависимость представлена на рис. 2.

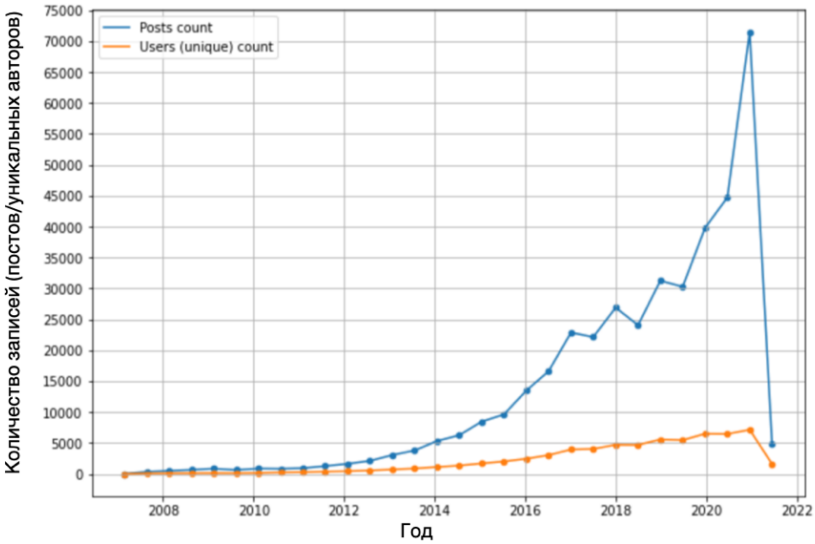


Рис. 2. Зависимость количества постов и уникальных пользователей для каждого периода времени

Результирующее количество тем для последних временных интервалов получилось равным 18.

После обучения тематических моделей для каждого пользователя был определен вектор, характеризующий его интересы и построены графики в соответствии с формулой (1). Два графика для двух различных временных меток представлены на рис. 3.

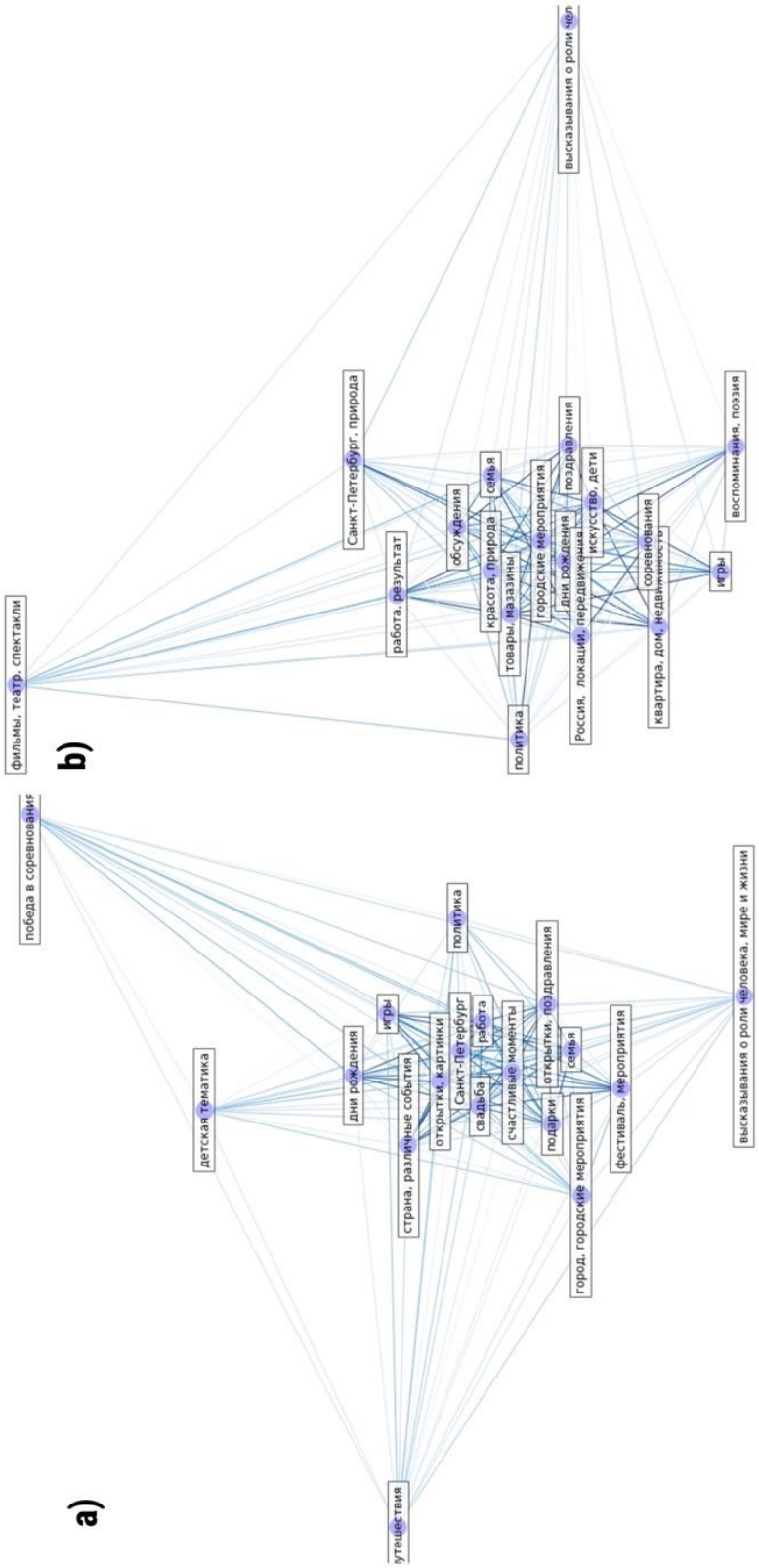


Рис. 3. Графы временных меток: а) первого полугодия 2018 г.; б) второго полугодия 2020 года

Анализируя полученные графы, можно заметить, что, несмотря на равное количество тем, их взаимосвязь между собой оказалось разной. Например, некоторые темы (например, Санкт-Петербург) стали отдаляться от центра графа. Кроме того, мы взяли в анализ двух пользователей и сравнили их траектории по некоторым интересам. Для этих траекторий можно вычислить меру их подобия. Визуализация таких траекторий и значения метрики DFD показаны на рис. 4.

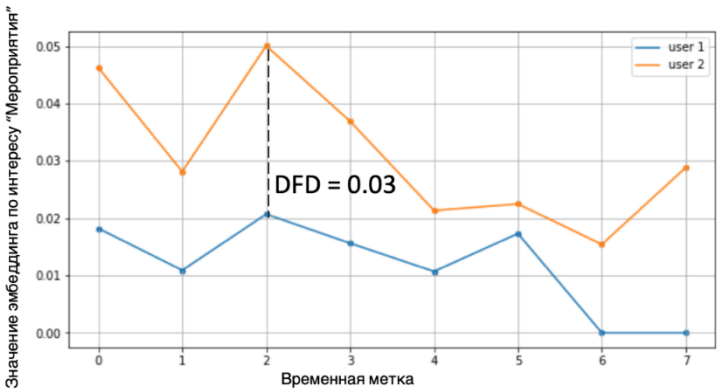


Рис. 4. Визуализация траектории двух пользователей по интересу «Мероприятия»

Были проанализированы траектории пользователей в трехмерном пространстве трех его интересов. Такая визуализация представлена на рис. 5.

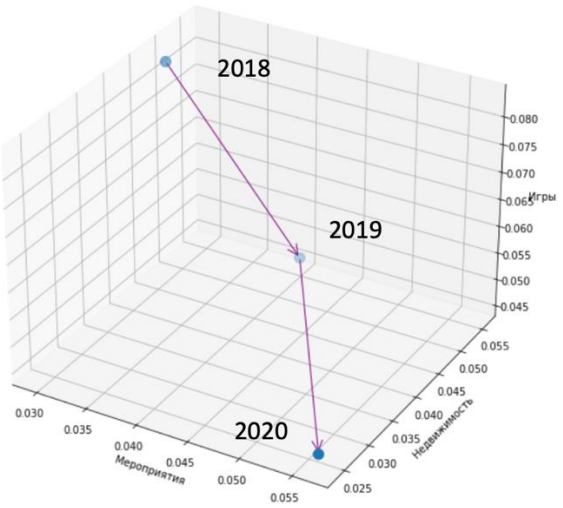


Рис. 5. Визуализация траектории пользователя в пространстве трех его интересов – события, недвижимость, игры

Заключение

В данной работе был разработан алгоритм анализа траекторий интересов пользователей. Были собраны реальные данные из открытых источников, затем обработаны в соответствии с ранее описанными пайплайнами. На этих реальных данных были проведены эксперименты: получившиеся темы интересов хорошо интерпретируются, а с помощью предложенной модели траекторий можно как анализировать сообщества пользователей, так и сравнивать отдельных пользователей друг с другом.

В дальнейших работах планируется взять во внимание также данные других модальностей, например, изображения и аудио информацию, а также провести

качественное и количественное сравнение предложенной модели с подобными решениями.

Литература

1. Zarrinkalam F., Piao G., Faralli S., and Bagheri E. «Mining User Interests from Social Media» // International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings. 2020. pp. 3519–3520. doi: 10.1145/3340531.3412167.
2. Koggalahewa D., Xu Y. and Foo E.«An unsupervised method for social network spammer detection based on user information interests» // J. Big Data – 2022. vol. 9. no. 1. doi: 10.1186/s40537-021-00552-5.
3. Himelboim I., Smith M.A., Rainie L., Shneiderman B. and Espina C. «Classifying Twitter Topic-Networks Using Social Network Analysis» // Soc. Media Soc. 2017. vol. 3. no. 1, doi: 10.1177/2056305117691545.
4. Arrigo E., Liberati C., and Mariani P. «Social Media Data and Users' Preferences: A Statistical Analysis to Support Marketing Communication» // Big Data Res. 2021. vol. 24. doi: 10.1016/j.bdr.2021.100189.
5. Blei DM, Ng AY and Jordan MI «Latent Dirichlet allocation» // Journal of Machine Learning Research – 2003. vol. 3(4–5). pp. 993–1022, doi: 10.5555/944919.944937.
6. Uys J.W., N.D. du Preez and Uys E.W. «Leveraging unstructured information using topic modelling» // PICMET '08 - 2008 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology. 2008. pp. 955-961 doi: 10.1109/PICMET.2008.4599703.
7. Jacobi Carina & Atteveldt Wouter & Welbers Kasper «Quantitative analysis of large amounts of journalistic texts using topic modelling» // Digital Journalism – 2015. vol. 4 pp. 1-18. doi: 10.1080/21670811.2015.1093271.
8. Newman D., Jey Han Lau, Grieser K., and Baldwin T. «Automatic evaluation of topic coherence» // NAACL HLT 2010 - Hum. Lang. Technol. 2010 Annu. Conf. North Am. Chapter Assoc. Comput. Linguist. Proc. Main Conf. 2010. pp. 100–108.
9. Martin Fiona and Mark Johnson «More Efficient Topic Modelling Through a Noun Only Approach» // Australas. Lang. Technol. Assoc. Work. 2015 – 2015. pp. 111–115.
10. Shafik M., Elgohary R., Moawad I., and Roushdy M. «Hybrid Method for Modeling User Interests based on Social Network» // 2019 IEEE 9th International Conference on Intelligent Computing and Information Systems, ICICIS 2019 – 2019. pp. 68–73. doi: 10.1109/ICICIS46948.2019.9014724.
11. Xu C. et al. «Recommendation by Users' Multimodal Preferences for Smart City Applications» // IEEE Trans. Ind. Informatics. 2021. vol. 17. no. 6. pp. 4197–4205, doi: 10.1109/TII.2020.3008923.
12. Sarkar P. and Moore A.W. «Dynamic social network analysis using latent space models» // Adv. Neural Inf. Process. Syst. 2005. vol. 7. no. 2 pp. 1145–1152. doi: 10.1145/1117454.1117459.
13. Sharma S. and Jain A. «Dynamic social network analysis and performance evaluation» // Int. J. Intell. Eng. Informatics. 2019. vol. 7. no. 2/3. p. 180. doi: 10.1504/ijiei.2019.10020442.
14. Vehlow C., Beck F., Auwärter P., and Weiskopf D. «Visualizing the evolution of communities in dynamic graphs» // Comput. Graph. Forum. 2015. vol. 34. no. 1. pp. 277–288, doi: 10.1111/cgf.12512.
15. Vlachos M., Gunopulos D., and Kollios G. «Discovering similar multidimensional trajectories» // Agrawal and Dittrich.2002. pp. 673–684. doi: 10.1007/978-3-319-23519-6_1401-2.
16. Eiter T. and Mannila H. «Computing discrete fr´echet distance» // Tech. rep., Technische Universit¨at Wien, Notes. 1994. vol. 94, p. 64, doi: 10.1.1.90.937.

УДК 004.6

АНАЛИЗ ЦИФРОВОГО СЛЕДА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Е.С. Антипова
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.Г. Волчек
Университет ИТМО
e-mail: ekaantitmo@gmail.com

Аннотация
В данном исследовании проводится анализ цифрового следа (поведения) пользователей на основе файлов журнала активности онлайн-курса и происходит прогнозирование итоговых баллов за курс. Для этого используются два алгоритма машинного обучения – случайный лес и градиентный бустинг. Также в работе поднимается проблема списывания при отсутствии личного контроля преподавателем и происходит поиск потенциально списывающих студентов с помощью алгоритма кластеризации и сравнения итоговых баллов за курс и экзамен.

Ключевые слова
Онлайн-курс, машинное обучение, прогнозирование, списывание, кластеризация, анализ поведения.

На сегодняшний день особое развитие получают массовые открытые онлайн-курсы (МООК), которые внедряют многие университеты в учебную программу по ряду некоторых причин, например, для повышения престижа учебного заведения или из-за перехода на дистанционное обучение по случаю пандемии. И такие курсы являются удобным инструментом в процессе обучения, однако преподаватели при таком подходе не могут лично отслеживать самостоятельность сдачи контрольных мероприятий.

Предполагается, что при исследовании действий студентов во время прохождения курса можно выявить группу лиц, прибегших к нечестной сдаче работ. Такие случаи необходимо выявлять, поскольку списывание приводит к снижению уровня компетентности будущих выпускников [1]. Также, исходя из активности обучающихся, можно строить прогноз итоговых баллов за курс, что может позволить на более ранних сроках повысить успеваемость [2].

Проведя анализ существующих решений, оказалось, что большинство работ западных исследователей посвящено теме прогнозирования результатов, а не проблеме списывания, поскольку там такое не принято. В русскоязычных же источниках эта тема недостаточно раскрыта, поскольку только недавно стали внедрять в учебную программу онлайн-курсы. Однако, из статей [3, 4] следует, что для упрощения анализа можно разделять студентов на группы по успеваемости и что для группировки студентов в кластеры хорошо себя показывает метод k-средних.

В исследовании используются данные с курса «Продвинутое машинное обучение» весеннего семестра 2020 года обучения университета ИТМО, расположенного на бесплатной интернет-платформе «Open edX». Эта платформа производит аудит и создает log-файлы, в которых в хронологическом порядке записаны все действия обучающихся.

На рисунке приведен пример одной тривиальной записи из файла. Так как данные конфиденциальные, ip-адрес и имя были закрыты. Дополнительно были изменены все имена пользователей на фальшивые.

Рисунок. Пример записи log-файла

Для возможности проведения анализа и решения задач прогнозирования и кластеризации необходимо было выделить признаки, которые характеризуют действия обучающихся по всем элементам курса. Каждый элемент курса принадлежит к одному из следующих блоков: видео лекции, текстовые материалы, упражнения и опросы.

Было принято решение для каждого студента выделить следующие характеристики:

1. Время просмотра видео лекции.
2. Факт просмотра видео лекции (просмотрено или не просмотрено).
3. Время изучения текстового материала.
4. Факт изучения текстового материала (изучен или нет).
5. Итоговый балл за упражнение.
6. Количество использованных попыток прохождения упражнения.
7. Время прохождения упражнения с учетом всех попыток.
8. Итоговый балл за опрос.
9. Количество использованных попыток прохождения опроса.
10. Время прохождения опроса с учетом всех попыток.

У каждого элемента курса есть свой уникальный идентификатор, состоящий из 32 символов шестнадцатеричной системы счисления. Также записи log-файла содержат поле «event_type», которое позволяет определить конкретное действие пользователя [5]. В табл. 1 приведены типы событий, использующиеся для выделения характеристик.

Таблица 1

Типы событий

События взаимодействия с видео	
pause_video	пользователь ставит видео на паузу
play_video	пользователь запускает просмотр видео
seek_video	пользователь проматывает видео
stop_video	автоматическая остановка видео
События взаимодействия с PDF-документами	
book	пользователь перемещается в PDF Viewer
События проверки правильности ответа	
problem_check	задание успешно проверено

Таким образом, для каждого пользователя можно получить характеристики по каждому видео, текстовому материалу, упражнению и опросу. В итоге, получившаяся таблица по всем студентам состоит из 173 признаков.

Дополнительно, для каждого пользователя были сопоставлены балл за прохождение курса и балл за выполнение финального экзамена.

Предполагается, что значительная разница в баллах за курс и финальный экзамен является индикатором того, что студент мог прибегнуть к списыванию во время выполнения упражнений курса. Так, интерес представляют те студенты, которые получили за курс от 90 баллов, а экзамен прошли меньше, чем на 50 баллов. Таких оказалось 25 и их можно отнести к группе потенциально списывающих.

Также была проведена кластеризация студентов в зависимости от прохождения упражнений. Часть заданий была на выбор – с программированием или без. В качестве предикторов выступали признаки, показывающие факт прохождения всех таких упражнений на выбор.

Для кластеризации использовался иерархический кластерный анализ (в силу своей простоты и удобного визуального представления в виде дендрограммы) и в результате оказалась группа студентов, представляющая интерес. 63 студента выполняли все упражнения без программирования, кроме финального, которые выполнили с программированием. Возможно, студенты, относящиеся к этой группе, получили готовый код, который можно было использовать для сдачи финального упражнения. Вероятно, они прибегали к списыванию.

Для решения задачи предсказания итоговых баллов использовались 2 алгоритма: градиентный бустинг и случайный лес.

Градиентный бустинг – это техника машинного обучения для задач классификации и регрессии, которая строит модель предсказания в форме ансамбля слабых предсказывающих моделей. Алгоритмы применяются последовательно и последующие модели учатся на ошибках предыдущих.

Алгоритм случайного леса – это универсальный алгоритм машинного обучения, суть которого также состоит в использовании ансамбля решающих деревьев. Отличие в том, что эти деревья независимы друг от друга и последовательного обучения не происходит. Суть в том, что само по себе решающее дерево показывает низкое качество классификации, но из-за большого их количества результат повышается. Каждое дерево решений выдает результат прогнозирования, т.е. относит классифицируемый объект к одному из классов, затем проводится голосование. И выбирается результат прогноза с наибольшим количеством голосов. Это и есть итоговый результат предсказания.

В качестве предикторов использовались все 173 выделенных признака. В качестве отклика – итоговый балл за курс, переведенный в пятибалльную шкалу по табл. 2.

Таблица 2

Шкала перевода баллов

Балл	Оценка
< 60	«2»
[60, 74]	«3»
(74, 90]	«4»
(90, 100]	«5»

Результаты работы алгоритмов приведены в табл. 3. Лучшим себя показал алгоритм градиентного бустинга.

Таблица 3

Результаты алгоритмов

Алгоритм	**Accuracy**
Gradient Boosting	91,827
Random Forest	91,346

В дополнении, была посчитана важность каждого предиктора. В итоге, самыми информативными оказались переменные, относящиеся к оцениваемым упражнениям. Наименее информативные – относящиеся к опросам и текстовым файлам.

Таким образом, были выделены некоторые пользователи, которых можно отнести к группе потенциально списывающих студентов. Следовательно, исключать предположение о возможном списывании во время изучения онлайн-курсов нельзя и необходимо провести более глубокое исследование. А результат классификации показал, что, действительно, по поведению студентов можно предсказать итоговый балл и значит, можно на более ранних этапах скорректировать процесс обучения.

Литература

1. Рощина А.Я. Борьба со списыванием в студенческой среде: важно ли следить за студентами во время письменных работ? // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2017. № 2. С. 107–127.
2. O'Farrell L. Using Learning Analytics to Support the Enhancement of Teaching and Learning in Higher Education [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.teachingandlearning.ie/wp-content/uploads/2018/01/Final_LA-BriefingPaper_Web-with-doi.pdf (дата обращения 03.12.2021).
3. Быстрова Т.Ю., Ларионова В.А., Синицын Е.В., Толмачев А.В. Учебная аналитика МООК как инструмент прогнозирования успешности обучающихся // Вопросы образования. 2018. №4. С. 139-166.
4. Ratnapala I., Ragel R., Deegalla S. Students behavioural analysis in an online learning environment using data mining // 7th International Conference on Information and Automation for Sustainability. 2014. С. 1–7.
5. EdX Research Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:http:// docs.lms.tpu.ru/projects/devdata/ru/latest/index.html (дата обращения: 17.09.2021).

ФИЗИКА

УДК 535.015

ПРОЦЕСС МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ ВИХРЕВОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Ю.А. Адам, Д.А. Каргина, Д.А. Яшин
Научный руководитель – научный сотрудник Б.А. Наседкин
Университет ИТМО
iuriiadam@yandex.ru

Исследование выполнено в рамках проекта НИРМА №621317 Университета ИТМО.

Аннотация
В современных системах атмосферной оптической линии связи применяются классические Гауссовы пучки, которые испытывают сильное влияние атмосферных турбулентностей. В свою очередь, вихревое оптическое излучение менее подвержено данному процессу. В данной работе исследуется возможность сохранения фазовой модуляции Гауссова пучка света при его дополнительной модуляции и демодуляции в вихревое излучение. Полученные результаты могут быть использованы в оптических системах передачи информации с атмосферным каналом связи.
Ключевые слова
Вихревое оптическое излучение, орбитальный угловой момент, вилкообразная дифракционная решетка, фазовая модуляция, атмосферные оптические линии связи.

За последние годы атмосферные оптические линии связи (АОЛС) все больше применяются в существующих информационных сетях вследствие своей экономичности и гибкости использования. Как правило, такие системы основаны на использовании классического Гауссова пучка, который модулируется по амплитуде, фазе или другому типу модуляции. Однако, данный подход имеет свои недостатки, в частности Гауссов пучок подвержен влиянию атмосферой турбулентности, что накладывает ограничения на максимальную длину канала передачи данных. В свою очередь, ряд исследований [1] показали, что оптические вихревые пучки, обладающие орбитальным угловым моментом, менее подвержены турбулентности по сравнению с гауссовыми пучками. Вихревой пучок имеет закрученный спиральный фазовый фронт и представляет собой в сечении темное пятно в середине с кольцевым распределением интенсивности. Пучки с орбитальным угловым моментом в силу своей спиральной структуры могут обладать бесконечным набором ортогональных собственных состояний, что значительно увеличивает пропускную способность канала [2] и повышает потенциал его использования в современных информационных системах. Оптический вихрь с угловым орбитальным моментом получают посредством модуляции излучения Гаусса, однако ранее не демонстрировалось возможность сохранения фазовой модуляции Гауссова пучка при его модуляции и демодуляции в вихревой пучок. Выполнение условия сохранения фазового кодирования обеспечит успешную интеграцию атмосферного канала и волоконно-оптической линии связи, что необходимо в современных системах передачи информации. Таким образом, данная работа посвящена исследованию сохранения фазовой модуляции Гауссова пучка при его дополнительной модуляции и демодуляции в вихревое излучение.

Как уже было сказано ранее, вихревое оптическое излучение получают с помощью классического Гауссова пучка. В настоящее время используют следующие методы генерации оптического вихря: спиральную фазовую пластину [3], пространственный

модулятор света [4] и вилкообразную дифракционную решетку [5]. Спиральная фазовая пластина представляет собой готовый оптический элемент, который вносит в падающий Гауссов пучок фазовую задержку от 0π до 2π вдоль профиля пучка. Такой способ относительно прост в использовании, однако обладает высокой стоимостью и невозможностью контроля топологического заряда вихря, что ограничивает его практическое использование. Пространственный модулятор света использует те же спиральные пластины, однако уже в фазовой области. Такой метод имеет возможность генерировать вихревое поле с заданным топологическим зарядом, однако обладает еще большей стоимостью. В свою очередь, дифракционная вилкообразная решетка создает оптические вихри в ненулевом порядке дифракции из падающего на нее Гауссова пучка. При этом топологический заряд вихря совпадает с порядком дифракции. В данной работе был использован именно этот метод генерации вихревого пучка вследствие своей гибкости и экономичности. Вилкообразные дифракционные решетки получаются с помощью математического моделирования путем интерференции вихревого фронта с наклонным плоским волновым фронтом. Физически данные решетки были получены с помощью метода репрографии путем переноса распечатанных на бумаге моделей на 35-мм пленку. Демодуляции вихревого пучка в Гауссово в данном случае производилась путем использования второй идентичной решетки, повернутой на 180 градусов, в результате чего при падении на нее вихревого поля с положительным единичным топологическим зарядом в первом порядке дифракции образовывалось Гауссово поле. Профили полученных данным методом оптических пучков приведены на рис. 1. Стоит уточнить, что демодуляция вихревого пучка в Гауссов была произведена не полностью вследствие не совершенности юстировки и уширении оптического вихря.

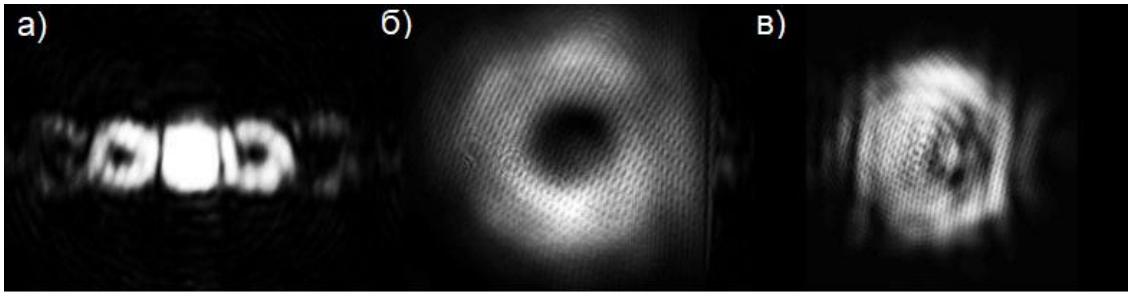


Рис. 1. Дифракционные порядки вилкообразной дифракционной решетки (а), вихревой пучок с +1 топологическим зарядом (б), демодулированный вихревой пучок в Гауссов с помощью второй вилкообразной решетки (в)

Для исследования сохранения фазовой модуляции Гауссова пучка при его дополнительной модуляции и демодуляции в вихревое излучение был использован интерферометр Маха-Цендера, оптическая схема которого представлена на рис. 2. Непрерывное лазерное излучение с длинной волны 633 нм из лазерного блока Л, проходя диафрагму Д, попадает на светоделитель СД1, где разделяется на две части. Излучение в первом плече проходит сквозь фазовый модулятор ФМ, где приобретает дополнительную фазовую задержку в 0π или π. Далее происходит модуляция вихревого пучка на вилочной решетке ВДР1. Дополнительным шагом диафрагмой Д отсекается +1 порядок дифракции, что соответствует вихревому пучку с +1 топологическим зарядом (данный шаг на основной схеме не показан, а вынесен в пунктирную рамку в правом верхнем углу). Затем через 40 см данный вихревой пучок демодулируется на второй вилочной решетке ВДР2, повернутой на 180 градусов. Здесь также выделяется первый положительный порядок дифракции, являющийся демодулированным лучом Гаусса, который далее с помощью зеркала З2 направляется на светоделитель СД2. Во втором плече интерферометра излучение направляется на зеркало З1 и потом интерферирует с демодулированным лучом на светоделителе СД2. После сведения плеч на светоделителе

СД2, интерференционная картина фиксируется на камере К. В зависимости от внесенного значения фазовой задержки на ФМ полосы интерференционной картины сдвигаются на эквивалентное значение, что продемонстрировано на рис. 3. Для компенсации случайных фазовых флуктуаций полученные сечения интерференционной картины были усреднены по 30 измерениям. Полученные данные подтверждают сохранение фазовой модуляции Гауссова пучка при его дополнительной модуляции и демодуляции в вихревое излучение.

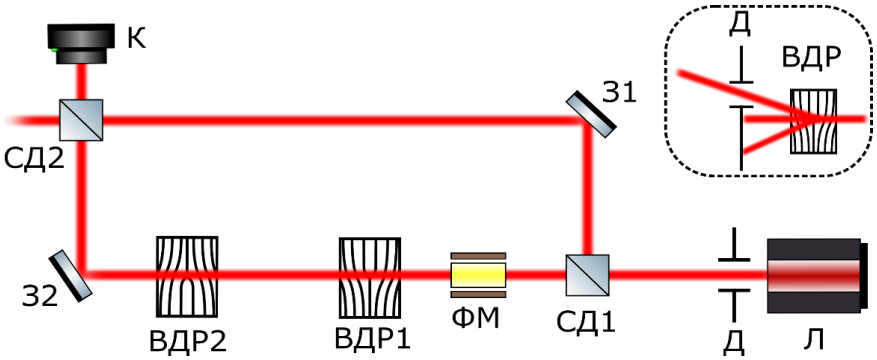


Рис. 2. Оптическая схема интерферометра Маха-Цендера с использованием модулированного и демодулированного вихревого пучка

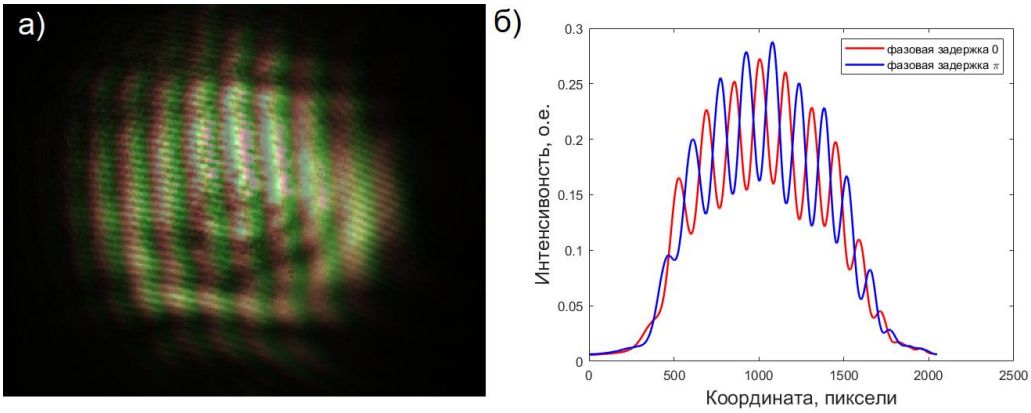


Рис. 3. Совмещенные интерференционные картины, где красные линии соответствуют задержке в 0π, а зеленые в π (а), сечение совмещенных интерференционных картин усредненное по 30 кадрам (б)

В заключение, в данной работе продемонстрирована возможность сохранения фазовой модуляции Гауссова пучка при его дополнительной модуляции и демодуляции в вихревое излучение с помощью вилкообразной дифракционной решетки. Полученные результаты могут быть использованы в информационных системах при интеграции атмосферного канала с оптоволоконной линией связи.

Авторы доклада выражают благодарность за помощь в проведении исследований младшему научному сотруднику Лаборатории квантовых процессов и измерений Университета ИТМО Черных А.В. и Центру репрографии при Российской Национальной Библиотеке.

Литература

1. Zhou Y. et al. Multiprobe time reversal for high-fidelity vortex-mode-division multiplexing over a turbulent free-space link //Physical Review Applied. 2021. Т. 15. №. 3. С. 034011.

2. Akram Z. et al. Wideband vortex beam reflectarray design using quarter-wavelength element //IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2019. Т. 18. №. 7. С. 1458-1462.
3. Hui X. et al. Ultralow reflectivity spiral phase plate for generation of millimeter-wave OAM beam //IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2015. Т. 14. С. 966-969.
4. Pradhan P., Sharma M., Ung B. Generation of perfect cylindrical vector beams with complete control over the ring width and ring diameter //IEEE Photonics Journal. 2018. Т. 10. №. 1. С. 1-10.
5. Topuzoski S. Generation of optical vortices with curved fork-shaped holograms //Optical and Quantum Electronics. 2016. Т. 48. №. 2. С. 1-6.

УДК 616-07

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ПРИМЕРЕ ТУБЕРКУЛЕЗА ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ У ДЕТЕЙ. БУДУЩЕЕ ГЛАЗАМИ ВРАЧА

Н. Андреичева[1], М.П. Подгорный[2], М.А. Синицын[2]
Научный руководитель – к.м.н., доцент А.В. Синицына[1]
1 – Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет
2 – Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
e-mail: asicyn@yandex.ru

Аннотация
Диагностические ошибки часто возникают вследствие недостаточной, или противоречивой информации, полученной от обследования пациента. В настоящей статье описывается проблема визуализирующих методов на примере определения признаков туберкулеза лимфатических узлов. Выявленные данные требуют модернизации новых технологий для получения более качественной и несомненной для врача информации.

Ключевые слова
Рентгенография, компьютерная томография, ультразвуковая диагностика, туберкулез, кальцинат, лимфатический узел.

Введение

Противоречивая информация от различных визуализирующих методов диагностики может вводить в заблуждение врача, поэтому развитие медицинской науки необходимо и возможно только в совокупности с техническими научными отраслями [1, 2].

Основная часть

Диагностикой и лечением туберкулеза занимаются во всем мире, так как это заболевание является серьезной угрозой для жизни и здоровья людей.

Во фтизиатрии туберкулезная инфекция у детей остается приоритетной проблемой [3]. Сущетсвует множество клинических форм туберкулеза, но в детском возрасте преобладает поражение внутригрудных лимфатических узлов [4, 5, 6].

Классификация [7, 8, 9] предполагает четыре стадии туберкулезного воспаления, которые, при положительном исходе туберкулеза, могут замещаться кальцинозом. Для решения вопроса о тактике ведения пациента врачу необходимо своевременно сориентироваться в стадии развития туберкулезной воспалительной реакции.

При диагностике туберкулеза парааортальной области на рентгенограмме визуализировался одиночный кальцинат. Ранее считалось, что это туберкулез парааортального лимфатического узла, который определялся в 68,1% случаев. Соответственно все эти дети лечились от туберкулеза [6].

В этой же локализации в норме располагается артериальная связка, представляющая бывший Боталлов проток. После рождения ребенка Боталлов проток перестает функционировать, облитерируется, перестраивается в связку или рубец. По данным классической рентгенологии отличить кальцинат в лимфатическом узле от кальцинированной артериальной связки невозможно (стрелка на рис. 1). При такой визуализации оптических уплотнений на рентгенологической картине врач может

неверно интерпретировать обнаруженные изменения и допустить ошибку в постановке детям диагноза.

Рис. 1. Линейная томография. Точечное уплотнение (стрелка), расположенное парааортально, интерпретированное, как кальцинат лимфоузла. туберкулезной этиологии

По публикациям, при компьютерной томографии (КТ) артериальная связка выглядит кальцинированной. Картина связки может определяться разными формами: извитой, точечной (рис. 2) или линейными фрагментами (рис. 3) [10]. При такой КТ - картине невозможно отличить обнаруженные точечные уплотнения от кальцината лимфоузла парааортальной группы или кальцинированной артериальной связки. Таким образом, применение различных методов диагностики не всегда позволяет достаточно точно оценивать качественную характеристику найденных структур. Каждый метод лучевой диагностики дополняет друг друга, поскольку обладают разными преимуществами и недостатками [11].

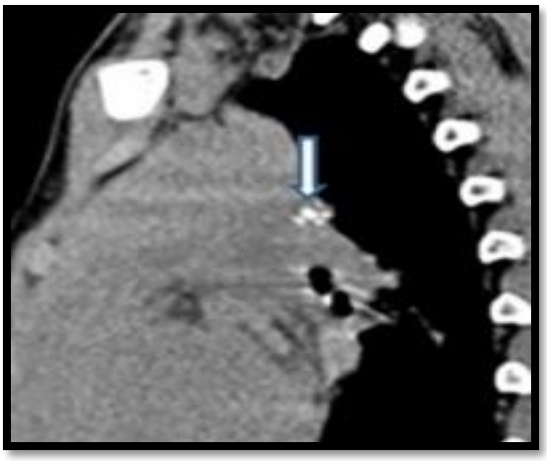


Рис. 2. КТ. Точечные фрагменты уплотнений (стрелка) в аортопульмональном окне

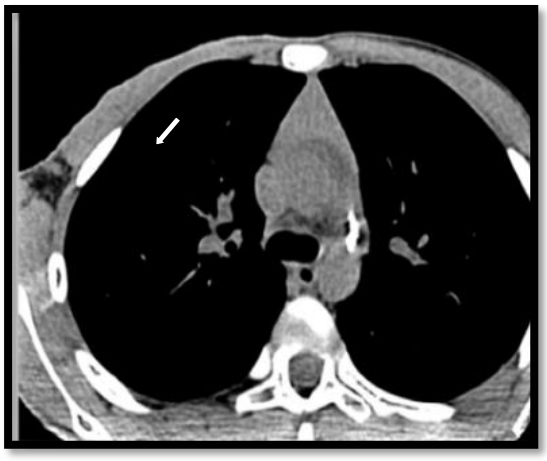


Рис. 3. КТ. Уплотненная артериальная связка (стрелка) в парааортальной области

Для сравнения информативности визуализации артериальной связки, кальцинированного лимфатического узла методами эхокардиографии, классической рентгенологии и компьютерной томографии проведено исследование, в которое вошли 128 детей. Основная группа - 75 детей с подозрением на туберкулез лимфоузлов

парааортальной группы. Контрольная группа – 53 ребенка, без туберкулезного анамнеза [2].

Первостепенное значение при диагностике туберкулеза имеет правильная оценка данных традиционной рентгенографии, в сочетании с клинико-лабораторными данными. Рентгенологический метод изучает строение и функцию органов и систем. Происходит это путем анализа пучка рентгеновского излучения после прохождения лучей через исследуемую область. Затем последующая обработка и отправка изображения на компьютер. Лимфатические узлы при классической рентгенограмме часто не видны, поскольку закрываются тенями от нормальных анатомических структур грудной клетки. Соответственно визуализируем мы их только при сильном увеличении объема или кальцинировании (рис. 4). Недостатком рентгенографии является ионизирующее действие рентгеновских лучей, что в детской практике ставит вопрос об ограничении метода.

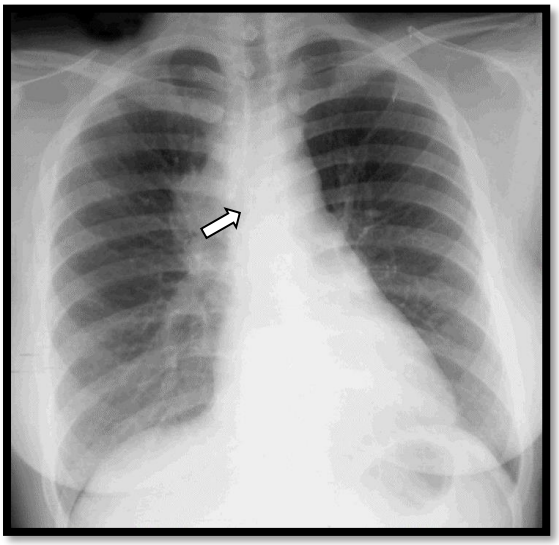


Рис. 4. Рентгенография органов грудной клетки. Расширение правого корня (стрелка), за счет увеличенных лимфатических узлов

Всем детям из основной группы было выполнено традиционное рентгенологическое исследование, в частности линейная томография. Информативность классического рентгенологического метода, выявленная при исследовании, составила: чувствительность метода – 100%, специфичность – 0%, где под чувствительностью подразумевается факт обнаружения изменений, а под специфичностью – определение их этиологии (рис. 5).

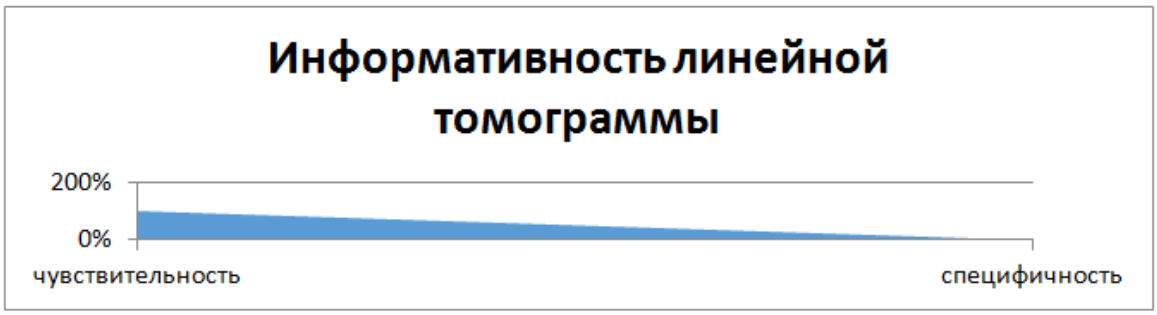


Рис. 5. Анализ статистических показателей информативности классического рентгенологического метода

Рентгеновское изображение суммарное, плоскостное и определяется в виде теней от структур изучаемых органов. Поэтому дифференцировать уплотненную артериальную связку от пораженного туберкулезом лимфатического узла невозможно.

Более информативным рентгеновским исследованием является компьютерная томография. Физические аспекты компьютерной томографии заключены в рентгеновской трубке и детекторах, располагающихся напротив друг друга и жестко спаренных, а их ротационные и синхронные движения вокруг тела человека происходят одновременно с испусканием и улавливанием рентгеновского излучения. Детекторы превращают излучение в электросигналы, затем кодируются. Детальная визуализация позволяет видеть внутригрудные лимфатические узлы, выполнить их размер, в некоторых случаях определить наличии некроза, а также хорошо визуализировать кальциноз [12].

Указанные изменения являются немногочисленными и поздними для своевременной постановки диагноза. При проведении компьютерной томографии мы вновь сталкиваемся с ионизирующим действием рентгеновских лучей, но с еще более высокой лучевой нагрузкой. Использование компьютерной томографии позволяет измерить плотность исследованной области по шкале Хаунсфилда, но зачастую они сбивают врача при оценке качественной характеристики в спорных диагностических моментах, поскольку рубцовое изменение артериальной связки по плотности может быть сопоставимо кальцинированной структуре.

КТ выполнена 84% (n=63) детей для сравнения полученных результатов. Информативность компьютерной томограммы, выявленная при исследовании, составила: чувствительность – 100%, специфичность – 94,6% (рис. 6.).

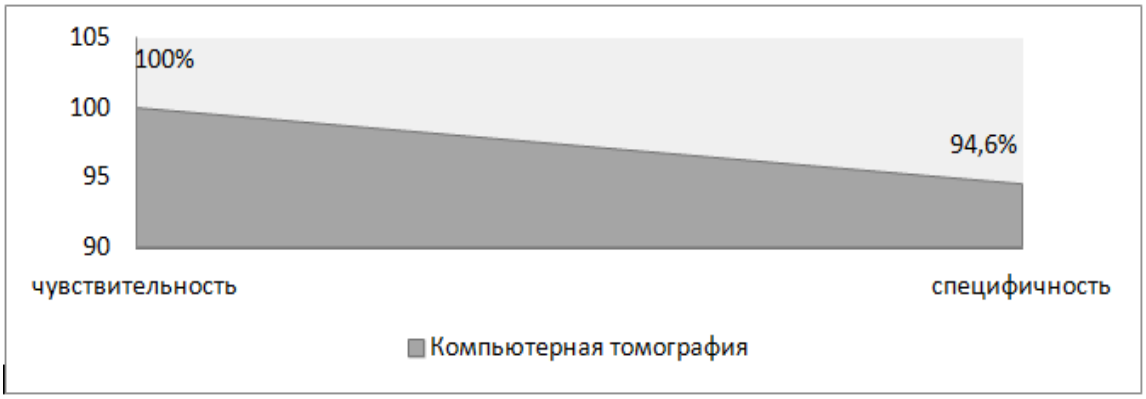


Рис. 6. Анализ статистических показателей информативности компьютерной томографии

Прогностическая ценность положительного результата при КТ кальцинированных лимфоузлов – 70%. Таким образом, при определении фрагментов уплотнений артериальной связки на КТ, не всегда возможно отличить их от кальциноза лимфоузла парааортальной группы.

Магнитно-резонансная томография для первичной диагностики вышеуказанной болезни не применяется. Дело в том, что на МРТ плохо видны кальцинаты, потому что последние не содержат атомов водорода, а значит дают выпадение МР-сигнала, которое может не визуализироваться при небольших кальцинах. В настоящее время метод магнитно-резонансной томографии не применяется в диагностике туберкулеза внутригрудных лимфатических узлов. Существенное влияние на это оказывает высокая стоимость исследования, длительность ее выполнения, необходимость специально оборудованного кабинета, что исключает возможность потокового обследования пациентов, а также длительность исследования, что необходимо учитывать в детской практике.

Таким образом, создалась ситуация поиска новых методов диагностики для определения всех признаков туберкулезного воспаления лимфатических узлов.

Ультразвуковое исследование (УЗИ) является крайне важным методом визуализации, в том числе и органов средостения [4]. Физические принципы работы УЗИ заключены в генерации и регистрации датчиком ультразвуковых волн. Отраженная звуковая волна достигает кристаллов датчика, где образуются электрические импульсы. От УЗИ - датчика сигналы передаются в основной блок УЗИ аппарата, где происходят их усиление, очищение от помех, шумов и использование программного обеспечения системы для построения изображения.

Ультразвуковая диагностика выполняется в режиме реального времени, имеет относительно низкую стоимость, не несет лучевой нагрузки детям; нет необходимости вводить контраст; исследование возможно проводить многократно в течении дня без ограничения в количестве. Для проведения ультразвуковой диагностики нет потребности в анестезии и при этом имеется возможность получить высокую достоверность результатов. Благодаря разрешающей способности ультразвуковых приборов стало возможно определение не только всех структур лимфатического узла в норме, но и визуализация всех изменений при туберкулезе согласно гистологическим стадиям туберкулезного воспаления (рис. 7).

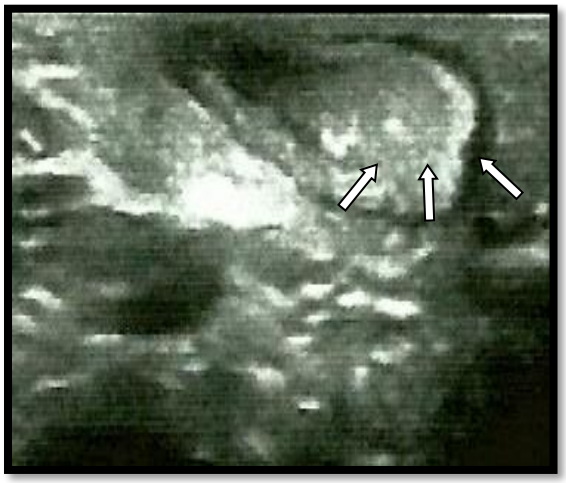


Рис. 7. Ультразвуковое исследование. Подмышечный лимфатический узел (стрелки) пораженный туберкулезом

УЗИ выполнялось всем детям из основной группы. Информативность ультразвуковой диагностики, составила: чувствительность метода – 100%, специфичность – 100% (рис. 8.)

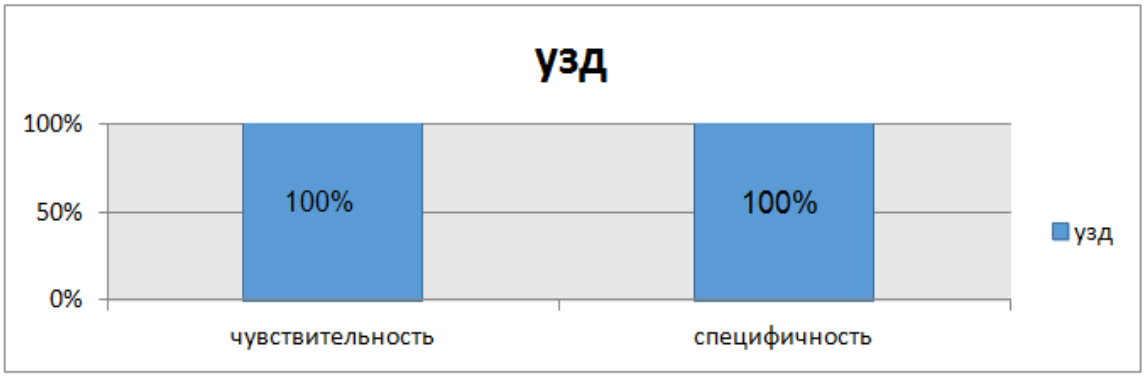


Рис. 8. Анализ статистических показателей информативности ультразвуковой диагностики

У 100% детей определялись гиперэхогенная линейная структура, двойная линейная структура или множественные линейные структуры (57,3%). Топография структуры соответствовала бывшему открытому артериальному протоку, описываемому как кальцинированная артериальная связка при КТ (стрелки на рис. 9).

Рис. 9. Эхокардиограмма. Аортопульмональная область. Артериальная связка (стрелки), представляющая бывший Боталлов проток; 1 – плечеголовной ствол, 2 – левая общая сонная артерия, 3 – левая подключичная артерия

При проведении УЗИ и визуализации кальцината лимфоузла - за гиперэхогенной структурой должна регистрироваться акустическая тень (стрелки на рис. 10). При УЗД данный признак найден не был, что определило сомнение в определение кальциноза на КТ. Кроме того, в ходе исследования, описаны ультразвуковые признаки всех стадий туберкулезного воспаления с описанием активности туберкулезной палочки [13].

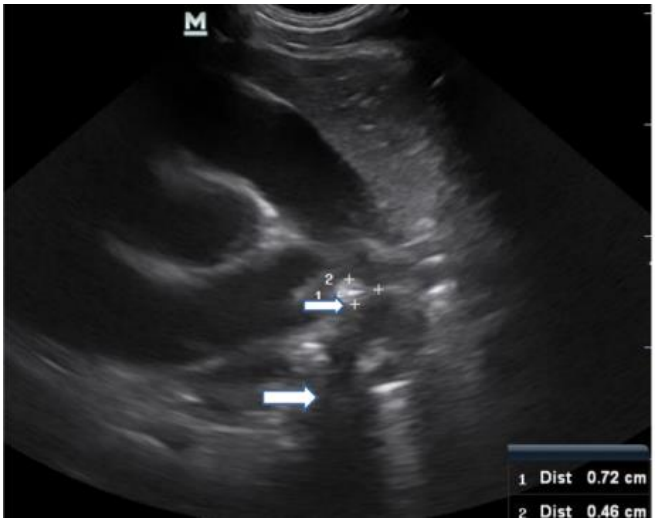


Рис. 10. Эхокардиограмма аортопульмональной области. Дистальная акустическая тень (стрелки) за кальцинатом лимфатического узла

Таким образом, ультразвуковая диагностика является достоверным методом визуализации, помогающий врачу визуально отличить артериальную связку от кальцината лимфатического узла при неоднозначных интерпретациях рентгенологической картины. УЗД сокращает сроки и повышает качество диагностики структур при туберкулезе лимфатических узлов.

К сожалению, существенным недостатком УЗД может быть плохая визуализация структур «глубоких» лимфатических узлов вследствие многих физико-технических

причин, а также ограничение распространения ультразвуковой в определённых средах, как, например, в легких (рис. 11). Поэтому определение туберкулеза всех групп внутригрудных лимфатических узлов остается недоступной для рутинной ультразвуковой практики. Кроме того, остается актуальным вопросом является коррекция и сопоставление данных всех визуализирующих методов по определению плотности различных тканей.

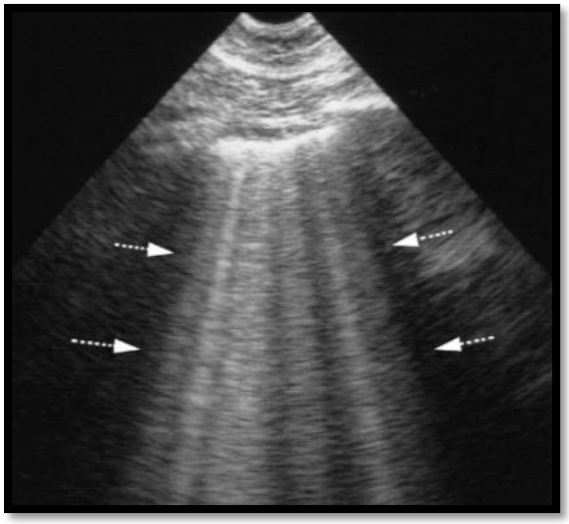


Рис. 11. Ультразвуковое исследование легких. Вертикальные В-линии (стрелки), возникающие при столкновении УЗ-волн со смесью воды и воздуха. Отсутствие визуализации органов за легкими

Учитывая найденные преимущества ультразвуковой диагностики, мы считаем актуальным направлением разработки звукового аппарата нового поколения, с использованием ультра-, инфра- или звуковых волн. Звуковые волны могут поступать от датчиков по всей поверхности межреберных промежутков с возможностью получения изображения без воздушных артефактов, т.е. разделения звуковых частот от различных структур легкого, которые передают шум с последующей их кодировкой и удалением. Соответственно от детектора сигналы передаются в основной блок аппарата, где они усиливаются, суммируются для улучшения визуализации структур средостения и используются программным обеспечением системы для построения изображения.

Выводы

Таким образом, выявленные преимущества ультразвуковых исследований могут быть использованы для улучшения методов диагностики туберкулеза внутригрудных лимфатических узлов. Кроме того, применение методов исследования без источника ионизирующего излучения позволит снизить лучевую нагрузку на пациентов, избежать ошибочной постановки диагноза. Разработка звукового аппарата нового поколения существенно повысит уровень современной диагностики в трудных случаях. Все это поднимает проблему на более высокий уровень и определяет поиск новых физико - технических возможностей.

Литература

1. Лозовская М.Э. Инновационные методы в детской фтизиатрии: методическое пособие для студентов / Лозовская М.Э., Клочкова Л.В. Спб.: СПбГПМУ. 2013. 32 с.

2. Синицына А.В. Ультразвуковая визуализация артериальной связки и парааортальных кальцинатов в диагностике малой формы туберкулеза: дис. … канд. мед. наук: 14.01.13 / Синицына А.В. Санкт-Петербург. 2019. 138 с.
3. Сборник основополагающих документов, определяющих национальную программу борьбу с туберкулезом в Российской Федерации. Часть 1. Основные руководящие материалы по организации борьбы с туберкулезом. СПб. Фарос плюс. 2004. 464 с.
4. Аббасова Е.В. Роль эхокардиографии в дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных лимфаденопатий: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.19 / Аббасова Е.В. М. 2005. 96 с.
5. Бакланова В.Ф. Рентгенодиагностика в педиатрии / Бакланова В.Ф., Филлипкина М.А. [и др.]. М. 1988. I том. 467 с.
6. Борисова Н.К. Диагностика поражений внутригрудных лимфатических узлов у детей и подростков (клинико-рентгенологическое 114 исследование): дис. … д-ра. мед. наук.: 14.00.19 / Борисова Нина Константиновна. М. 1982. 22 с.
7. Беллендир Э.Н. Туберкулезный лимфаденит как актуальная проблема фтизиатрии / Беллендир Э.Н., Савина Т.А. // Проблемы туберкулеза. 1997. № 4. С. 43-44.
8. Беллендир Э.Н. Патогенетические аспекты диагностики туберкулезного лимфаденита / Беллендир Э.Н., Шендерева Р.И. // Проблемы туберкулеза. 1989. № 4. С. 46.
9. Щерба Б.В. Патогенез, ранняя диагностика и лечение туберкулеза периферических лимфатических узлов / Щерба Б.В., Беллендир Э.Н., Надежников А.Т. // Проблемы туберкулеза. 1993. № 2. С. 39-42.
10. Wimpfheimer. Calcification of the ligamentum arteriosum in adults: CT features / Wimpfheimer, Haramati LB, Haramati N. USA: PubMed - indexed for MEDLINE. 1996. P. 34-7.
11. Васильев А.Ю. Лучевая диагностика. Учебник для студентов и медицинских вузов / Васильев А.Ю., Ольхова Е.Б. М.: ГЕОТАР-Медиа. 2008. 688 с.
12. Синицына А.В. Оценка эффективности различных методов лучевой диагностики в выявлении туберкулеза у детей // Педиатр. 2017. Т. 8. № 3. С. 94-100.
13. Патент № 2 588 308 C1 Российская Федерация. МПК A61B 8/08 (2006/01). Способ диагностики туберкулеза лимфатических узлов / Синицына А.В., Синельникова Е.В., Кривохиж В.Н.; заявитель и патентообладатель ГБОУ ВПО СПбГПМУ Минздрава России. - № 2015103566/14; заявл. 03.02.2015; опубл. 27.06.2016. Бюл. № 18. С. 1-6.

УДК 535.015

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВЕДЕННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

А.Д. Ахатова[1], к.ф.-м.н. А.С. Болдарев[2]
Научный руководитель – к.ф.-м.н. Л.М. Колдунов[1]
1 – Московский физико-технический институт
2 – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
e-mail: akhatova.ad@phystech.edu

Аннотация
В работе исследовано наведенное поглощение лазерного излучения органическими соединениями. Получено численное решение системы кинетических уравнений и уравнения распространения лазерного излучения через вещество в приближении тонкого и толстого образца.

Ключевые слова
Наведенное поглощение, пикосекундные лазерные импульсы, численное моделирование, толстый и тонкий образец.

Наведенное поглощение лазерного излучения органическими соединениями активно исследуется с конца прошлого века. Данные исследования имеют как практическое применение (например, создание ограничителя мощности лазерного излучения), так и самостоятельный фундаментальный интерес, как один из вопросов взаимодействия лазерного излучения с веществом.

На данный момент в литературе можно найти подробный теоретический анализ данного явления в стационарном приближении. При рассмотрении нестационарной модели обычно исследуются численные решения систем скоростных уравнений. Данные работы, как правило, имеют своей целью аппроксимацию экспериментальных данных и не ставят себе задачи поиска тех параметров молекулы, которые определяют эффективность наведенного поглощения в нестационарном приближении. Кроме того, большинство исследований проводится в приближении тонкого образца, что не всегда соответствует условиям эксперимента [4].

Среди основных механизмов наведенного поглощения выделяют синглет-синглетное поглощение, характерное для полиметиновых соединений, а также триплет-триплетное поглощение, которое можно наблюдать на фталоцианиновых и порфириновых соединениях.

Важно отметить, что последние два типа органических соединений проявляют как синглет-синглетное, так и триплет-триплетное поглощение. То, какой механизм будет давать основной вклад определяется длительностью импульса, его интенсивностью и параметрами самой молекулы.

Целью данной работы является исследование синглет-синглетной модели наведенного поглощения лазерного излучения органическими соединениями и решение уравнения распространения.

Излучения через вещество в приближении как тонкого, так и толстого образца и выявление тех параметров молекулы, которые определяют эффективность наведенного поглощения в нестационарном приближении, а также поиск времени переключения, при котором будет доминировать тот или иной механизм наведенного поглощения.

Математическая модель

В литературе данное явление описывается многоуровневой схемой. Наиболее общая схема уровней, которая исследуется в литературе представлена на рис. 1.

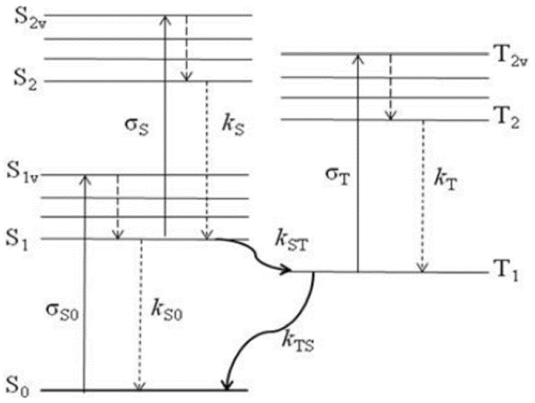


Рис. 1. Схема уровней триплет-триплетного поглощения

При действии лазерного излучения электроны начинают перераспределяться по различным уровням энергии и в том случае, если сечения поглощения излучения из возбужденных уровней больше, чем сечение поглощения из основного состояния, то коэффициент поглощения молекул увеличивается по мере роста населенностей уровней S1 и T1.

Изменение населенностей в рамках пятиуровневой системы описывается системой уравнений (1):

$$\begin{cases} \dot{n}_0 = -F\sigma_0 n_0 + n_1 k_0 + n_3 k_2 \\ \dot{n}_1 = F\sigma_0 n_0 - n_1 k_0 - F\sigma_s n_1 + n_2 k_3 - n_1 k_1 \\ \dot{n}_2 = F\sigma_s n_1 - n_2 k_3 \\ \dot{n}_3 = -F\sigma_T n_3 + n_4 k_4 - n_3 k_2 + n_1 k_1 \\ \dot{n}_4 = F\sigma_T n_3 - n_4 k_4 \\ n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = N \end{cases}. \quad (1)$$

Здесь n_i – населенности уровней, k – скорости безызлучательных переходов, σ – сечения поглощения, F – плотность потока фотонов.

До действия лазерного излучения электроны находятся в основном состоянии, т.е. начальные условия имеют вид: $n_0(0) = N, n_1(0) = n_2(0) = n_3(0) = n_4(0) = 0$.

Для того, чтобы получить зависимость интенсивности лазерного излучения на выходе из образца от интенсивности на входе в него нужно решить уравнение распространения излучения через вещество. В приближении тонкого образца оно имеет вид:

$$\frac{dI}{dz} = -\alpha I. \quad (2)$$

Когда приближение тонкого образца не работает, то уравнение необходимо модифицировать. В работах [1, 2] данное уравнение записывают в виде:

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\right) I_n(t) = -N \sum_{j>i} \sigma_{ij}(\rho_i - \rho_j) I_n(t). \quad (3)$$

Численная модель

Для моделирования наведенного поглощения используются системы, кинетических уравнений (1) и уравнение Бугера-Ламберта-Бера (2).

В нашей модели мы использовали явный и неявный метод Эйлера для численного решения этих уравнений.

$$n^{k+1} = (1 - F\tau)^{-1} n^k, \tag{4}$$

$$I_{i+1} = I_i(1 - \frac{(\alpha_i + \alpha_{i+1}) \cdot h}{2}). \tag{5}$$

В приближении толстого образца населенности в каждом слое по координате различны. Таким образом, интегрируется кинетическая система уравнений на один шаг по времени, затем интегрируется уравнение распространения по всей толщине образца в данный момент времени.

Результаты

Таблица 1

Параметры модели

σ_o, м^2	σ_s, м^2	k_o, c^{-1}	k_s, c^{-1}	$\mathcal{N}$, м$^{-3}$	$\hbar$, м
$2{,}4 \cdot 10^{-22}$	$30 \cdot 10^{-22}$	0	10^{12}	$0{,}1485 \cdot 10^{24}$	10^{-2}

Используя параметры образца и падающего излучения из статьи [3], мы промоделировали зависимость интегрального коэффициента пропускания от интенсивности падающего излучения и сравнили с кривой, данной в статье [3]. Полученный результат, указан на рис. 2, 3.

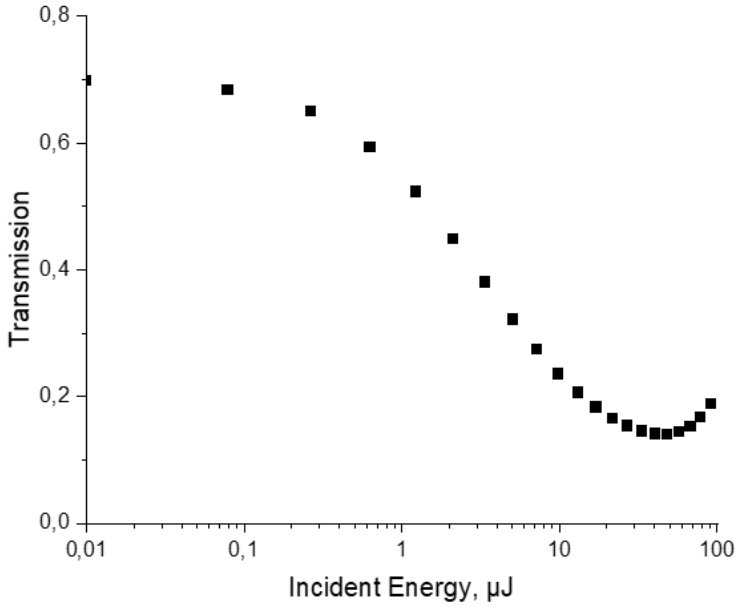


Рис. 2. Зависимость пропускания от потока падающего излучения, полученная при моделировании

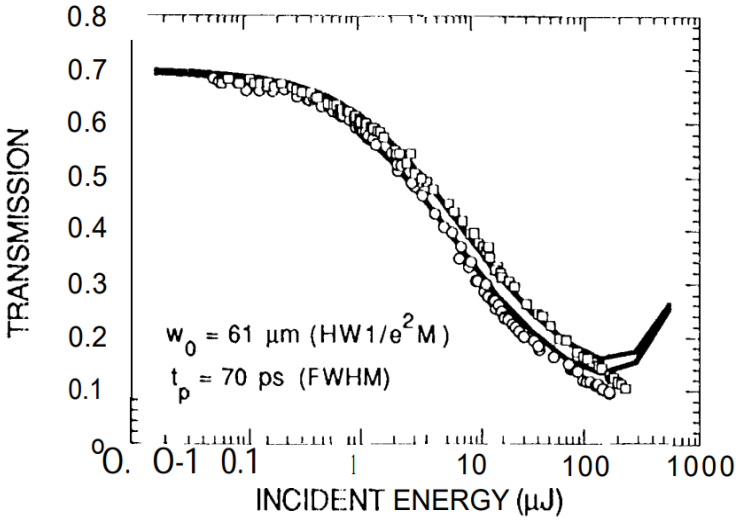


Рис. 3. Зависимость пропускания
от потока падающего излучения, представленная в статье

В полученной зависимости минимальное значение смещенно влево, в отличии от зависимости, указанной в статье. При моделировании используется импульс наносекундной длительности прямоугольной формы. В статье используется импульс гауссовой формы, что является одной из причин сдвига.

Также мы проанализировали численные моменты переключения механизма наведенного поглощения для разных значений потока падающего излучения (рис. 4, 5). Мы исследовали дифференциальное и интегральное время переключения между механизмами поглощения, которое задается следующими формулами:

$$F\sigma_s n_1 = F\sigma_0 n_0 \tag{6}$$

$$\int_0^t F\sigma_s n_1 = \int_0^t F\sigma_0 n_0 \tag{7}$$

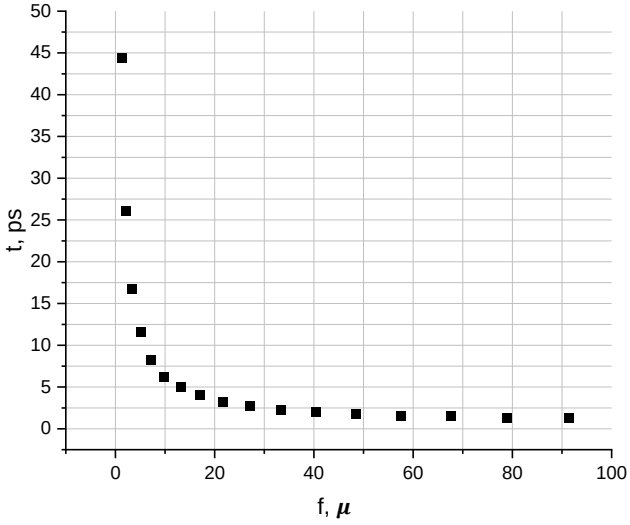


Рис. 4. Дифференциальный момент переключения

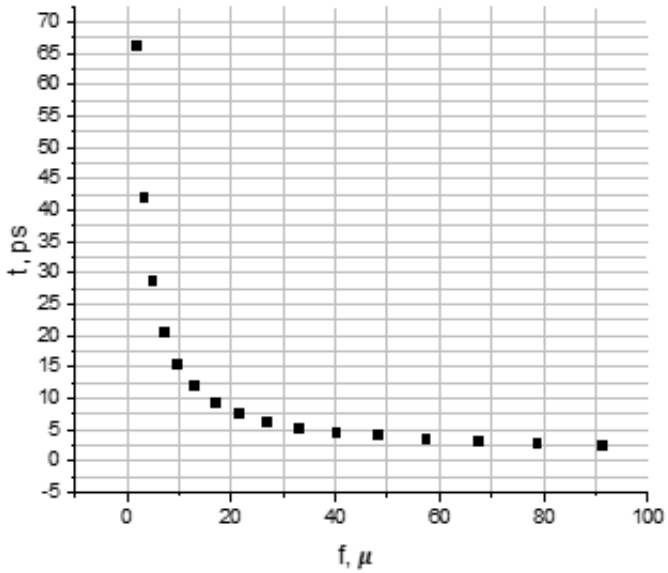


Рис. 5. Интегральный момент переключения

Наблюдается резкое уменьшение времени переключения механизма поглощения с увеличением потока падающего излучения.

Получено численное решение системы кинетических уравнений и уравнения распространения излучения через вещество для случая синглет-синглетного, которые успешно аппроксимируют экспериментальные данные. Получены численные оценки моментов переключения механизма наведенного поглощения.

Литература

1. Optical limiting and pulse reshaping of picosecond pulse trains by fullerene C60 [Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 2009].
2. Optical properties of aminophenoxy substituted phthalocyanines and covalent linkage conjugates to cadmium telluride quantum dots interacting with picosecond pulse trains [Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry, 2021].
3. Numerical analysis on optical limiting performance of a series of phthalocyanines for nanosecond pulses [ATOMIC, MOLECULAR AND OPTICAL PHYSICS, 2012].
4. Dynamics of optical limiting in heavy-atom substituted phthalocyanines [Organic and Biological Optoelectronics, 1993].

УДК 537.86

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ В МРТ НА МОДЕ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА В РЕЗОНАТОРЕ ТИПА «ПТИЧЬЯ КЛЕТКА»

О.И. Бурмистров
Научный руководитель – к.т.н. П.С. Серегин
Университет ИТМО
e-mail: oleg.burmistrov@metalab.ifmo.ru

Аннотация
В данной работе представлена концепция беспроводной передачи энергии на моде высокого порядка в резонаторе типа «птичья клетка» от клинического аппарата магнитно-резонансной томографии. Исследованы картины электрического и магнитного полей, удельного коэффициента поглощения, а также величина напряжения на приёмных петлевых антеннах на пяти модах резонатора «птичья клетка». Оптимальная мода резонатора для беспроводной передачи энергии находится на частоте 44.2 МГц. Предложены варианты применения данной системы беспроводной передачи энергии.

Ключевые слова
МРТ, магнитно-резонансная томография, беспроводная передача энергии, моды, собственные моды, сбор энергии, ближнее поле, резонаторы, «птичья клетка».

Введение

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является востребованной областью, так как позволяет диагностировать ряд заболеваний. В основе работы МРТ лежит явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Уравнение (1) для нахождения Ларморовой частоты ω включает в себя величину постоянного магнитного поля B_0 и зависящее от типа ядер гиромагнитное отношение γ.

$$\omega = \gamma * B_0. \quad (1)$$

Для величины поля 1.5 Тл Ларморова частота ядер водорода ^{1}H равна 63.6 МГц. Подробно явление ЯМР и работа аппарата МРТ описаны в [1]. На рис. 1 показана схема аппарата МРТ.

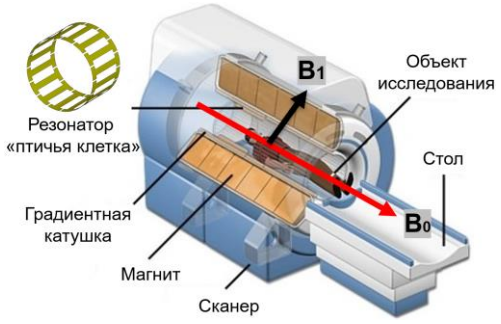


Рис. 1. Составные части МР-томографа и направление магнитных полей

С помощью магнита создаётся однородное в области исследования постоянное магнитное поле B_0, ориентирующее магнитные моменты ядер вдоль своего направления.

Во время фазы передачи создаётся мощное импульсное переменное магнитное поле B_1 на Ларморовой частоте ω, поворачивающее магнитные моменты ядер на определённый угол. Поле B_1 формируется с помощью резонатора «птичья клетка», который включён в конструкцию значительной части аппаратов МРТ. У этого резонатора создаётся однородное поле B_1 внутри его объёма (в том числе, в изоцентре) на фундаментальной (основной) моде. Если же поле B_1 будет неоднородно, то на МР-изображении будут возникать артефакты, из-за которых будет затруднительно или невозможно поставить корректно диагноз. С помощью градиентной катушки создаётся градиент магнитного поля во всех направлениях, из-за чего смещаются частоты ЯМР, так как величина магнитного поля становится разной в каждой точке объекта исследования. После снятия поля B_1 начинается фаза приёма, во время которой магнитные моменты ядер возвращаются в исходное состояние и излучают на Ларморовой частоте. Поскольку сигнал от ядер очень слабый, то для его приёма используют ближнепольные антенны, называемые в МРТ локальными катушками. Из-за того, что амплитуда и частота переменного магнитного поля в каждой точке пространства разные, с помощью алгоритмов реконструкции в блоке обработки информации формируется конечное МР-изображение. Передача информации и питание локальных катушек происходит с помощью специальных радиочастотных (РЧ) кабелей, что имеет ряд недостатков. В частности, эти кабели из-за наличия специальных фильтров, а также из-за большого числа проводников внутри, очень громоздкие. Из-за этого уменьшается комфорт пациента во время сканирования, длительность которого может превышать 1 час, и уменьшается скорость его укладки, что критично во время некоторых хирургических операций. Кроме того, РЧ кабели и разъёмы требуют периодической замены.

Решение вышеозвученных проблем представляет собой использование беспроводных локальных катушек, для которых требуется обеспечение электропитанием. Беспроводная передача энергии (БПЭ) при этом не должна ухудшать качество МР-изображения. Обеспечение электропитанием локальных катушек может осуществляться двумя способами: на частоте сканирования (на Лароморовой частоте) и на другой частоте [1]. На частоте сканирования осуществляется сбор энергии из поля B_1, при котором либо собирается мало энергии (порядка 400 мВт [2]), либо ухудшается качество МР-изображения [2, 3]. Если осуществлять БПЭ не на частоте сканирования, можно передать больше энергии, но требуется дополнительная передающая антенна [4, 5].

Научной новизной данной работы является использование для БПЭ мод высокого порядка резонатора «птичья клетка». Это позволяет использовать для БПЭ уже встроенный в томограф резонатор в качестве передающей антенны, а также передавать большую мощность, чем при сборе энергии из поля B_1.

Методы

Для исследования БПЭ проводилось численное моделирование в программном пакете CST Microwave Studio. Система приёмных антенн представляет собой две ортогонально расположенные в пространстве петлевые антенны (рис. 2а), что позволяет принимать круговую поляризацию магнитного поля. В качестве эквивалента выпрямителя и нагрузки после него выступает резистор на 2 Ома в каждой из приёмных антенн. Размеры антенн 100 мм на 50 мм и 84 мм на 50 мм соответственно.

При создании численной модели резонатора «птичья клетка» использовались размеры клинической большой приёмно-передающей объёмной катушки от аппарата МРТ Siemens Avanto 1.5 Т (рис. 2б). Полные численные модели содержат резонатор, систему сбора энергии, экран, фантом (рис. 2в) или подробную воксельную модель человека (рис. 2г). Питание резонатора осуществляется с помощью двух портов с волновым сопротивлением 50 Ом, расположенных в пространстве под углом 90 градусов относительно изоцентра резонатора (красные маркеры на рис. 2в и рис. 2г). Данные

порты подключены одним концом к элементу резонатора, а другим концом к экрану. При этом на них подаётся синусоидальный сигнал со смещением по фазе в 90 градусов. На каждый из портов резонатора подаётся мощность в 1 Вт. Система приёмных антенн расположена на расстоянии 50 мм от поверхности фантома (рис. 2в) и воксельной модели человека (рис. 2г).

Фантом (рис. 2в) имеет диаметр 300 мм, длину 500 мм, параметры жидкости эквивалентны усреднённым параметрам жидкостей внутри человека и такие же, как и у фантомов фирмы Siemens для клинических МР-томографов. Он использовался во время численного моделирования однородности электрического и магнитного полей. Подробная воксельная модель человека (рис. 2г) является встроенной в CST Microwave Studio моделью «Gustav». Она содержит все ткани и органы со всеми требуемыми для моделирования параметрами: диэлектрической и магнитной проницаемостями, проводимостью, плотностью. Она используется при моделировании удельного коэффициента поглощения (УКП) для оценки безопасности разрабатываемой системы.

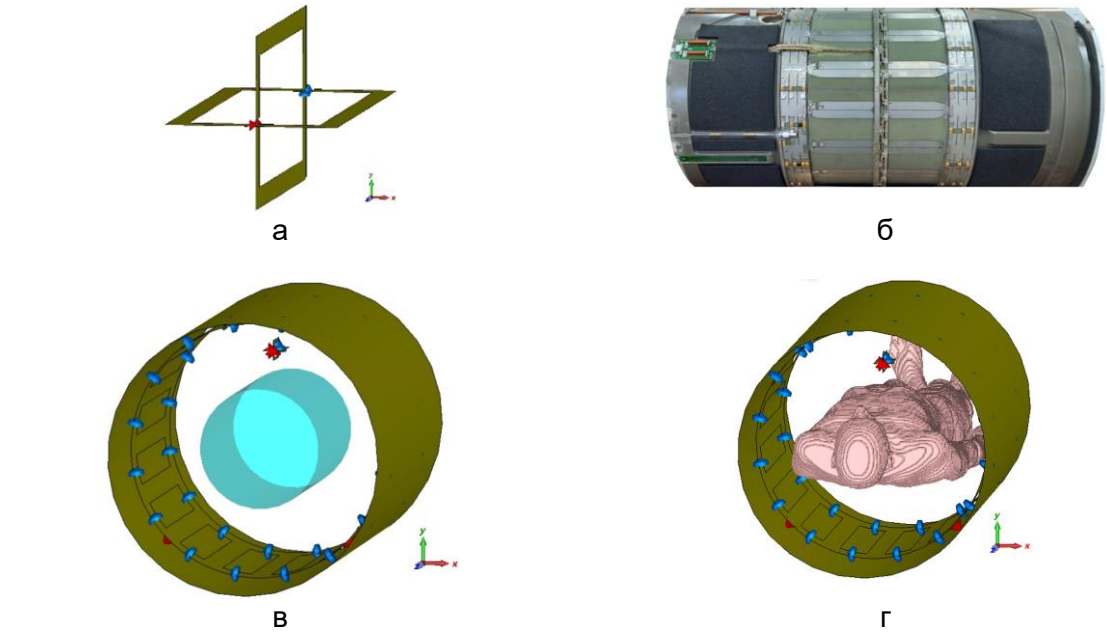


Рис. 2. Численные модели для БПЭ: а – модель системы приёмных антенн, б – резонатор «птичья клетка» от МР-томографа Siemens Avanto 1.5 Т, в – полная численная модель с фантомом, г – полная численная модель с подробной воксельной моделью человека

Результаты

В начале проводилось численное моделирование резонатора «птичья клетка» с экраном и фантомом без системы приёмных антенн. В результате была построена зависимость параметров рассеяния от частоты, на основе которых получены частоты мод для исследования (рис. 3): 68.8 МГц, 63.6 МГц (Ларморова частота, основная мода колебаний), 52.5 МГц, 44.2 МГц и 38.9 МГц.

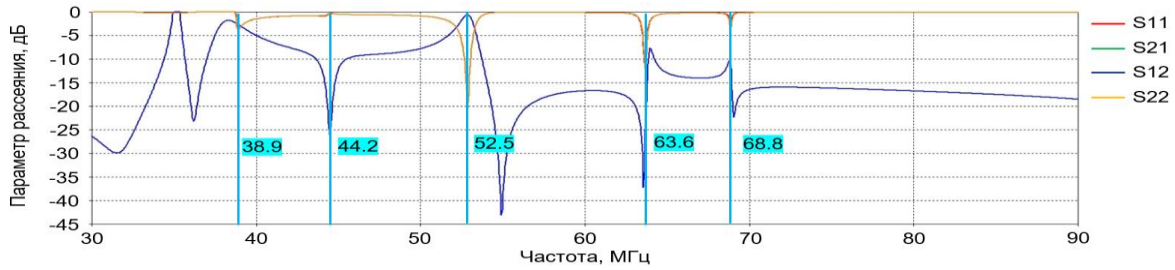


Рис. 3. Параметры рассеяния резонатора «птичья клетка»

После этого в модель включена система приёмных антенн. Для каждой моды создавалась отдельная модель, где проводилось согласование портов, подключённых к «птичьей клетке», на резонансной частоте соответствующей моды на волновое сопротивление 50 Ом. Это необходимо, чтобы не возникало потерь на согласование резонатора. Полученное напряжение на петлевых антеннах для каждой из мод колебаний представлено в таблице. Из неё видно, что наибольшее суммарное напряжение на приёмных антенных получено на моде с частотой 44.2 МГц. Данная мода имеет круговую поляризацию, как и основная мода колебаний, на которой суммарное напряжение меньше. Моды на частотах 52.5 МГц и 38.9 МГц имеют линейную поляризацию, причём ортогональную одной из петлевых антенн. Мода на частоте 68.8 МГц является паразитной.

Таблица

Полученное напряжение на различных модах резонатора «птичья клетка»

Частота, МГц	Напряжение на первой петлевой антенне, В	Напряжение на второй петлевой антенне, В
68.8	0.084	0.080
63.6	0.458	0.537
52.5	0.510	0.010
44.2	0.851	0.936
38.9	0.014	0.468

В ходе моделирования картины полей (рис. 4), получено, что оптимальная мода для БПЭ находится также на частоте 44.2 МГц. По сравнению с основной модой, электрическое поле сосредоточено только в небольшой области на поверхности фантома и проникает не глубоко. Это ведёт к меньшим потерям на токи проводимости, и, как следствие, на меньший нагрев фантома и большей безопасности при сканировании. Моделирование с подробной воксельной моделью человека также подтверждает, что на частоте 44.2 МГц нагрев тканей человека незначителен и система безопасна для человека. Распределение магнитного поля на частоте 44.2 МГц показывает, что оно сосредоточено только на поверхности фантома и имеет большую величину в объёме резонатора по сравнению с основной модой колебаний. Это ведёт к большей эффективности при сборе энергии с помощью петлевых антенн.

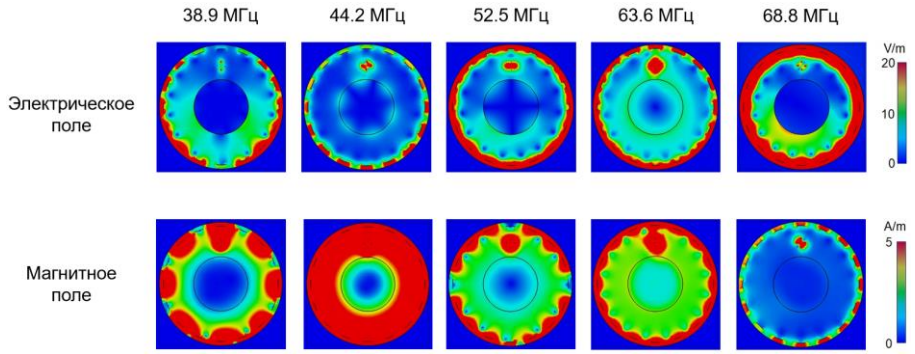


Рис. 4. Численное моделирование картины электрического и магнитного полей на разных модах резонатора «птичья клетка»

Данная система БПЭ не искажает МР-изображения за счёт того, что на моде с частотой 44.2 МГц отсутствует электрическое и магнитное поле в центре фантома, поля мод ортогональны и находятся на разных частотах. Также возможна передача большей энергии на моде с частотой 44.2 МГц, чем на основной моде, так как поле B_1 не

искажается, ткани человека меньше нагреваются, магнитное поле сосредоточено, в основном, вне фантома и имеет большую величину.

Применение данной системы БПЭ возможно в клинических томографах, где используется большой объёмный резонатор «птичья клетка» для всего тела без значительной модификации аппарата МРТ, так как не требуется дополнительная передающая антенна. Эта система позволит питать энергией большинство устройств внутри тоннеля МРТ беспроводным способом, благодаря чему не нужны громоздкие кабели, дорогостоящие аккумуляторы и сложные РЧ разъёмы.

Заключение

В ходе исследования с помощью численного моделирования мод высокого порядка резонатора «птичья клетка» от аппарата МРТ Siemens Avanto 1.5 T получено, что оптимальная мода для БПЭ находится на частоте 44.2 МГц. По сравнению со сбором энергии на основной моде колебаний, возможна передача большей мощности, потому что БПЭ на данной моде:

1. Безопаснее, так как электрическое поле сосредоточено только на поверхности объекта исследования, численное моделирование с использованием подробной воксельной модели человека также показало незначительный нагрев тканей человека.
2. Эффективнее, благодаря меньшим потерям на проводимость из-за того, что электрическое поле сосредоточено у поверхности фантома и отсутствует в центре, магнитное поле имеет большую величину в объёме резонатора.
3. Не ухудшает МР-изображения, за счёт ортогональности полей мод, отсутствия полей в центре объекта исследования, существования мод на разных частотах.

Представленную систему БПЭ возможно внедрить в клинические аппараты МРТ, включающие резонатор «птичья клетка», так как:

1. Не требуется их значительная модификация благодаря отсутствию дополнительной передающей антенны.
2. Эта система позволяет обеспечивать беспроводное питание энергией устройства внутри их тоннеля.

Литература

1. Bovey F., Mirau P., Gutowsky H. Nuclear magnetic resonance spectroscopy, Elsevier (1988). 652 C.
2. Seregin P., Burmistrov O., Solomakha G., Kretov E., Olekhno N. and Slobozhanyuk A. Energy-Harvesting Coil for Circularly Polarized Fields in Magnetic Resonance Imaging, Phys. Rev. Applied 17. 044014. (2022).
3. Venkateswaran M., Kurpad M., Brown J., Fain S. and D. van der Weide. Wireless power harvesting during MRI, 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). pp. 1469-1472. (2020).
4. Ganti J. Lin, Wynn T. and Ortiz T. Achieving electromagnetic compatibility of wireless power transfer antennas inside MRI system, Wireless Power Transfer 6. 138–153. (2019).
5. Aggarwal K., Joshi K., Rajavi Y., Taghivand M., Pauly J., Poon A., and Scott G. A millimeter-wave digital link for wireless MRI, IEEE transactions on medical imaging 36, 574-583 (2016).

УДК 535.211

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА ОТ ОКАЛИНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1,06 МКМ

Д.В. Журба
Научный руководитель – к.т.н. А.А. Самохвалов
Университет ИТМО
e-mail: zhurba.danila306@ya.ru

Аннотация
Проведено поисковое исследование возможности лазерной очистки поверхности стали от прокатной окалины излучением непрерывного иттербиевого волоконного лазера. Были обнаружены ранее неисследованные механизмы разрушения и удаления окалины, которые являются более энергоэффективными по сравнению с испарительными механизмами лазерной очистки. Предварительные результаты исследования показывают высокую перспективность исследуемого подхода к рассматриваемой задаче.

Ключевые слова
Лазерная очистка, прокатная окалина, импульсный иттербиевый волоконный лазер, непрерывный иттербиевый волоконный лазер, микросекундная длительность воздействия.

Введение

Удаление оксидных слоев с поверхности металлов – актуальная проблема для современного производства. Наиболее востребованной задачей в данном направлении является удаление оксидных слоев с поверхности горячекатаных углеродистых сталей (прокатной окалины). Традиционные технологии удаления прокатной окалины (химические и механические) являются энергозатратными, недостаточно эффективными, требуют применения расходных материалов, а также обладают множеством других недостатков, наиболее существенным из которых является вредность для экологии, особенно при химических способах. В последнее время все большее распространение получает лазерная очистка. Лазерная очистка уже зарекомендовала себя как экологически чистый и удобный в использовании способ удаления различных загрязнений, отличающийся бесконтактностью, отсутствием расходных материалов, низкими эксплуатационными затратами, принципиальной возможностью удалять любые типы загрязнений и рядом других преимуществ, связанных с применением лазерного излучения с высокой плотностью мощности. Традиционный подход к лазерной очистке основан на испарении материала загрязнения короткими (обычно наносекундными) импульсами. Однако испарение оксидных слоев – энергоемкий процесс. Поэтому импульсная лазерная очистка прокатной окалины с поверхности горячекатаной стали характеризуется низкой производительностью. В данной работе предлагается использовать излучение непрерывного иттербиевого волоконного лазера для удаления прокатной окалины. При этом увеличение производительности очистки достигается за счет реализации более эффективных механизмов разрушения и удаления окалины, основанных на действии лазерного нагрева.

Результаты

Толщина прокатной окалины составляет ~ 30 мкм. Прокатная окалина в основном состоит из оксидов железа и продуктов распада вюстита (FeO): смеси магнетита (Fe_3O_4) и металлического железа [1]. Данные составляющие являются тугоплавкими, и их удаление – энергозатратный и трудоемкий процесс.

В последнее десятилетие наибольшее распространение получила технология лазерной очистки, основанная на испарении материала загрязнения наносекундными импульсами. Подавляющее число выпускаемых в мире аппаратов лазерной очистки используют импульсные волоконные лазерные источники с длительностью импульса 100 нс. Их применение оправдывается высокой технологичностью, а также универсальностью применения: остросфокусированный лазерный пучок позволяет удалить практически любое загрязнение с поверхности большинства материалов. Короткая длительность импульса также позволяет минимизировать воздействие на основной материал, в металлах зона термического воздействия и оплавления ограничивается единицами микрон.

Однако испарение оксидных слоев железа – энергоемкий процесс, по многим свойствам эти оксиды близки к самой стали, поэтому на практике за один импульс происходит удаление окалины лишь на глубину ~ 3 мкм.

Толщина слоя, в котором поглощается лазерное излучение с длиной волны 1,06 мкм составляет всего 230 нм (показатель поглощения $4{,}4*10^4$ $см^{-1}$ [2]) и при температуропроводности магнетита (Fe_3O_4) $2*10^{-5}$ $м^2/с$ [3] и длительности импульса 10^{-7} с глубина его прогрева составляет ~ 1,4 мкм. В действительности тепловое воздействие продолжается еще некоторое время после окончания лазерного импульса, что связано со временем жизни плазмы.

Поэтому импульсная лазерная очистка прокатной окалины с поверхности горячекатаной стали характеризуется крайне низкой производительностью. Для чистовой очистки окалины требуется более 10 воздействий в одну область. Автором были получены значения производительности очистки окалины толщиной ~ 30 мкм около 0,15 $м^2/ч$ для импульсного иттербиевого волоконного лазера мощностью 100 Вт с энергией в импульсе 1 мДж и длительностью импульса 100 нс, что является практически предельной скоростью очистки для данного лазера. Полученные результаты также подтверждаются работой [4], в которой выполнялось исследование производительности очистки прокатной окалины импульсными иттербиевыми волоконными лазерами с различной энергией в импульсе. Увеличение средней мощности лазерного источника приводит к такому же кратному увеличению производительности. Увеличение энергии в импульсе, как показывает исследование [4], не оказывает существенного увеличения (удельной) производительности на 1 Вт мощности источника. Можно заключить, что испарительный механизм (с применением импульсных волоконных лазеров) не позволит решить задачу эффективной и высокопроизводительной очистки окалины.

В данной работе выполняется поиск и исследование более эффективных механизмов разрушения и удаления окалины, основанных на действии лазерного нагрева. Предложено использование непрерывного иттербиевого волоконного лазерного источника с круговой сканирующей системой, обеспечивающей диапазон длительностей воздействия 1–1000 мкс. При длительности воздействия порядка 100 мкс обеспечивается прогрев окалины на всю толщину, а также приповерхностного слоя стали. В результате нагрева окалины свыше 600 °С в ней интенсивно протекают химические реакции, приводящие к модификации фазового состава окалины [1]. Высокие градиенты температур при циклах нагрева и охлаждения, и различные линейные коэффициенты расширения фаз окалины и стали формируют напряжения в слое окалины. В результате совокупность физико-химических и термомеханических механизмов при обработке непрерывным лазером позволяет разрушить и удалить исходный слой окалины.

В результате проведенных исследований была найдена область параметров воздействия (длительность 130–150 мкс, плотность энергии одного воздействия 12–15 Дж/см^2), в которой осуществляется удаление окалины в твердом фазовом состоянии, т.е. без вклада испарения.

Эффект носит накопительный характер и для удаления окалины толщиной 30 мкм требуется от 10 до 16 воздействий. Количество воздействий (или суммарная плотность энергии) зависит от толщины окалины и условий получения металлопроката и может отличаться для разных его партий. Одной из особенностей рассматриваемого процесса является удаление исходной окалины в виде отдельных фрагментов толщиной приблизительно равной толщине исходной окалины, при этом на поверхности стали остается тонкий мягкий модифицированный слой окалины, толщиной менее 5 мкм. Остаточный слой может быть легко удален импульсным лазером за одно воздействие. На данный момент для комбинированной обработки непрерывным и импульсным лазерами уже получена очистка окалины с плотность энергии 188 Дж/см^2: 174 Дж/см^2 (непрерывный лазер) и 14 Дж/см^2 (импульсный лазер), что более чем в 2 раза меньше, чем необходимо для обычной импульсной лазерной очистки (460 Дж/см^2).

Развитие данного направления позволит создать востребованную, экологически чистую и конкурентоспособную технологию очистки горячекатаного металлопроката от окалины. Немаловажным является научный задел по применению непрерывного лазера для очистки оксидных слоев металлов. В дальнейшем результаты данного исследования будут использоваться для решения задач удаления толстых слоев ржавчины и оксидных слоев других металлов.

Заключение

Дальнейшее исследование физических механизмов лазерной очистки прокатной окалины с помощью излучения непрерывного волоконного лазера позволит разработать новую востребованную в промышленности технологию удаления прокатной окалины и создать научно-технический задел в области лазерной очистки толстых оксидных слоев металлов. Применение непрерывных волоконных лазеров большой мощности совместно с надежными сканирующими устройствами позволит создать высокопроизводительные установки для очистки окалины, которые могут быть внедрены на металлообрабатывающие производства.

Литература

1. Тепляков Ю.Н. Распад вюстита, входящего в состав окалины // Вестник ЮУрГУ. Серия: Химия. №23 (156). 2009 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/ article/n/raspad-vyustita-vhodyaschego-v-sostav-okaliny (дата обращения: 20.04.2022).
2. Optical constants of Fe3O4 (Iron(II,III) oxide, Magnetite) Querry 1985: n,k 0.21-55.6 μm [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://refractiveindex.info/ ?shelf= main&book=Fe3O4&page=Querry (дата обращения: 29.04.2022).
3. F Horia, Khaled Easawi, Reda Khalil, Said Abdallah, Mabrouk El-Mansy and Sohair Negm Optical and Thermophysical Characterization of Fe3O4 nanoparticle. // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 956 012016. 2020.
4. Deschênes J.M., Fraser A. Empirical Study of Laser Cleaning of Rust, Paint, and Mill Scale from Steel Surface. In: Lee J., Wagstaff S., Lambotte G., Allanore A., Tesfaye F. (eds) // Materials Processing Fundamentals 2020. The Minerals, Metals & Materials Series. P. 189-201.

УДК 543.00, 535.00

РАЗРАБОТКА КЮВЕТЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА, ВЫЗВАННЫХ HELICOBACTER PYLORI

Д.А. Крупин, О.Б. Кузнецова
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент В.В. Виткин
Университет ИТМО
e-mail: krupindmitry_140@mail.ru, obk@itmo.ru, vitkin@itmo.ru

Аннотация
Работа направлена на разработку кюветы для получения лазерного излучения от оптического модуля доставки и направления рамановского излучения в оптическую систему, а также для размещения образца в газовой фазе.
Ключевые слова
Газовая кювета, Helicobacter pylori, рамановская спектроскопия, СКО измерения, оптическая система.

Разработка кюветы проводилась для диагностической системы для вызванных патогеном Helicobacter pylori заболеваний желудочно-кишечного тракта. Helicobacter pylori является одним из наиболее известных патогенов и возбудителем таких заболеваний, как острый и хронический гастрит, язва и рак желудка [1, 2]. В медицинской практике для диагностирования Helicobacter pylori обычно применяются эндоскопическое обследование с последующей биопсией клеток тканей желудка, анализ крови и кала на наличие антигенов Helicobacter pylori, а также уреазный дыхательный тест с применением методов масс-спектрометрии и ИК-спектроскопии. Из существующих способов определения предпочтительным является неинвазивная диагностика бактерии по выдоху человека. Методы, применяемые для анализа газовых проб выдоха человека на основе изотопной масс-спектрометрии, имеют существенный недостаток в виде дороговизны оборудования, длительного времени анализа, и сложности пробоподготовки. Методы на основе ИК- спектроскопии обладают более низкой по сравнению с изотопными масс-спектрометрами точностью (90–95 %) получаемых результатов. Для получения более высокой точности разрабатываемой системы необходимо увеличение рамановского сигнала. В связи с этим была разработана кювета.

Кювета необходима для содержания образца выдыхаемого человеком воздуха. Особенность конструкции кюветы заключается в наличии дополнительных оптических элементов (рис. 1). В качестве входного окна кюветы используется асферическая линза, которая одновременно выполняет роль фокусирующего объектива и объектива, собирающего рассеянный рамановский сигнал. Внутри своего корпуса кювета также содержит два сферических зеркала, которые фокусируют лазерное излучение внутри небольшого объёма, и за счёт дополнительного прохода лазерного излучения через этот объём повышают его интенсивность, а следовательно и интенсивность рассеянного излучения. Для улучшения газовой схемы в разрабатываемой кювете входящее окно совмещено с асферической линзой, что позволяет уменьшить число границ раздела сред, что уменьшает общие оптические потери. Кювета имеет всего одно окно, что уменьшает количество возможных стоков и истоков и увеличивает общую герметичность системы.

Поскольку разрабатываемая кювета предназначена для измерения выдыхаемого человеком воздуха, то кювета разрабатывается исходя из того, что давление в ней не будет превышать двух атмосфер.

Для обеспечения герметичности в процессе вакуумирования (очистки) окно кюветы будет иметь уплотнение из фторопласта с внешней стороны линзы, и резинового o-ring с внутренней стороны.

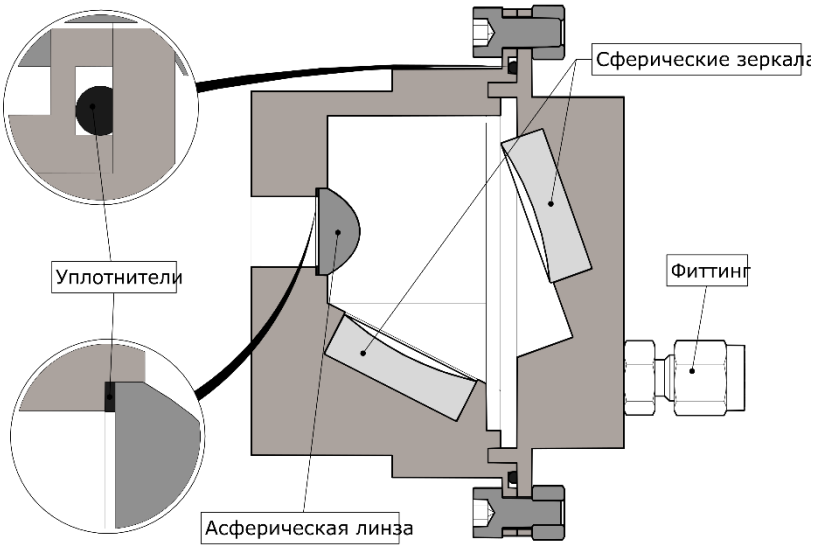


Рис. 1. Схема газовой кюветы

На рис. 2 демонстрируется схематическое изображение апертурных лучей. Излучение лазера фокусируется асферической линзой внутри объёма кюветы. Первое сферическое зеркало коллимирует излучение и направляет его на второе зеркало. Второе зеркало фокусирует лазерное излучение в той же точке, что и асферическая линза (с отклонением в 100 мкм, что является допустимым).

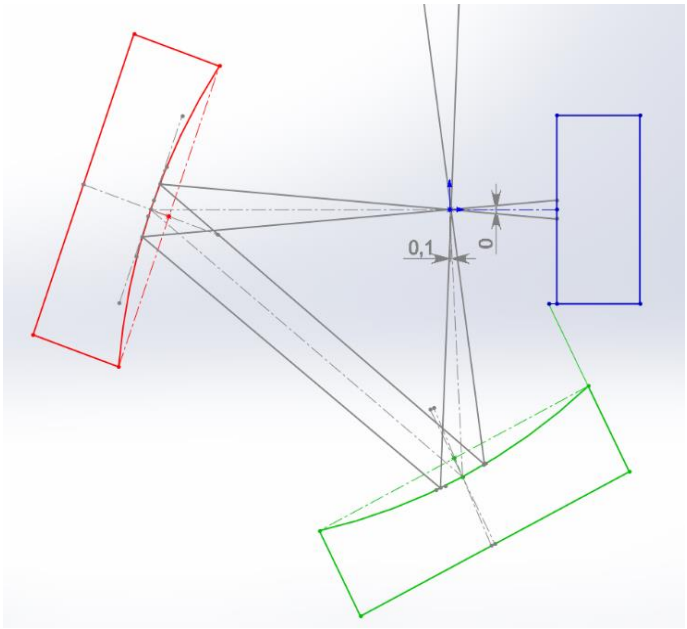


Рис. 2. Схематическое изображение апертурных лучей

Интенсивность рамановского излучения от падающего излучения на систему определяется формулой [3]:

$$I_R = I_D \beta D_{mol} d_z, \quad (1)$$

где I_D – интенсивность зондирующего излучения в фотонах на квадратный сантиметр за секунду; β – сечение взаимодействия рамановского излучения ($\frac{см^2}{(ср \times шт)}$); D_{mol} – концентрация молекул (1/см^3); d_z, – длина трассы взаимодействия зондирующего излучения (м).

Применение асферической линзы и пары сферических зеркал позволяет повысить интенсивность лазерного излучения в 4 раза, а следовательно, и интенсивность рамановского излучения в 4 раза, так как интенсивность рамановского сигнала зависит линейно от интенсивности лазерного излучения, как показано в формуле 1.

На рис. 3 демонстрируются результаты моделирования диаметра перетяжки асферической линзы в среде Zemax. По результатам работы была получена величина равная 3 мкм, что по сравнения с существующим аналогом в 10 мкм так же увеличит интенсивность рамановского излучения.

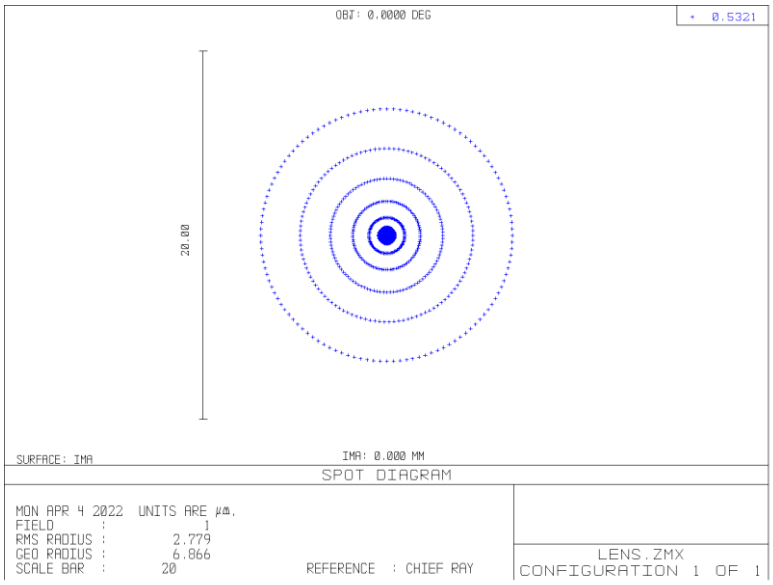


Рис. 3. Распределение интенсивности в поперечном сечении

Таким образом, за счёт всех предложенных решений суммарное увеличение регистрируемого сигнала увеличится в 4 раза. Увеличение сигнала в 4 раза позволит уменьшить СКО измерения за счёт увеличения отношения сигнал/шум (SNR).

Литература

1. Kuipers E.J. et al. Long-term sequelae of Helicobacter pylori gastritis //The Lancet. 1995. Т. 345. №. 8964. С. 1525-1528.
2. Parsonnet J. et al. Helicobacter pylori infection and gastric lymphoma //New England Journal of Medicine. 1994. Т. 330. №. 18. С. 1267-1271.
3. McCreery R.L. Raman Spectroscopy for Chemical Analysis // Measurement Science and Technology. 2001. Vol. 12. № 5. 225 p.

УДК 53.06

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ПОВЫШЕННОЙ ЗАЩИЩЕННОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИКИ ПОСТРОЕНИЯ ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИИ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ

Л.С. Лейбов
Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент А.Н. Цыпкин
Университет ИТМО
e-mail: levhrd1@gmail.com

Аннотация
В работе предложена концепция оптической системы передачи данных с повышенной защищенностью, в основе которой лежит комбинирование техники получения фантомных изображений (ghost imaging) и технологии множественного доступа с кодовым разделением (CDMA). Представлена компьютерная модель исследуемой системы.

Ключевые слова
Оптическая передача данных, защищенные системы передачи данных, фантомные изображения, множественный доступ с кодовым разделением.

Введение

На протяжении последних десятилетий оптические системы передачи данных получили широкое распространение в связи со значительным ростом объема и скорости передачи информации. При этом все больший интерес для исследований представляет безопасность передачи данных и, как следствие, создание защищенных оптических систем передачи информации [1, 2]. Как известно, технология оптической защиты информации стала очень важной в области информационной безопасности благодаря значительной степени надежности, возможности параллельной обработки, а также высокой скорости передачи информации.

Существует множество способов реализации защищенности оптической передачи данных [3, 4]. В данной работе для повышения защищенности оптической системы предполагается комбинирование двух методов: техники построения фантомных изображений с использованием псевдо-теплового лазерного излучения (ghost imaging) и технологии множественного доступа с кодовым разделением (CDMA). Технология CDMA получила широкое распространение в сетях мобильной связи, однако так же может применяться в полностью оптических системах передачи информации [5]. Данная технология представляет собой метод передачи данных, при котором каналы передачи имеют общую полосу частот, при этом каждый канал имеет уникальную кодирующую последовательность, что позволяет каждому принимающему сигнал пользователю извлечь адресуемые ему данные по своей кодирующей последовательности. Вторым методом, используемым в данной работе, является ghost imaging, который заключается в возможности восстановления изображения объекта путем вычисления корреляционной функции между двумя оптическими плечами, в одном из которых отсутствует исследуемый объект [6]. Данный метод является перспективным направлением в области оптической защиты информации и был продемонстрирован в работах [7-9]. Помимо этого, в работе [10] представлена система, в которой рассматривается совмещение метода ghost imaging во временной области и технологи CDMA. Однако, в отличии

работы [10], в рассматриваемой работе есть ряд преимуществ, которые будут обозначены далее.

В методе ghost imaging с использованием псевдо-теплового лазерного излучения носителем информации являются пространственно-коррелированные оптические спекл структуры (случайные распределения интенсивности лазерного пучка). В данной работе представленная особенность метода ghost imaging позволяет реализовать передачу данных в виде шумовых сигналов, что дает возможность существенно увеличить надежность исследуемой системы передачи данных.

Модель

Данная оптическая система реализует передачу данных множественным пользователям одновременно (one-to-many transmission system). В рамках исследуемой модели рассматривается использование оптических изображений в качестве основного носителя информации. Предполагается, что на стороне передатчика имеется набор данных, в котором определенную часть информации необходимо передать конкретному пользователю на принимающей стороне. Данные для каждого пользователя кодируются в некоторое изображение. Способ кодировки в данной работе не рассматривается, и в качестве данных для передачи пользователям используются наборы тестовых изображений.

На рис. 1 представлен алгоритм работы системы для передачи данных трем пользователям. Набор изображений для передачи конкретному пользователю может быть представлен как совокупность фрагментов (областей) одного изображения D_j (рис. 1). На первом этапе работы системы, координаты фрагментов каждого пользователя, впоследствии именуемые масками, кодируются с помощью технологии CDMA. Кодирующие последовательности для каждой маски передаются конечным пользователям по закрытому каналу связи, реализация которого в данной работе не обсуждается.

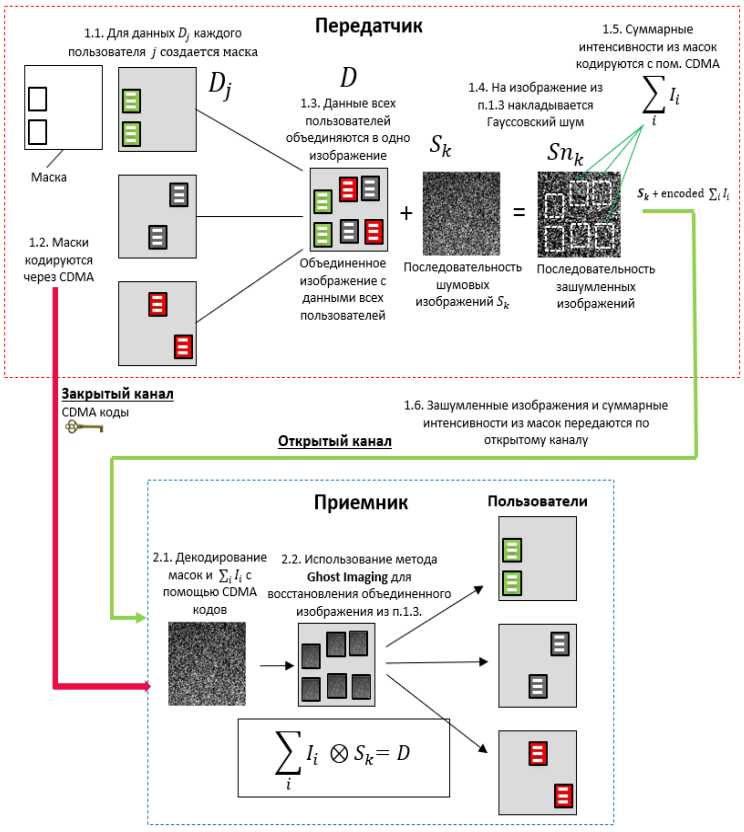


Рис. 1. Схема рассматриваемой системы передачи данных для трех пользователей

На втором этапе работы системы, изображения всех пользователей объединяются в одно общее изображение D. Впоследствии, на изображение D накладывается последовательность спекл-структур S_k (шумовых изображений), образуя зашумленные изображения Sn_k. При этом в физической реализации предполагается, что распределение интенсивности лазерного пучка модулируется последовательностью S_k с помощью пространственного модулятора света. Для каждого изображения Sn_k измеряются суммарные интенсивности излучения в масках $\sum_i \quad I_i$ каждого пользователя. Затем суммарные интенсивности $\sum_i \quad I_i$ кодируются с помощью технологии CDMA, с использованием тех же кодирующих последовательностей, что и при кодировании масок. На третьем этапе работы системы происходит передача закодированных суммарных интенсивностей $\sum_i \quad I_i$ и шумовых изображений S_k по открытому каналу. Таким образом, при передаче по открытому каналу информация не может быть корректно прочитана при ее перехвате. На стороне приемника каждый пользователь, согласно своей кодирующей последовательности, которую он получил по закрытому каналу, декодирует соответствующую маску и значения суммарных интенсивностей $\sum_i \quad I_i$. После этого для декодирования информации выполняется алгоритм ghost imaging. Каждый пользователь посредствам расчета корреляционной функции (1) между суммарными интенсивностями в соответствующих масках $\sum_i \quad I_i$ и полученных по открытому каналу шумовых изображений S_k происходит восстановление части изображения, предназначенного конкретному пользователю.

$$\sum_i \quad I_i \otimes S_k = D. \#(1)$$

Результаты

Исследуемая компьютерная модель была протестирована для передачи изображений трем пользователям. Исходные изображения и соответствующие им маски показаны на рис. 2.

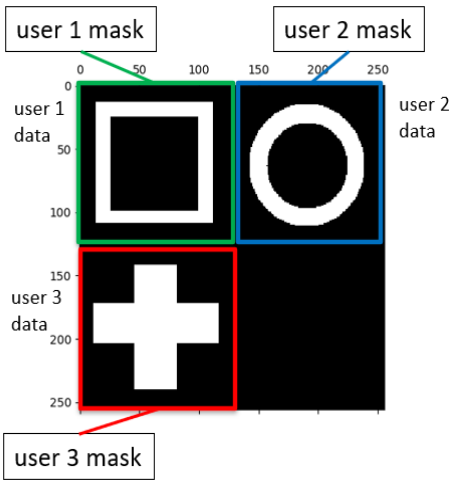
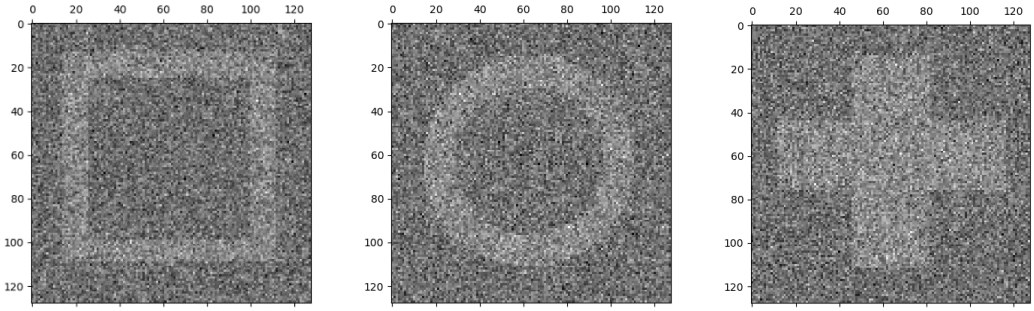


Рис. 2. Изображения, которые необходимо передать трем пользователям

В результате реализации вышеописанного алгоритма каждый из трех пользователей получил корректное изображение (рис. 3). Так как передача и восстановление изображений происходило с использованием шумовых сигналов, на полученных изображениях так же присутствует шум, который, однако, может быть минимизирован с помощью алгоритмов обработки изображений.



а б в

Рис. 3. Изображения, полученные а) первым, б) вторым и в) третьим пользователями

Заключение

Была продемонстрирована возможность создания оптической системы передачи данных с повышенной защищенностью с использованием техники получения фантомных изображений с использованием псевдо-теплового лазерного излучения и технологии множественного доступа с кодовым разделением. Продемонстрирована работа компьютерной модели на примере трех пользователей. Показано, что в сравнении с системой, представленной в работе [10], для работы представленной системы нет необходимости передавать большое количество шумовых сигналов через закрытый канал связи. При этом достаточно единоразовое использование закрытого канала для передачи кодирующих последовательностей CDMA, что в значительной степени снижает загруженность закрытого канала связи.

Литература

1. Bernardini R. Cryptography - Recent Advances and Future Developments. –IntechOpen, 2021. 152 p.
2. Fraser C.B., Harvey A.R. Optical field encryption for secure transmission of data // Advanced Free-Space Optical Communications Techniques and Technologies. 2004. V. 5614. P. 89–96.
3. Muniraj I., Sheridan J.T. Optical Encryption and Decryption –SPIE PRESS BOOK, 2019. 48 p.
4. Liu S., Guo C., Sheridan J,T., A review of optical image encryption techniques // Optics & Laser Technology. 2014. V.56. P. 327-342.
5. Wang Z., Xu L., Chang J., Wang T. and Prucnal P.R., Secure Optical Transmission in a Point-to-Point Link with Encrypted CDMA Codes // IEEE Photonics Technology Letters. 2010. V.22. P.1410-1412.
6. Bromberg Y., Ori K., and Yaron S. Ghost imaging with a single detector // Physical Review A. 2009. V.79.5, DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevA.79.053840.
7. Han Q., Zhao W., Zhai A., Wang Z., and Wang D. Optical encryption using uncorrelated characteristics of dynamic scattering media and spatially random sampling of a plaintext // Opt. Express. 2020. V.28. P. 36432-36444.
8. Kang Y. Ghost imaging-based optical cryptosystem for multiple images using integral property of the Fourier transform // Chinese Phys. B. 2021. V.30. 10 p.
9. Kang Y, Zhang L., Ye H., Zhao M., Saima K., Zhang D. Camouflaged Optical Encryption Based on Compressive Ghost Imaging // Optics and Lasers in Engineering. 2020. V. 134. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2020.106154.
10. Kang Y, Zhang L., Ye H., Zhao M., Saima K., Chunyan B., Zhang D. One-to-many optical information encryption transmission method based on temporal ghost imaging and code division multiple access // Photon. Res. 2019. V.7. P.1370-1380.

УДК 53.02

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СИСТЕМЕ КИРАЛЬНОЙ АКТИВНОЙ МАТЕРИИ НА ОСНОВЕ СКОПЛЕНИЯ РОБОТОВ

А.А. Молодцова, А.Д. Розенблит, А.А. Дмитриев, О.И. Бурмистров
Научный руководитель – к.ф.-м.н. Н.А. Олехно
Университет ИТМО
e-mail: a.molodtsova@metalab.ifmo.ru

Аннотация
В данной работе экспериментально исследована система киральной активной материи на основе скопления простых вращающихся роботов в круглом барьере, расположенном на ровной поверхности. Проведен ряд экспериментов, посвященных исследованию динамики роботов в зависимости от трения между ними. Также исследованы зависимости количества роботов в кластере и угловая скорость вращения одного робота от плотности заполнения системы вблизи точки фазового перехода, при котором система из активной жидкости превращается в твёрдое тело и приобретает макроскопическую жёсткость.

Ключевые слова
Фазовый переход, активная материя, робот, вибрирующий робот, групповая робототехника, скопление роботов, распознавание маркеров, диффузия, киральность, критическая плотность.

Введение

Активной материей (англ. Active matter) называют систему подвижных частиц, каждая из которых может преобразовывать свою внутреннюю энергию в направленное механическое движение. Такие системы представляют интерес ввиду их неравновесного характера, приводящего к ряду сложных и необычных физических явлений, например, к самоорганизации таких систем. В качестве естественных примеров активной материи можно рассматривать колонии бактерий [1], или плотные стаи животных, например, птиц [2]. В данной статье мы рассматриваем скопления из роботов, параметры которых можно контролировать в более широком диапазоне и с большей лёгкостью, чем параметры живых систем, что даёт большую свободу при проведении экспериментов и привело к росту популярности такой экспериментальной платформы [3-5].

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка включает в себя набор из 40 роботов, движущихся в круглом барьере диметром D, рис 1г. Каждый робот состоит из платы с вибромотором QX-6A, микроконтроллером ATTiny13, ИК-фотоприемником и необходимой для их функционирования электроники, а также аккумулятора и корпуса, изготовленного из пластика PLA на 3D-принтере Raise 3D, рис. 1а. Корпус включает крышку диаметром d = 5,5 см и основание, к которому по кругу крепятся ножки, представляющие собой гибкую полоску из эластичных прямых щетинок, рис. 1б.

При вибрации мотора его колебания преобразуются в направленное движение робота благодаря наклонному расположению эластичных щетинок. Ориентация щетинок, образующих с поверхностью угол, равный 10 градусам, определяет направление вращения каждого робота: по часовой стрелке или против часовой стрелки. Боковая поверхность крышки каждого робота имеет специальную форму в виде зубчатой шестерёнки, рис. 1в. Изменяя угол наклона боковой поверхности зубцов от 0° (гладкая боковая поверхность) до 90° (шестеренка с прямоугольными зубцами), можно

варьировать коэффициент трения между отдельными роботами от характерного минимального (допускающего проскальзывание) до максимального (отвечающего идеальному сцеплению) значения.

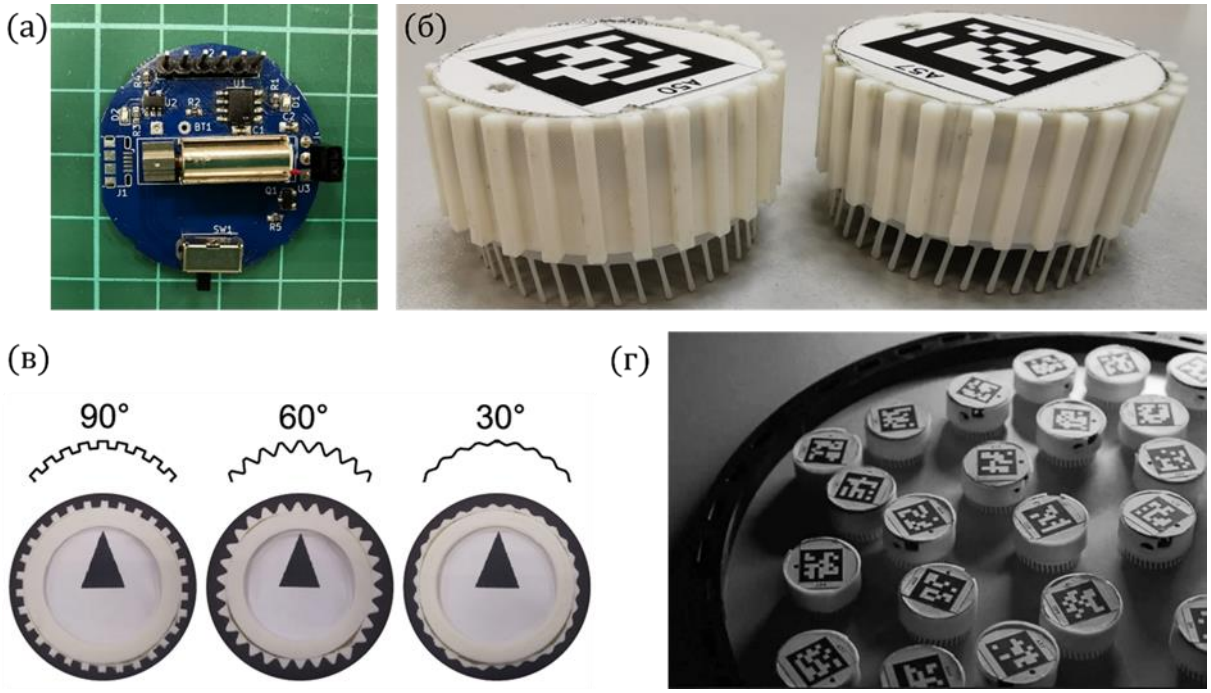


Рис. 1. Экспериментальная установка. (а): плата с вибромотором и управляющей электроникой. (б): фотография индивидуального робота в корпусе с эластичными щетинками, наклоненными под разными углами. Робот слева при вибрации вращается по часовой стрелке, робот справа – против часовой стрелки. (в): различные боковые поверхности роботов, вид сверху. (г): общий вид экспериментальной установки

На каждой крышке расположен специальный маркер ArUco, позволяющий отслеживать положение и угловую ориентацию каждого робота по отдельности. Движение системы записывается с помощью расположенной над скоплением роботов видеокамеры с последующим извлечением положений и ориентаций всех роботов средствами программной библиотеки OpenCV.

Динамика системы в зависимости от трения

В первой серии экспериментов была рассмотрена динамика движения системы в трех круглых барьерах с диаметрами D = 53 см, 47 см и, 40 см при различных значениях эффективного трения между отдельными роботами $k_{eff}(\theta)$, определяемого формой боковых поверхностей. Для этого при помощи программного пакета OpenCV из видеозаписей движения системы были извлечены траектории каждого робота и усреднены по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{3N}\sum_{i=1}^{3N}\sqrt{(x_0^{(i)} - x_1^{(i)})^2 + (y_0^{(i)} - y_1^{(i)})^2}, \quad (1)$$

где $x_0^{(i)}$, $y_0^{(i)}$ – координаты начального положения робота с номером i, $x_1^{(i)}$, $y_1^{(i)}$ – координаты соответствующего робота в момент времени t, N=40 – полное число роботов в барьере, а дополнительное умножение на 3 отвечает трёхкратному повторению каждого эксперимента с различными начальными положениями роботов для статистического усреднения результатов.

Затем был построен график средней координаты от времени в логарифмическом масштабе по обеим осям, рис. 2. На графиках видно, что при малой плотности заполнения системы динамика схожа с диффузионным движением, для которого среднее удаление от начальной точки пропорционально времени в степени 1/2. В такой системе роботы двигаются в основном за счёт взаимодействия друг с другом при соударениях, так как отдельный робот вращается вокруг своей оси поступательно почти не смещается. При сжатии системы, то есть при уменьшении диаметра ограничительного барьера D, наблюдается тенденция перехода динамики системы в баллистическое движение, что контринтуитивно, так как в привычных системах из поступательно движущихся пассивных частиц, напротив, при меньшей плотности системы наблюдается баллистическое движение, а при большей – диффузионное. Однако, как будет показано далее, это баллистическое движение не каждого робота в отдельности, а системы как целого. Например, как видно из рис. 2, такому баллистическому движению в действительности отвечает более низкая подвижность, чем диффузионному.

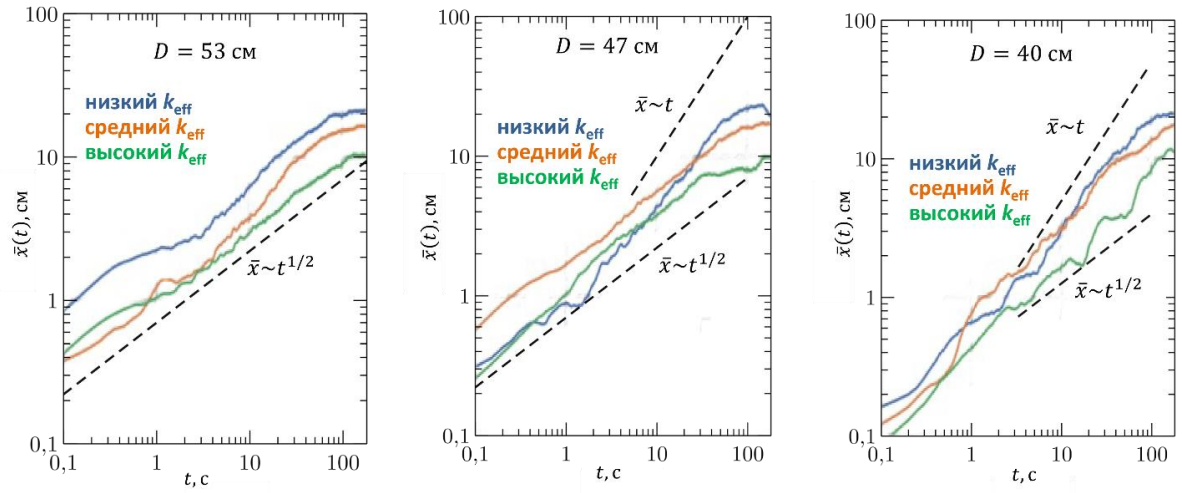


Рис. 2. Зависимость средней координаты робота от времени в дважды логарифмическом масштабе для разных диаметров барьера D и разных эффективных коэффициентов трения между индивидуальными роботами $k_{eff}(\theta)$. Синие, оранжевые и зелёные линии отвечают низкому, среднему и высокому значениям эффективного трения между роботами, соответственно

Фазовый переход

Вторая серия экспериментов посвящена нахождению точки фазового перехода, при котором подвижность отдельных роботов резко снижается, и скопление роботов в целом из активной жидкости переходит в твердое тело.

Экспериментально, путем изменения диаметра ограничительного барьера D от 42 см до 40 см с шагом 0.5 см, было найдено, что точка такого фазового перехода располагается между D = 40 см и D = 40,5 см. Для более точной оценки точки фазового перехода необходимо рассматривать систему с большим числом роботов. Для дальнейших расчётов было выбрано значение точки фазового перехода при диаметре барьера D = 40,25 см. Данному диаметру барьера соответствует критическая плотность заполнения p_c = 0,79, рассчитанная по формуле

$$p = N(d/D)^2, \quad (2)$$

где p – плотность заполнения барьера роботами, N – количество роботов в системе, d – диаметр одного робота, D – диаметр ограничительного барьера.

Далее были построены графики зависимости среднего количества роботов в связанных кластерах, образованных соприкасающимися роботами, и угловой скорости вращения одного робота от плотности заполнения системы вблизи точки фазового перехода в дважды логарифмическом масштабе, рис. 3. На графиках видно, что зависимости подчиняются степенным законам, где показатель степени характеризует значение соответствующего критического индекса вблизи точки фазового перехода. Для среднего количества роботов в связанных кластерах критический индекс равен -0,8, рис. 3а, в то время как для угловой скорости вращения робота критический индекс равен 0,5, рис. 3б. Полученные результаты в виде степенных законов согласуются с общей физикой фазовых переходов, одной из ключевых закономерностей в которой является как раз степенное поведение среднего размера кластеров из частиц и других характеристик вблизи точки фазового перехода.

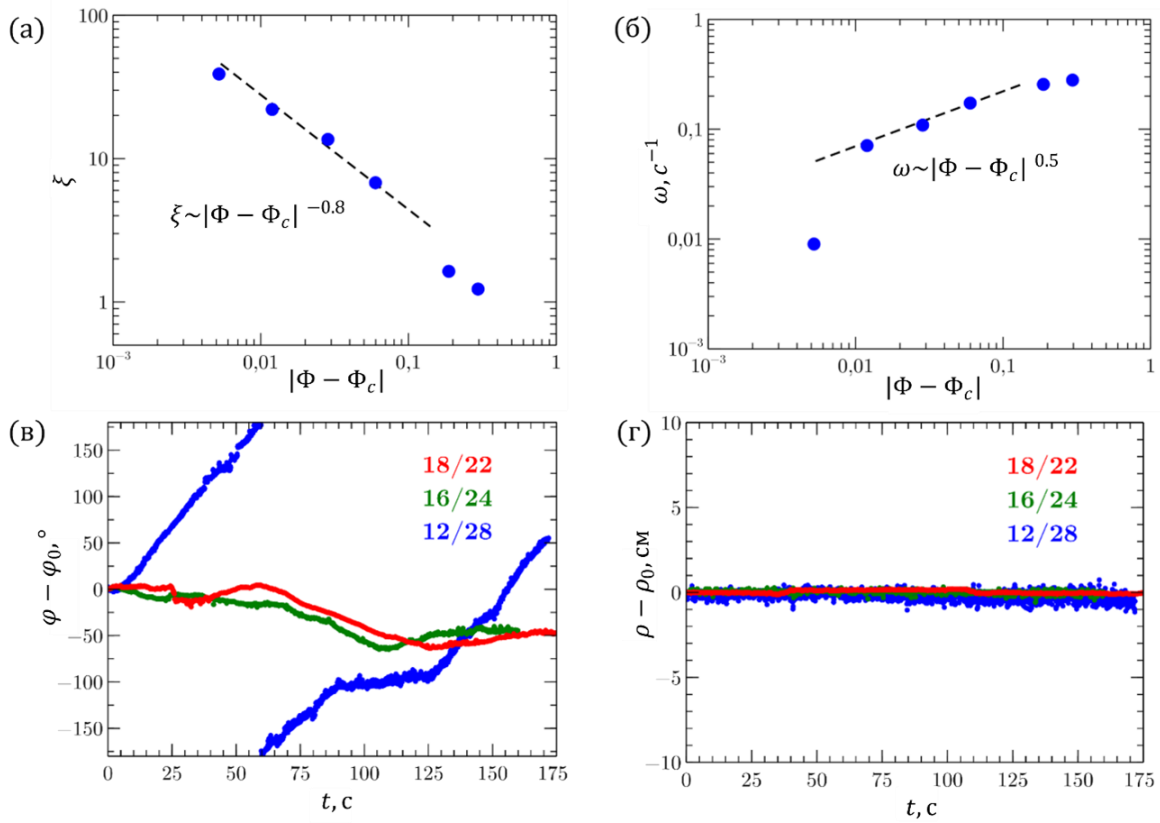


Рис. 3. Полученные экспериментальные зависимости. (а): зависимость количества роботов в кластере от плотности заполнения системы вблизи точки фазового перехода в дважды логарифмическом масштабе. (б): угловая скорость вращения одного робота от плотности заполнения системы вблизи точки фазового перехода в дважды логарифмическом масштабе. (в): зависимость средней угловой координаты робота от времени для различных соотношений числа роботов, вращающихся по часовой стрелке и против часовой стрелки. (г): зависимость радиальной координаты от времени для различных соотношений числа роботов, вращающихся по часовой стрелке и против часовой стрелки

Кластеры роботов в киральной системе

Третья серия экспериментов была посвящена изучению движения кластеров роботов в киральной системе при фиксированном трении между отдельными роботами, характеризующимся углом между зубчиками на боковой поверхности каждого робота, равным 90°.

В данных экспериментах менялось соотношение количества роботов в системе, перешедшей в твёрдое состояние, вращающихся по часовой стрелке и против часовой стрелки. Затем были построены графики зависимости средней радиальной координаты

робота от времени, рис. 3г, и угловой координаты от времени, рис. 3в. На графиках видно, что при близком соотношении между числом роботов, вращающихся по часовой стрелке и против часовой стрелки, вращение системы как целого (представляющей собой большой кластер из роботов) почти не наблюдается, в то время как при увеличении данного соотношения появляется заметное вращение такого кластера. При этом средняя радиальная координата роботов практически не меняется, из чего следует, что роботы действительно скованы в плотном кластере.

Результаты

В данной работе исследованы зависимости размера кластеров из нескольких вращающихся роботов и угловой частоты вращения роботов от плотности образованного ими скопления. Экспериментальные результаты показывают наличие фазового перехода при достижении критического значения плотности скопления $p_c = 0{,}76$. В окрестности этой плотности как средний размер кластеров из соприкасающихся роботов, так и средняя угловая скорость вращения роботов быстро изменяются и подчиняются степенным законам. Также в работе показано, что при малой плотности заполнения системы динамика ее движения подчиняется диффузионному закону, в то время как при увеличении плотности заполнения динамика переходит в баллистическое движение, отвечающее вращению плотного скопления роботов как целого. Исследована зависимость угловой вращения кластеров как целого от степени киральной системы.

Литература

1. Mathijssen A. J. T. M., Guzman-Lastra F., Kaiser A., and Lowen H. Nutrient transport driven by microbial active carpets // Physical Review E. 2018. V. 121. 248101.
2. Filella A., Nadal F., Sire C., Kanso E., and Eloy C. Model of collective fish behavior with hydrodinamic theory // Physical Review E. 2018. V. 120. 198101.
3. Giomi L., Hawley-Weld N. and Mahadevan L. Swarming, swirling and stasis in sequestered bristle-bots // Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2013. V. 469. 20120637.
4. Boudet J.F., Lintuvuori J., Lacouture C., Barois T., Deblais A., Xie K., Cassagnere S., Tregon B., Brückner D.B., Baret J.C. and Kellay H. From collections of independent, mindless robots to flexible, mobile, and directional superstructures // Science Robotics. 2021. V. 6. P. 56.
5. Xiang Yang, Chenyang Ren, Kangjun Cheng, and Zhang H.P. Robust boundary flow in chiral active fluid // Physical Review E. 2020. V. 101. 022603.

УДК 535.8

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРОВСКИТНЫХ ДВУХСТОРОННИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОМОЩИ СВЕТОУЛАВЛИВАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОДА

А.А. Образцова
Научный руководитель – Ph.D. П.М. Ворошилов
e-mail: anna.obraztsova@metalab.ifmo.ru

Аннотация
В этой работе предлагается способ повышения эффективности перовскитных солнечных элементов при помощи структуры из перфорированного электрода и диэлектрических наносфер. С помощью численных расчетов мы показали, что прирост общей эффективности может достигать 15%, за счет увеличения значения тока короткого замыкания и фактора заполнения. Данная структура может служить альтернативой традиционным электродам на основе прозрачных проводящих оксидов, таких как ITO, FTO, и др.

Ключевые слова
Солнечные элементы, светозахватывающий электрод, оптические потери, техники улавливания света, перовскиты.

Введение

Органо-неорганические галоидные перовскитные солнечные элементы (ПСЭ) рассматриваются как многообещающая замена кремниевым солнечным элементам. Перовскитные материалы имеют превосходные оптические и электрические характеристики, поэтому они обладают значительными преимуществами в современной фотоэлектрической индустрии. Следовательно, использование перовскитных материалов для солнечных элементов вызывает огромный исследовательский интерес. Существует множество типов конфигураций и типов конструкций солнечных элементов. Наиболее простыми из них являются односторонние структуры, состоящие из переднего электрода на основе прозрачных проводящих оксидов, таких как FTO, ITO, электрон-транспортного слоя, активного слоя, дырочно-транспортного слоя и заднего непрозрачного металлического контакта. Такие солнечные элементы показывают высокую эффективность. Однако в последнее время все больший интерес вызывают двусторонние структуры ПСЭ, состоящие из двух прозрачных электродов. Нижний прозрачный токопроводящий контакт позволяет улавливать отраженное излучение, тем самым увеличивая поток фотонов, используемых для генерации энергии. Такие конфигурации имеют высокий потенциал для достижения более высокой выходной мощности на единицу площади, чем обычные односторонние устройства, без значительного увеличения производственных затрат. В нашей статье мы берем обе эти конфигурации за основу.

Тонкопленочные солнечные элементы являются одним из вариантов снижения стоимости фотоэлектрического производства за счет минимизации использования активных материалов. Однако некоторые механизмы потери энергии — низкое поглощение света из-за малого коэффициента поглощения или недостаточной толщины активного слоя – могут ограничивать производительность тонкопленочных фотоэлектрических элементов и значительно снижать эффективность перовскитных солнечных элементов. Основными механизмами оптических потерь являются отражение и паразитное поглощение, поэтому мы уделяем особое внимание увеличению оптического поглощения слоя перовскита и улучшению пассивации поверхности [1].

Известно, что потери возникают из-за недостатков прозрачных проводящих оксидов (ITO, FTO), которые обычно используются в изготовлении прозрачных электродов в перовскитных солнечных элементах. На слой ITO, FTO приходится наибольшее паразитное поглощение, что приводит к уменьшению фототока и снижению КПД устройства. Однако из-за высокой прозрачности электрода ITO непоглощенные фотоны могут легко покинуть устройства, что делает обычные ПСЭ менее эффективными. Для уменьшения потерь фотонов в устройствах на основе ITO используется слой диоксида титана (TiO2), который значительно улучшает поглощение света [2]. Однако эффективность устройств на основе двухслойных электродов по-прежнему страдает из-за значительной оптической диссипации из-за высокой прозрачности TiO2. Также необходимо учитывать значительные потери на отражение, которые присутствуют во всем диапазоне длин волн и значительно снижают эффективность солнечного элемента. Чтобы избежать этого, используются различные просветляющие покрытия или стратегии улавливания света [3].

Диэлектрические сферы в масштабе длины волны обладают эффектом фокусировки света, поэтому они являются интересными элементами для фотоэлектрических систем. Для сфер с показателем преломления $\mathbf{1} < \boldsymbol{n} < \mathbf{2}$ фокус находится на некотором расстоянии от сферы в теневой области. При $\boldsymbol{n} = \mathbf{2}$ фокусировка происходит именно на теневой поверхности сферы. Наконец, при всех $\boldsymbol{n} > \mathbf{2}$ свет фокусируется внутри частицы. Следуя закону Снеллиуса, можно найти геометрооптический фокус, размер и усиление поля в фокусе [4]. Вблизи внешнего края частицы появляется сильное усиление поля. Он зависит только от показателя преломления, а размер пятна пропорционален размеру частицы и может быть значительно меньше его. Рассеяние наносфер характеризуется показателем преломления, а также параметром размера:

$$q = \frac{2\pi R n}{\lambda}, \tag{1}$$

где R – радиус частицы, λ – длина волны, n – коэффициент преломления.

Для выбора оптимальных параметров мы опирались на эту теорию. Параметр размера для наилучшего результата оказался примерно 2.3π после проведения множества расчетов для различных параметров системы. Однако необходимо было также учитывать падающее на солнечный элемент излучение, и для этого мы ввели Параметр эффективности (ПЭ), чтобы оценить повышение эффективности с помощью, предлагаемой структуры по сравнению с эталонной конструкцией.

$$\text{ПЭ} = \frac{\int A_{\text{ПСЭ}} \cdot AM15 \, d\lambda}{\int A_{\text{Эталон}} \cdot AM15 \, d\lambda} \tag{2}$$

В данной статье мы предлагаем способы повышения эффективности за счет снижения оптических потерь. Предложен метод повышения эффективности перовскитных солнечных элементов с использованием проводящей светоулавливающей структуры (ПСС) из перфорированного металлического электрода и диэлектрических наносфер. Эта структура может служить альтернативой традиционным электродам на основе прозрачных проводящих оксидов, таких как ITO, FTO и др.

Замена ITO материалом с высокой отражающей способностью является разумной стратегией формирования микрорезонансной структуры. Обычно используются благородные металлы, в частности Ag и Au. Их оптические свойства позволяют лучше удерживать свет в ПСЭ, чем в случае ITO [5].

На рис. 1а показано изображение предлагаемой структуры. Варьируя диаметр сфер и диаметр отверстий, мы можем получить разные результаты. Используя численные

расчеты, мы оптимизировали размер структуры и количественно оценили результат параметром – ПЭ (2). Результаты оценки представлены на рисунке 2б. Мы показали, что увеличение общего КПД может составить до 7% за счет увеличения значения тока короткого замыкания и коэффициента заполнения.

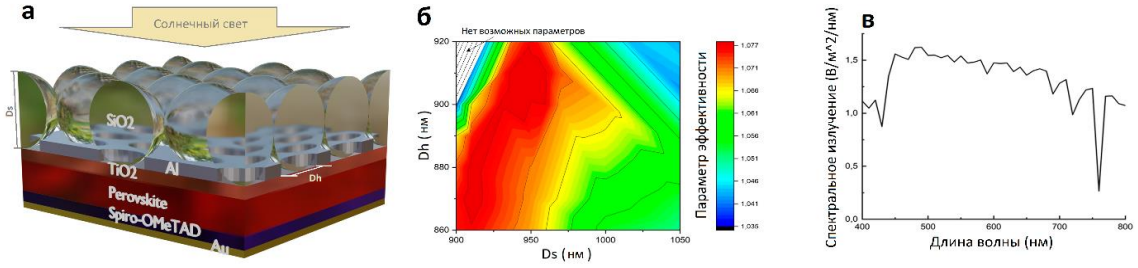


Рис. 1. Оптимизация: а) Схема предлагаемой ПСЭ-структуры. б) Параметр эффективности в зависимости от диаметра сферы и диаметра отверстия (рассчитано для $\lambda = 400 - 800$ нм). в) Спектральная освещенность AM15

Результаты

В данной статье мы предлагаем использовать ПСС в качестве прозрачного электрода вместо наиболее часто используемого FTO для перовскитных солнечных элементов. За основу была взята базовая структура одностороннего перовскитного солнечного элемента. Эталонная структура состоит из FTO (оксида олова, легированного индием) толщиной 400 нм, нанесенного на стеклянную подложку, за которым следуют TiO2 толщиной 200 нм, CH3NH3PbI3 толщиной 300 нм, Spiro-OMeTAD толщиной 200 нм и слой Au толщиной 100 нм. На рис. 2а представлена схема предлагаемой конструкции, в качестве прозрачного электрода используются стеклянные наносферы, расположенные на перфорированной металлической подложке. Солнечные лучи падают по нормали на солнечный элемент со стороны ПСС. Таким образом, происходит захват и фокусировка света на активном слое. На рис. 2б показан поток мощности для ПСС, рассчитанный для длины волны 650 нм, где мы можем наблюдать характерное пятно усиления поля в точке фокуса. Можно сравнить поток мощности для ПСС и эталонной структурой (рис. 2б). Мы видим значительный прирост мощности в области активного слоя. Независимо от потерь носителей при транспортировке выходной ток определяется тем, сколько света может поглотить активный слой. Поэтому был выполнен численный расчет оптических показателей, таких как спектр поглощения излучения в активном слое, паразитное поглощение и отражение. Основное внимание уделено оптическим потерям в диапазоне длин волн 350–800 нм, которые определяются шириной запрещенной зоны материала перовскита. Можно увидеть результаты оптического расчета для ПСС - структуры на рис. 2в и результаты для эталонной структуры на рис. 2е. Как видно на рис. 2е, несмотря на то, что поглощение перовскитом составляет основную часть всего падающего света, все еще есть много возможностей для увеличения поглощения в перовскитных солнечных элементах. Потери на отражение и паразитное поглощение происходят во всем диапазоне длин волн и составляют более 20% от общей оптической эффективности.

С другой, как показано на рис. 2в, процент паразитного поглощения для предлагаемой ПСС при нормальном падении составляет 6,7%, что почти в половину меньше поглощения в эталонной структуре. Мы также видим снижение потерь на отражение на 3% и общее увеличение поглощения активным слоем на 9%. Что касается оценки эффективного улучшения с параметром ПЭ для нашей структуры при нормальном падении, то она составляет 11%.

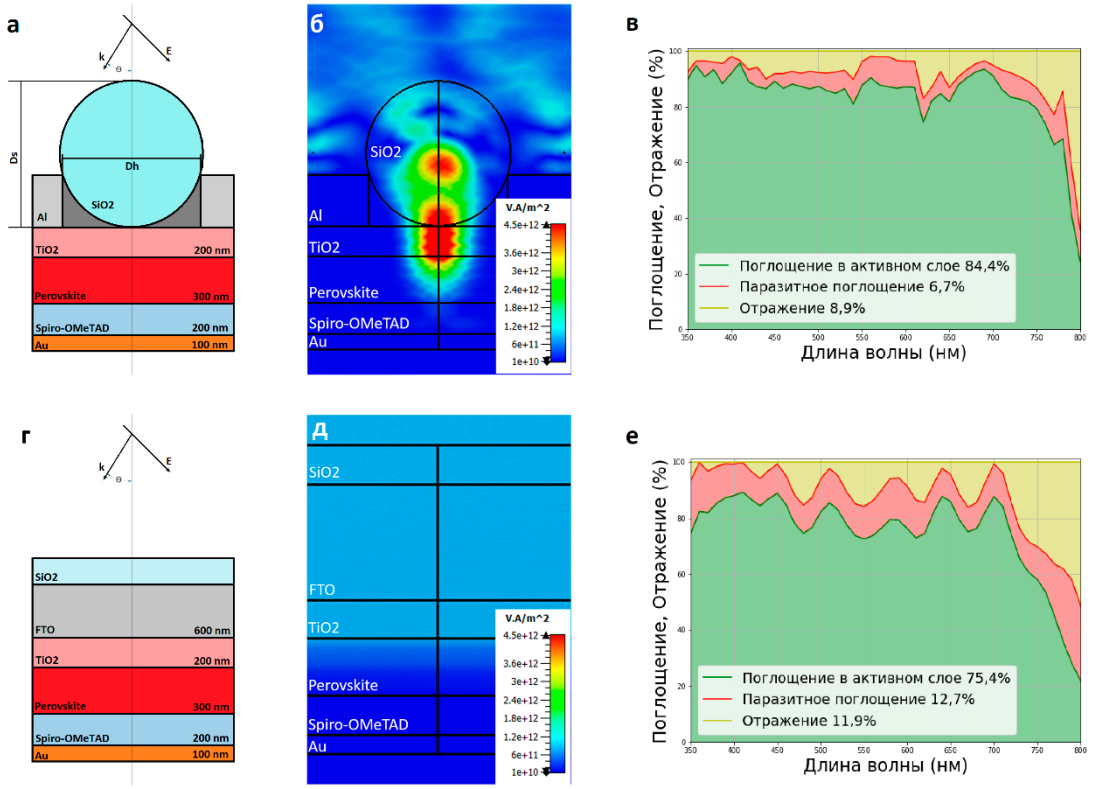


Рис. 2. Анализ оптической эффективности односторонних перовскитных солнечных элементов (рассчитано для $\lambda = 350 - 800$ нм). а) Схема перовскитного солнечного элемента с ПСС. б) Поток мощности для перовскитного солнечного элемента с ПСС для длины волны 650 нм и размера наносферы 940 нм (TE - поляризация) в) Спектральное поглощение, пропускание и отражение для перовскитного солнечного элемента с ПСС. г) Схема эталонного одностороннего перовскитового солнечного элемента. д) Поток мощности для эталонного одностороннего перовскитового солнечного элемента для длины волны 650 нм и размера наносферы 940 нм (TE – поляризация). е) Спектральное поглощение, пропускание и отражение для эталонного одностороннего перовскитового солнечного элемента

Кроме того, мы рассмотрели применение ПСС - электрода в конструкции двустороннего перовскитного солнечного элемента. В этой конструкции есть два прозрачных электрода. С одной стороны, это повышает эффективность солнечной батареи за счет улавливания отраженного (от поверхности, на которой находится электрод) света, а также позволяет интегрировать солнечные батареи в фасады домов, окна автомобилей и т. д. Но с другой стороны, может быть снижение эффективности из-за пропускания света. Поэтому мы предлагаем использовать ПСС-электрод в качестве нижнего прозрачного слоя в двустороннем перовскитном солнечном элементе. Мы предполагали, что это удержит свет (падающий с лицевой стороны) в структуру и увеличит светозахват с тыльной стороны. На рис.3а представлена схема предлагаемой конструкции, где наш электрод используется в качестве нижнего (расположенного на тыльной стороне) электрода. Результаты оптического анализа для данной конструкции представлены на рис. 3б (при нормальном падении света с тыльной стороны) и на рис. 3в (при нормальном падении света с лицевой стороны). А на рис. 3г вы можете увидеть схему для эталонного солнечного элемента, результаты для нормального падения на заднюю и переднюю сторону представлены на рис. 3д, е соответственно. Можно наблюдать увеличение светопоглощения в активном слое с обратной стороны на 12,4%, а также с лицевой стороны на 1,3%. Поглощение света активным слоем обеспечивает образование электронно-дырочных пар, что необходимо для преобразования энергии и

является непосредственно основой эффективности солнечного элемента. Увеличение поглощения света активным слоем связано с уменьшением потерь на отражение на 16,5% для задней стороны и уменьшением коэффициента пропускания на 1,7% для лицевой стороны. Расчетные параметры для оценки прироста эффективности для обратной стороны солнечного элемента составляют $ПЭ_{задняя\ сторона} = 15\%$, а для передней стороны $ПЭ_{передняя\ сторона} = 0{,}1\%$.

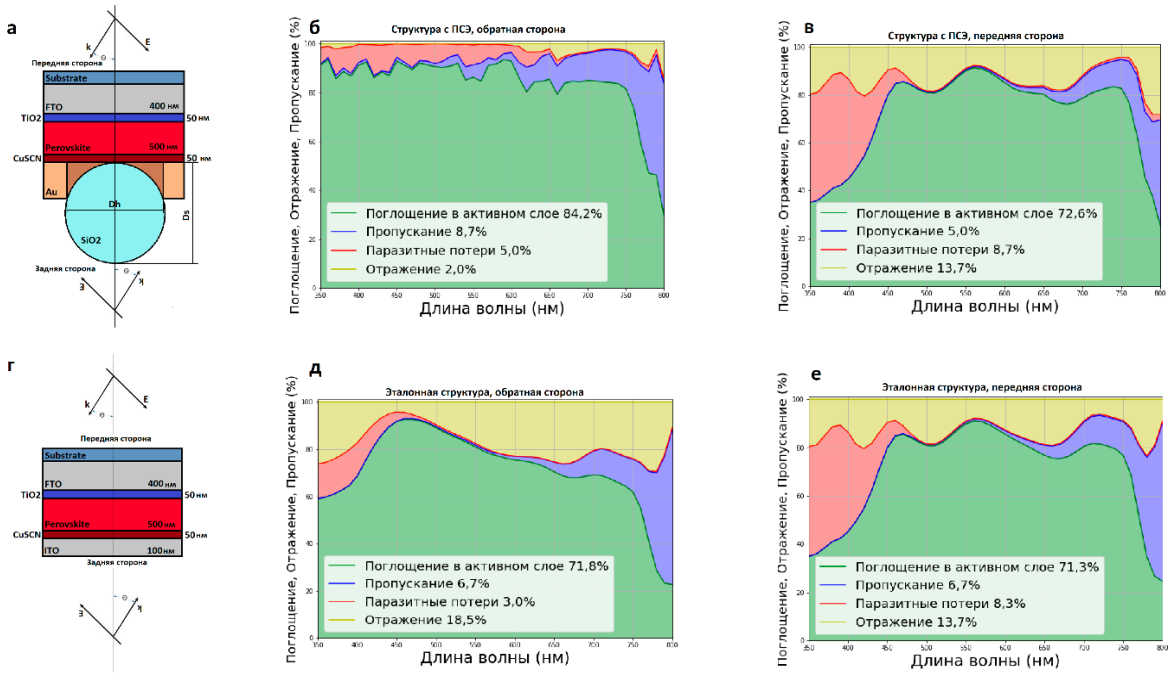


Рис. 3. Анализ оптической эффективности двусторонних перовскитных солнечных элементов (рассчитано для $\lambda = 350 - 800$ нм). а) Схема ПСС – двусторонний перовскитовый солнечный элемент. б) Спектральное поглощение, передача и отражение для обратной стороны ПСС - двустороннего перовскитного солнечного элемента. в) Спектральное поглощение, передача и отражение для передней стороны ПСС - двустороннего перовскитного солнечного элемента. г) Схема эталонного двустороннего перовскитного солнечного элемента. д) Спектральное поглощение, пропускание и отражение для эталонного двустороннего перовскитного солнечного элемента с обратной стороны. е) Спектральное поглощение, пропускание и отражение для эталонного двустороннего перовскитного солнечного элемента с передней стороны

Также мы провели расчет электрических характеристик для предлагаемой структуры солнечного элемента, чтобы убедиться, что ПСС перспективна для практического применения. На рис. 4 представлены графики плотности тока для перовскитного солнечного элемента с ПСС, а также для эталонного для обоих рассмотренных дизайнов (односторонний и двухсторонний). На рис. 4 представлены результаты расчета плотности тока. Плотность тока для двухстороннего перовскитного солнечного элемента расчитано суммированием результатов для передней и задней стороны структуры с учетом того, что на заднюю сторону приходится лишь 30% падающего излучения. Можно видеть, что для обоих дизайнов структур увеличился ток короткого замыкания, а также фактор заполнения, что благоприятно влияет на работу солнечного элемента.

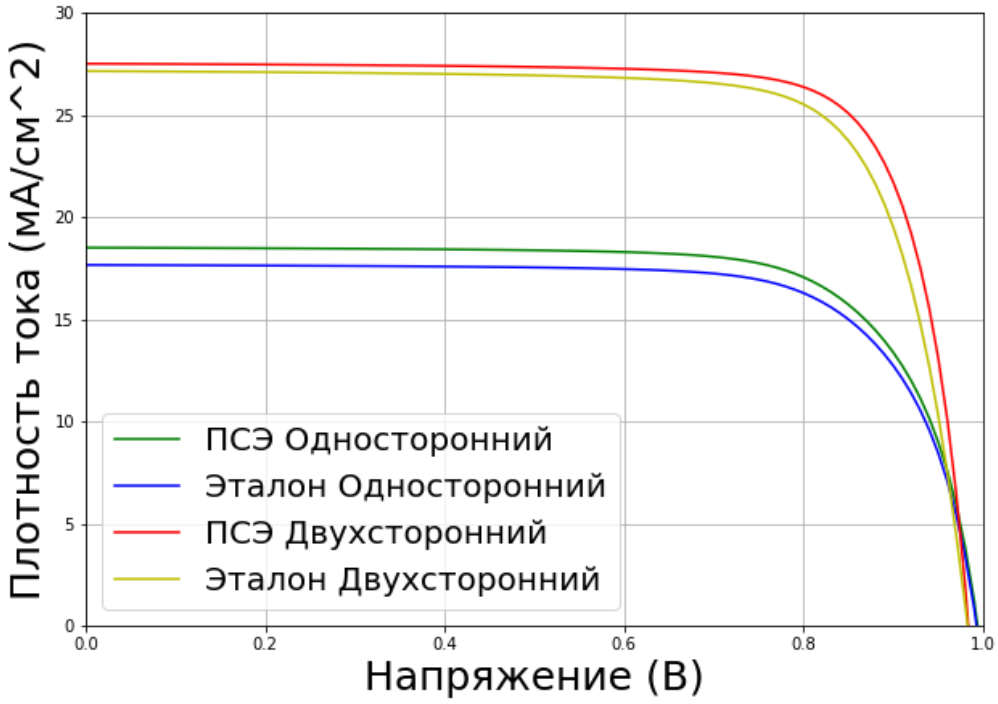


Рис. 4. Плотность тока

Заключение

Просветляющие и светоулавливающие покрытия являются неотъемлемой частью повышения эффективности перовскитных солнечных элементов. Мы предложили дизайн проводящей светоулавливающей структуры, и при помощи численных расчетов показали, что он показывает отличные результаты в увеличении эффективности солнечных элементов. Мы рассмотрели два принципиально разных по своей структуре дизайна солнечного элемента, и тем самым показали, что данная структура применима к использованию для большинства существующих дизайнов. В дальнейшем планируется экспериментальная проверка полученных результатов. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта НИРМА ФТ МФ Университета ИТМО.

Литература

1. Yun Da, Yimin Xuan, and Qiang Li. “Quantifying energy losses in planar perovskite solar cells”. In: Solar Energy 332 Materials and Solar Cells 174 (2018). pp. 206–213. ISSN: 0927-0248. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.09.002.
2. Yongbing Long. “Improving optical performance of low bandgap polymer solar cells by the two-mode 379 moderate microcavity”. In: Applied Physics Letters 98.3 (2011). p. 033301. DOI: 10.1063/1.3541960. eprint: https: 380 //doi.org/10.1063/1.3541960.
3. Yan-Qing Li, Jian-Xin Tang et al. “Recent progress of light manipulation strategies in organic and perovskite solar cells”, Nanoscale, 2019, 11, 18517, Received 4th July 2019, Accepted 7th August 2019 DOI: 10.1039/c9nr05663g.
4. Boris S Luk’yanchuk et al. “Refractive index less than two: photonic nanojets yesterday, today and tomorrow”. 385 In: Optical Materials Express 7.6 (2017), pp. 1820–1847. eprint: https://doi.org/10.1364/OME.7.001820.
5. Jing-De Chen et al. “Recent progress of light manipulation strategies in organic and perovskite solar cells”. In: 321 Nanoscale 11.40 (2019), pp. 18517–18536. eprint: DOIhttps://doi.org/10.1039/C9NR05663G.

УДК 535.35

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЗАТУХАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В СОСТАВЕ СУХИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР

Т.О. Осколкова, А.О. Орлова
Научный руководитель – к.ф.-м.н. Е.П. Колесова
Университет ИТМО
e-mail: to.oskolkova@itmo.ru, a.o.orlova@gmail.com, e.p.kolesova@gmail.com

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках ГЗ 2019-1080, при поддержке Российской Федерации в рамках гранта 08-08 и при поддержке Университета ИТМО в рамках НИРМА №621317.

Аннотация
В работе проанализирована кинетика затухания люминесценции КТ CdSe/ZnS в составе сухих слоев, сформированных с помощью технологии Ленгмюра-Блоджетт. Продемонстрировано, что в процессе образования плотноупакованных структур наблюдается уменьшение характерного времени затухания люминесценции. Было выявлено, что в слоях КТ появляется ярко-выраженная зависимость среднего времени затухания люминесценции от длины волны люминесценции. Продемонстрировано, что наблюдаемые зависимости могут быть связаны с безызлучательными процессами, протекающими в ансамбле КТ, эффективность которых увеличивается при формировании плотноупакованных структур.
Ключевые слова
Квантовые точки, технология Ленгмюра-Блоджетт, кинетика люминесценции, время затухания люминесценции, перенос энергии.

Введение

На сегодняшний день активно ведутся работы по исследованию полупроводниковых квантовых точек (КТ) – нанокристаллов, в которых движение носителей заряда ограничено во всех трех пространственных измерениях. Благодаря эффекту размерного квантования, КТ проявляют ряд отличительных оптоэлектронных и люминесцентных свойств, которые можно настраивать, контролируя рост нанокристаллов в процессе их коллоидного синтеза [1]. Уникальные размерно-зависимые физические свойства КТ, наряду с их высокой химической стабильностью и возможностью функционализации поверхности, делают КТ хорошими кандидатами для применения в различных областях [2, 3]. В частности, в настоящее время КТ активно используются при создании новейших оптоэлектрических устройств, где КТ, нанесенные монослоями, выступают в качестве активного излучающего элемента. Так, плотноупакованные слои КТ можно встретить в устройстве современных солнечных батарей, лазерных систем и дисплеев нового поколения [4].

Весьма интересной особенностью, отличающей КТ от традиционных органических красителей, является мультиэкспоненциальный характер затухания их люминесценции [5]. Природу данного феномена традиционно связывают со способностью КТ спонтанно переключаться между состояниями, которые характеризуются различными скоростями безызлучательной релаксации возбуждения. Явление флуктуации интенсивности люминесценции КТ получило название блинкинга (blinking) [6]. Важно отметить, что существенное влияние на кинетику люминесценции могут оказать безызлучательные процессы, протекающие в системах КТ. К таким процессам, к примеру, относится

безызлучательный перенос энергии, который может реализовываться в ансамбле КТ. Эффективность данного процесса зависит от расстояния ($E \sim R^{-6}$) [7] и будет увеличиваться при сокращении дистанции между донором и акцептором энергии. Данный факт позволяет предположить, что формирование многослойных плотноупакованных структур КТ может привести к эффективному переносу энергии между близкорасположенными нанокристаллами, а, следовательно, и изменению их люминесцентных свойств, в том числе кинетики затухания люминесценции КТ. Подробное изучение кинетики люминесценции КТ в составе сухих слоев является необходимым для дальнейшего создания материалов на основе КТ с заданными оптическими параметрами.

В настоящей работе была исследована кинетика затухания люминесценции КТ CdSe/ZnS в сухих слоях. С помощью технологии Ленгмюра-Блоджетт удалось сформировать структуры с равномерным распределением КТ. С использованием метода время-разрешенной спектроскопии был проанализирован характер затухания люминесценции как всего ансамбля, так и отдельных размерных фракций КТ. Продемонстрировано, что безызлучательные процессы, протекающие в системах плотноупакованных КТ, оказывают существенное влияние на кинетику люминесценции КТ.

Материалы и методы

В работе использовались полупроводниковые КТ структуры ядро-оболочка CdSe/ZnS I типа с квантовым выходом люминесценции 10%. Коллоидные КТ, стабилизированные молекулами олеиновой кислоты, были получены с помощью методики высокотемпературного органометаллического синтеза [8]. Средний размер КТ составил 6 нм, диаметр излучающего ядра КТ по оценкам не превышает 5 нм.

Формирование слоев КТ осуществлялось с помощью технологии Ленгмюра-Блоджетт с использованием установки KN 2002 (KSV NIMA). Методика нанесения монослоев заключалась в следующем. На поверхность деионизированной воды раскапывался коллоидный раствор КТ. После испарения молекул растворителя с поверхности воды, формировался монослой КТ, который далее переносился на предметное стекло. Процедура повторялась три раза [9].

Люминесцентное изображение сухих слоев КТ было получено с использованием конфокального люминесцентного микроскопа LSM-710 (Zeiss). Для регистрации стационарных спектров люминесценции КТ использовался спектрофлуориметр Cary Eclipse (Varian).

Кинетика люминесценции образцов исследовалась с помощью сканирующего люминесцентного микроскопа Micro Time 100 (PicoQuant), в котором реализуется метод коррелированного счета одиночных фотонов. Экспериментальные кривые затухания люминесценции аппроксимировались трехэкспоненциальной функцией:

$$I(t) = I_0 + A_1\, exp\, exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + A_2\, exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) + A_3\, exp\left(-\frac{t}{\tau_3}\right),$$

где A_1, A_2, A_3 – амплитуды, τ_1, τ_2, τ_3 – характерные времена затухания люминесценции.

Учитывая мультиэкпоненциальный характер затухания люминесценции КТ, средневзвешенное значение времени затухания люминесценции оценивалось как:

$$< \tau > = \frac{A_1\tau_1^2 + A_2\tau_2^2 + A_3\tau_3^2}{A_1\tau_1 + A_2\tau_2 + A_3\tau_3}$$

Результаты и обсуждения

На рис. 1 представлено люминесцентное изображение сухих слоев КТ, полученное с помощью конфокального люминесцентного микроскопа.

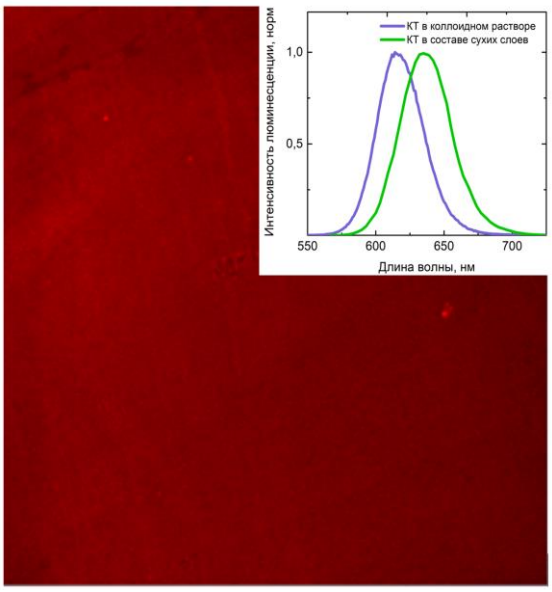


Рис. 1. Люминесцентное изображение сухих слоев КТ, нанесенных на предметное стекло, полученное с помощью конфокального люминесцентного микроскопа. На вставке представлены нормированные спектры люминесценции КТ в коллоидном растворе и КТ в составе сухих слоев

Как видно из рис. 1, поверхность структур не содержит различных по интенсивности люминесценции участков. Это свидетельствует о том, что в результате формирования слоев КТ оказались распределены равномерно, в структурах отсутствуют крупные агрегаты. На вставке к рисунку также представлены нормированные спектры люминесценции для коллоидного раствора и сухих слоев КТ. Анализ спектров показал, что при переходе от раствора КТ к многослойным структурам происходит сдвиг полосы люминесценции на более чем 0,06 эВ в сторону меньших энергий. Также можно заметить, что для сухих слоев КТ наблюдается незначительное уширение пика люминесценции (с 39 до 43 нм).

На рис. 2 представлены экспериментальные кривые затухания люминесценции КТ в коллоидном растворе и в составе сухих слоев.

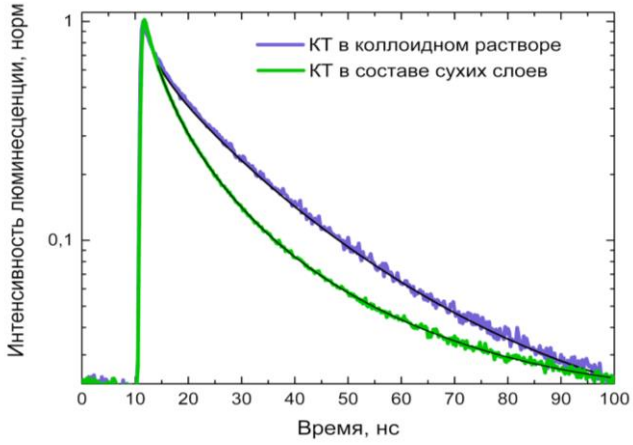


Рис. 2. Нормированные кривые затухания люминесценции КТ в коллоидном растворе и сухих слоях. Кривые аппроксимировались функцией вида $I(t) = \sum_{i=1}^{3} A_i \ exp \ exp\ (-t \ / \ \tau_i)$

Из рис. 2 видно, что при формировании многослойных структур КТ происходит изменение формы кривой затухания люминесценции. Параметры аппроксимации кривых представлены в таблице.

Таблица

Параметры аппроксимации кривых затухания люминесценции КТ по формуле $I(t) = \sum_{i=1}^{3} A_i \ exp\ exp\ (-t / \tau_i)$ для образцов: А – КТ в коллоидном растворе, В – КТ в составе сухих слоев

Образец	τ_1, нс	A_1, %	τ_2, нс	A_2, %	τ_3, нс	A_3, %	<τ>, нс
А	25 ± 3	43 ± 4	11 ± 1	43 ± 4	2,7 ± 0,3	14 ± 1	16,0 ± 1,5
В	22 ± 2	18 ± 2	7,1 ± 0,5	51 ± 2	2,6 ± 0,2	31 ± 2	8,3 ± 1,0

Из таблицы видно, что переход от коллоидного раствора КТ к сухим слоям КТ приводит к уменьшению средневзвешенного времени затухания люминесценции практически в два раза, что может свидетельствовать об увеличении эффективности безызлучательных процессов в сухих слоях КТ. Помимо этого, наблюдается увеличение вклада короткоживущей компоненты затухания люминесценции, которую, согласно теории блинкинга, связывают с возникновением в КТ дополнительного отрицательного заряда.

Стоит отметить, что в ансамбль КТ, как правило, входят нанокристаллы различного размера. Наличие нескольких люминесцирующих фракций КТ приводит к неоднородному уширению полосы люминесценции всего ансамбля КТ [10]. Так, в нашем случае полуширина пика люминесценции составила приблизительно 40 нм. Для исследования кинетики люминесценции отдельных подансамблей КТ, была использована линейка интерференционных фильтров с шириной пропускания 10 нм, с помощью которой удалось выделить излучение КТ разных фракций. На рис. 3 представлены кривые затухания люминесценции сухих слоев КТ, измеренные на различных длинах волн.

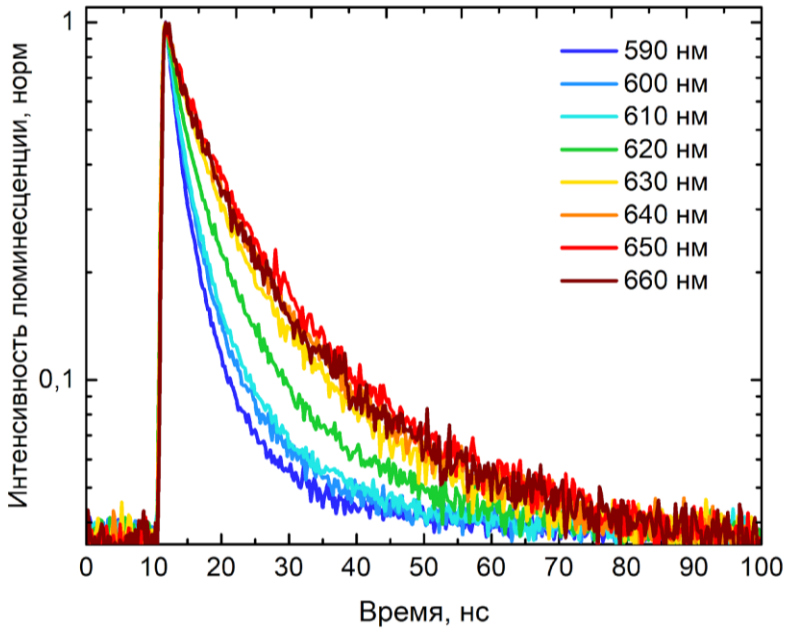


Рис. 3. Нормированные кривые затухания люминесценции КТ в составе сухих слоев, измеренные на различных длинах волн люминесценции

Из рис. 3 видно, что характер затухания люминесценции отличается для каждой отдельной области регистрации. Это свидетельствует о том, что в сухих слоях КТ наблюдается существенное изменение затухания люминесценции для КТ различных фракций.

Для дальнейшего исследования изменения параметров кинетики люминесценции КТ разных фракций была проанализирована зависимость характерного времени затухания люминесценции от длины волны регистрации (рис. 4).

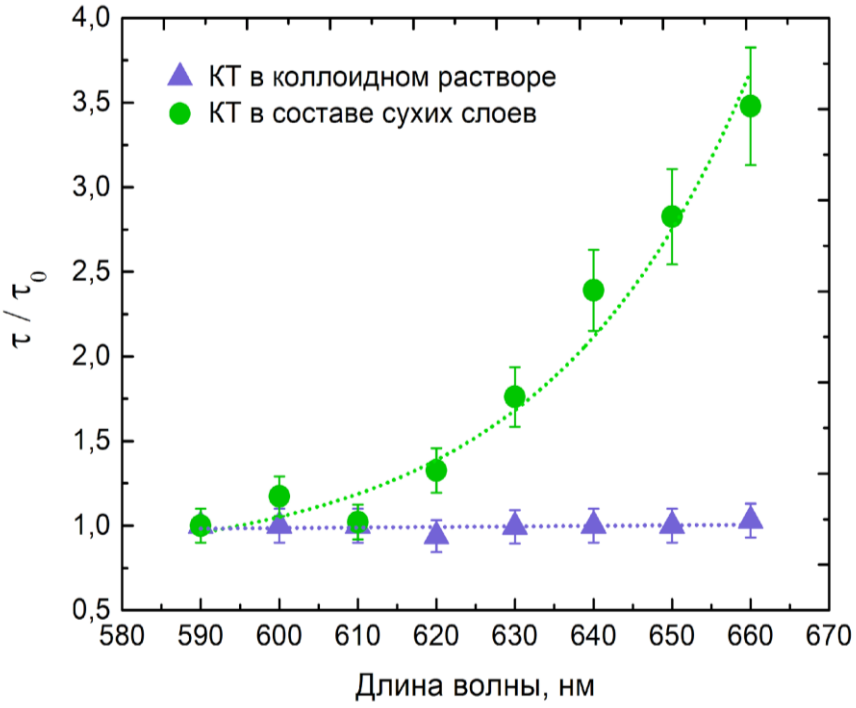


Рис. 4. Нормированное средневзвешенное значение времени затухания люминесценции КТ в зависимости от длины волны люминесценции

Как можно видеть из рис. 4, для КТ в коллоидном растворе не наблюдается изменения времени затухания, в то время как для сухих слоев КТ можно отметить увеличение характерного времени затухания более чем в 3 раза. Полагая, что безызлучательный перенос энергии между КТ является основным каналом релаксации фотовозбуждения в сухих слоях, данный результат можно связать с изменением времени затухания донора в присутствии акцептора. Передача энергии от КТ меньшего размера к КТ большего размера будет сопровождаться тушением люминесценции донорной фракции и ее возгоранием для соответствующей акцепторной фракции, что отразится на времени жизни их люминесцентного состояния.

Выводы

В результате данной работы были выявлены основные закономерности изменения кинетики люминесценции КТ при переходе от коллоидного раствора к сухим слоям. Показано, что в многослойных структурах КТ наблюдается уменьшение среднего времени затухания люминесценции всего ансамбля. Также была проанализирована кинетика люминесценции КТ отдельных фракций, продемонстрировано, что в сухих слоях КТ наблюдается появление ярко-выраженной зависимости характерного времени затухания от длины волны люминесценции. Полученные результаты могут свидетельствовать об увеличении эффективности безызлучательных процессов при формирования сухих слоев, в частности, возникновению переноса энергии между КТ различных размеров.

Литература

1. Ekimov A.I., Efros A.L., Onushchenko A.A. Quantum size effect in semiconductor microcrystals // Solid State Communications. 1985. V. 56. №. 11. P. 921–924.
2. Karakoti A.S., Shukla R., Shanker R., Singh S. Surface functionalization of quantum dots for biological applications // Advances in Colloid and Interface Science. 2015. V. 215. P. 28–45.
3. García de Arquer F.P., Talapin D.V., Klimov V.I., Arakawa Y., Bayer M., Sargent, E.H. Semiconductor quantum dots: Technological progress and future challenges // Science. 2021. V. 373. №. 6555. P. 8541.
4. Litvin A.P., Martynenko I.V., Purcell-Milton F., Baranov A.V., Fedorov A.V., Gun'Ko Y.K. Colloidal quantum dots for optoelectronics // Journal of Materials Chemistry A. 2017. V. 5. №. 26. P. 13252–13275.
5. Schlegel G., Bohnenberger J., Potapova I., Mews A. Fluorescence decay time of single semiconductor nanocrystals // Physical Review Letters. 2002. V. 88. №. 13. P. 137401.
6. Nirmal M. et al. Fluorescence intermittency in single cadmium selenide nanocrystals // Nature. 1996. V. 383. №. 6603. P. 802–804.
7. Kagan C.R., Murray C.B., Bawendi M.G. Long-range resonance transfer of electronic excitations in close-packed CdSe quantum-dot solids // Physical Review B. 1996. V. 54. № 12. P. 8633.
8. Samokhvalov P., Artemyev M., Nabiev I. Basic principles and current trends in colloidal synthesis of highly luminescent semiconductor nanocrystals // Chemistry–A European Journal. 2013. V. 19. №. 5. P. 1534–1546.
9. Kolesova E.P., Orlova A.O., Maslov V.G., Gun’ko Y.K., Cleary O., Baranov A.V., Fedorov A.V. Photoinduced processes in hybrid structures on the basis of TiO2 nanoparticles and CdSe/ZnS quantum dots // Optics and Spectroscopy. 2017. V. 122. №. 1. P. 106–109.
10. Segets D. Analysis of particle size distributions of quantum dots: From theory to application // KONA Powder and Particle Journal. 2016. P. 2016012.

УДК 53. 534.13

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВИБРИРУЮЩЕГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

В.А. Смирнов, М.К. Бузаков, Д.В. Сенникова, А.А. Молодцова
Научный руководитель – к.ф.-м.н. Н.А. Олехно
Университет ИТМО
e-mail: v.smirnov@metalab.ifmo.ru

Аннотация
Большие скопления частиц, каждая из которых может преобразовывать внутренние запасы энергии в механическое движение, демонстрируют ряд интересных эффектов и являются предметом исследования физики активной материи. Одной из популярных платформ для экспериментальной реализации таких систем являются скопления движущихся роботов, простейший вариант которых – роботы с вибромоторами. В данном проекте мы детально исследуем динамику одного такого робота, реализованного в рамках разработки новой платформы в университете ИТМО, чтобы в дальнейшем исследовать физику скоплений из большого числа подобных роботов. В частности, мы анализируем упрощенное теоретическое описание движения робота, происходящего за счёт преобразования вибрации электромотора эластичными щетинками, расположенными в нижней части робота, и сравниваем предсказания такой модели с экспериментальными измерениями угловой скорости вращения роботов, а также исследуем спектр частот и профили вибраций робота в зависимости от активности его вибрации.

Ключевые слова
Робот, вибробот, активная материя, вибрация, акселерометр, дискретное преобразование Фурье, механика твёрдого тела, резонанс.

Активная материя (от английского active matter) – одно из интенсивно развивающихся направлений современной физики, изучающее свойства систем, структурные элементы которых могут преобразовывать внутренние запасы энергии в механическое движение и которые можно описывать как единую среду. Такие системы бывают как естественные, например, колонии бактерий, плотные косяки рыб или толпы людей, так и искусственные, например, в виде коллоидных микрочастиц.

Одной из распространённых платформ для экспериментальной реализации систем активной материи являются скопления роботов. Такая платформа позволяет в широких пределах управлять параметрами отдельных частиц, реализуя их различные геометрии и законы движения, и, как следствие, наблюдать различную физику при коллективном взаимодействии роботов. Например, в литературе рассматриваются реализации скоплений медленно перемещающихся роботов, ведущих себя подобно биологическим тканям [1], быстро перемещающихся и заключенных в подвижный барьер [2] или вращающихся вокруг своей оси и демонстрирующих появление коллективного движения вдоль края жесткого барьера [3]. Наиболее популярным и простым для реализации типом движущихся роботов являются вибрирующие роботы с щетинками в нижней части (так называемые bristle-bots, от англ. bristles – щетинки, bots – роботы) [4]. В таких роботах вибрация мотора преобразуется в поступательное либо вращательное движение эластичными щетинками, расположенными под углом к поверхности, на которой движутся роботы. В этой работе на рис. 1(а) мы рассматриваем систему из таких роботов, и детально исследуем свойства одного робота на рис. 1(б).

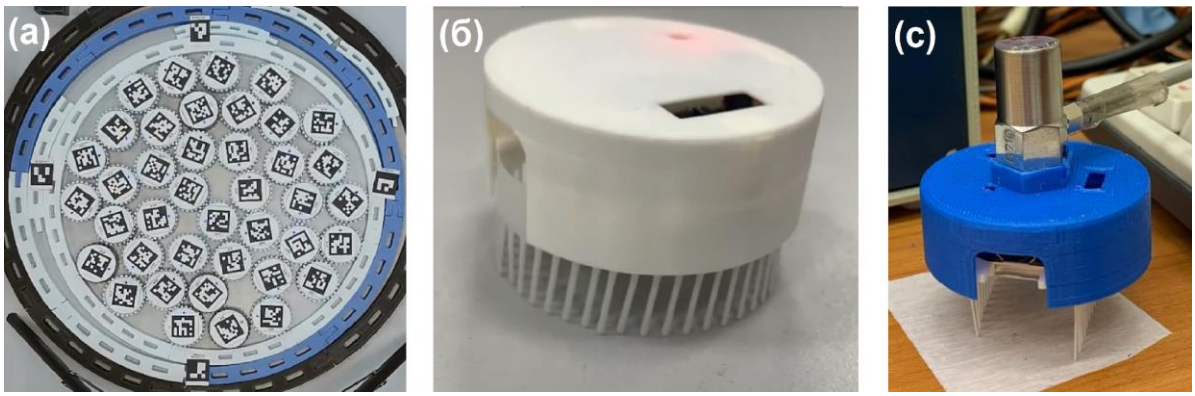


Рис. 1. (а) Пример системы активной материи на основе скопления вибрирующих роботов (Мария Бакина / ИТМО). (б) Фотография отдельного робота. (с) Фотография робота со специальной крышкой для крепления акселерометра, используемой при измерении вибрации

Параметры исследуемого объекта

Исследуемый объект, которым является единичный робот, состоит из платы с вибромотором QX-6A, микроконтроллером ATTiny13, ИК-фотоприемником и необходимой для их функционирования электроникой, а также аккумулятора и корпуса, изготовленного из PLA-пластика на 3D-принтере Raise 3D. Корпус включает крышку диаметром d=5.5 см и основание, к которому параллельно друг другу крепятся ножки, в виде полосок из щетинок, наклоненных под углом α к плоскости основания робота (и, соответственно, плоскости стола, на котором движется робот).

Исследование вибрации роботов

Одна из ключевых характеристик, определяющих параметры движения робота – это частота его вибрации. Так как вибрирующий робот представляет из себя сложную колебательную систему, аналитическое определение частоты его вибрации представляет из себя отдельную трудоемкую задачу. Поэтому мы решили определить частоту колебаний робота опытным путём. Экспериментально мы получили зависимость вертикального ускорения робота от времени, после чего применили к нему дискретное преобразование Фурье, широко применяемое в алгоритмах цифровой обработки сигналов, а также в других областях, связанных с анализом частот в дискретном сигнале. Оно позволяет получить спектральное представление исходной временной зависимости и записывается как

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} \quad x_n e^{\frac{-2\pi i}{N} nk},$$

где x_n – отсчеты сигнала во временном представлении, занумерованные индексом n, X_k гармоники сигнала в частотном представлении, занумерованные индексом k, а N полное число отсчетов в сигнале. Для выполнения дискретного преобразования Фурье мы использовали функцию fft в программном пакете MATLAB, в которой применяется автоматическая фильтрация шумов.

Для получения зависимости амплитуды ускорения вибрирующего робота от времени использовался акселерометр IMVVP-4200, для крепления которого на робота мы разработали и напечатали специальную крышку, представленную на рис. 1(с). Для каждого робота была измерена зависимость ускорения от времени (рис. 2) на протяжении одной минуты для более точного определения частот основных гармоник робота. Как видно из графика, зависимость ускорения робота от времени носит периодический, но

не гармонический характер, что подтверждает предположение о сложном характере колебаний вибрирующего робота.

На рис. 3 приведены спектральные представления колебаний некоторых роботов. Чётко прослеживается главная гармоника с частотой $f_1 \approx 90$ Гц, слабо меняющейся от робота к роботу – она отражает частоту вибрации мотора. Также заметны побочные гармоники, основная часть которых находится в окрестности удвоенных частот $f_2 = 2f_1$. Отличия в побочных гармониках могут быть вызваны неидеальностью компонентов робота и его сборки.

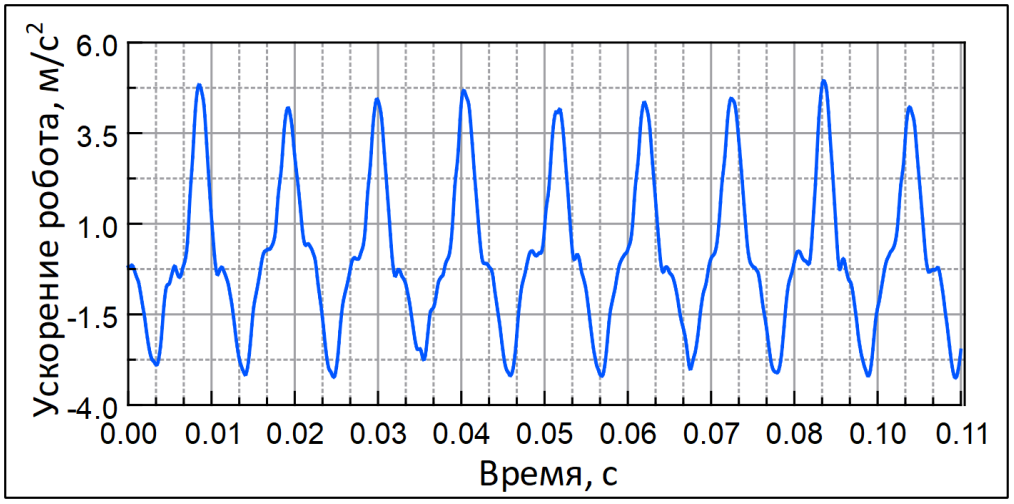


Рис. 2. Временная зависимость вертикальной компоненты ускорения робота

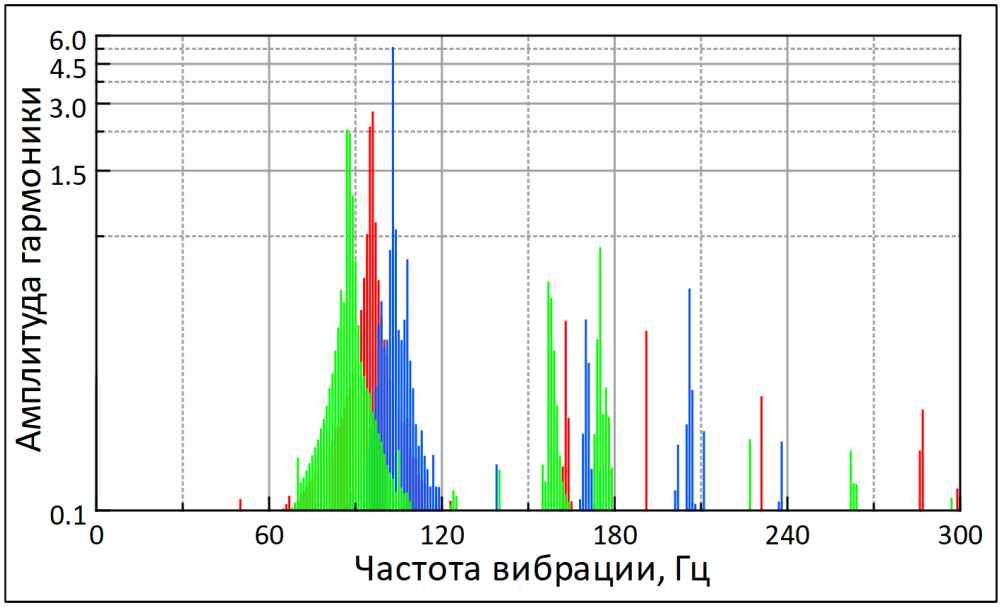


Рис. 3. Спектр колебаний для роботов с номерами 1 (красный), 2 (синий) и 5 (зелёный) – после фильтрации шумов

Обзор теоретической модели движения робота

Исследование динамики реального вибрирующего робота является сложной задачей, однако в литературе существуют различные упрощенные модели движения подобных роботов [4]. В первом приближении, робот состоит из мотора с эксцентриком и ряда щетинок, закрепленных на основании робота на рис. 4 (а). Цикл работы мотора состоит из следующих этапов:

1. Эксцентрик m движется из точки 1 в точку 2. Под действием возрастающей вертикальной силы наклонные щетинки сгибаются.
2. Максимум изгиба щетинок достигается при прохождении эксцентриком точки 2.
3. Перемещение эксцентрика из точки 2 в точку 1 вызывает разгибание щетинок, при котором они выталкивают робота вперёд.
4. Как только эксцентрик достигает точки 1, щетинки полностью разгибаются, после чего цикл начинается заново.

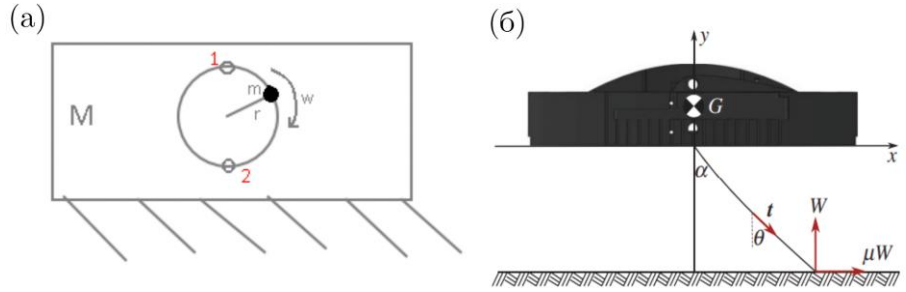


Рис. 4. (а) Устройство вибрирующего робота. В используемых обозначениях M – масса робота, m – масса эксцентрика, r – эффективный радиус вращения эксцентрика, ω – угловая частота вращения мотора. (б) Схема сил, которые действуют на кончик щетинки, расположенной под углом α к плоскости основания робота, включая силу реакции опоры W, силу трения μW и силу натяжения t, действующую на участок щетинки, локально изогнутый на угол θ [4]

Рассматривая щетинки робота как невесомые упругие стержни, в рамках используемой модели можно получить выражение, связывающее параметры системы и смещение робота за один оборот мотора [4]:

$$\Delta x = \Delta_0 - 2L\,sin\,sin\,(arctan\,arctan\,\mu\,\left[\frac{E(m_+)}{k_+} - \frac{E(m_-)}{k_-}\right]), \qquad (1)$$

где L – длина щетинки, μ – коэффициент трения щетинки о поверхность, индексы ± обозначают момент наибольшего сгибания и распрямления щетинок соответственно,

$$k_\pm = \frac{Mg \pm mr\omega^2}{EI/L^2}\sqrt{1+\mu^2},$$

где E – модуль упругости материала щетинки, I – момент инерции её поперечного сечения, M - масса робота, а m – масса эксцентрика. Параметр $m_\pm$ определяется решением следующего уравнения:

$$sin\,sin\,\tfrac{1}{2}(\alpha + arctan\mu) = m_\pm sn(K(m_\pm) - k_\pm, m_\pm)\,, \qquad (2)$$

в котором $\Delta_0 = x_0(k_+) - x_0(k_-)$ – разность возникающих в процессе получения результирующего выражения констант интегрирования:

$$x_0(k_\pm) = 2L\left(cos\,cos\,(\varphi)\,\frac{m_\pm}{k_\pm}\cdot cn(K(m_\pm) - k_\pm, m_\pm) + \right.$$
$$\left. + sin\,sin\,(\varphi)\,\frac{1}{k_\pm}E(am(K(m_\pm) - k_\pm, m_\pm), m_\pm)\right)$$

В полученном выражении $K(m_{\pm})$, $E(m_{\pm})$ – полные эллиптические интегралы первого и второго рода, соответственно, sn, cn, am – эллиптические функции Якоби: эллиптический синус, эллиптический косинус и эллиптическая амплитуда, соответственно.

Для вращающегося робота линейное смещение точки на границе робота происходит вследствие вращательного движения вокруг его центра. Вычисляя соответствующий малый поворот за один такт вибрации мотора, получаем следующее соотношение:

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}\frac{\Delta x}{R}, \tag{3}$$

где ν – угловая скорость вращения робота, R – радиус корпуса робота, ω – частота вибрации робота, а Δx – смещение за цикл.

Таким образом, из результирующего выражения (3), а также формул (1) и (2) следует зависимость скорости вращения робота ν от угла наклона его щетинок α и эффективного коэффициента трения щетинок робота о поверхность μ. (рис. 5).

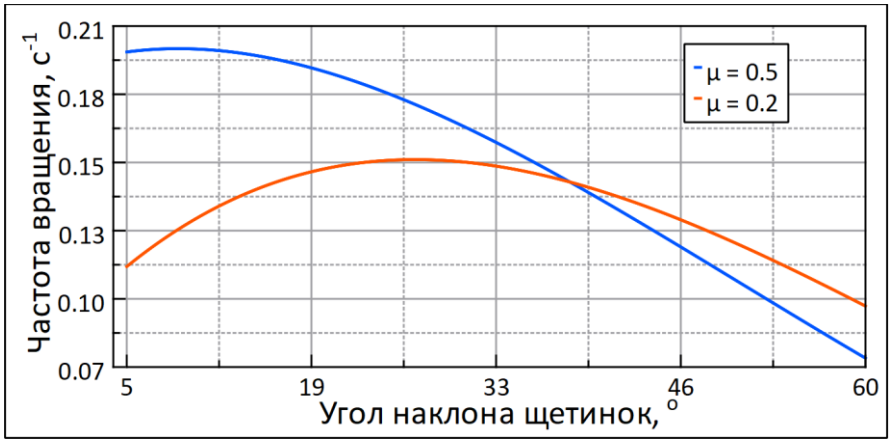


Рис. 5. Теоретические зависимости частоты вращения робота
от угла наклона щетинок при различных коэффициентах трения

Проверка теоретической зависимости

С помощью экспериментально полученной зависимости скорости вращения роботов от угла наклона щетинок была проверена применимость принятой модели к реальному роботу. Для этого были напечатаны 10 вариантов щетинок с углами наклона в диапазоне от 5° до 14°. Для каждого вида щетинок по пяти повторяющимся экспериментам была измерена и усреднена скорость вращения робота на рис. 6(а). Зависимость имеет выраженный максимум при угле наклона щетинок от 9 до 10 градусов.

Характерный размер неровностей стола сопоставим с толщиной щетинки, из-за чего щетинка может застревать в этих неровностях, и эффективный коэффициент трения щетинки о стол может значительно превосходить коэффициент трения скольжения для бруска из того же материала (пластик PLA для 3D-печати) на столе. Прямое измерение последнего коэффициента динамометром показывает значение порядка 0,2.

Из рис. 5 видно, что максимум теоретической зависимости частоты вращения робота от угла наклона щетинок действительно зависит от выбранного коэффициента трения. Опытным путём было установлено, что при значении $\mu_{эфф}$≈0,6 максимум теоретической зависимости находится в интервале от 9 до 10 градусов (рис. 6(б)), что соответствует экспериментальным значениям.

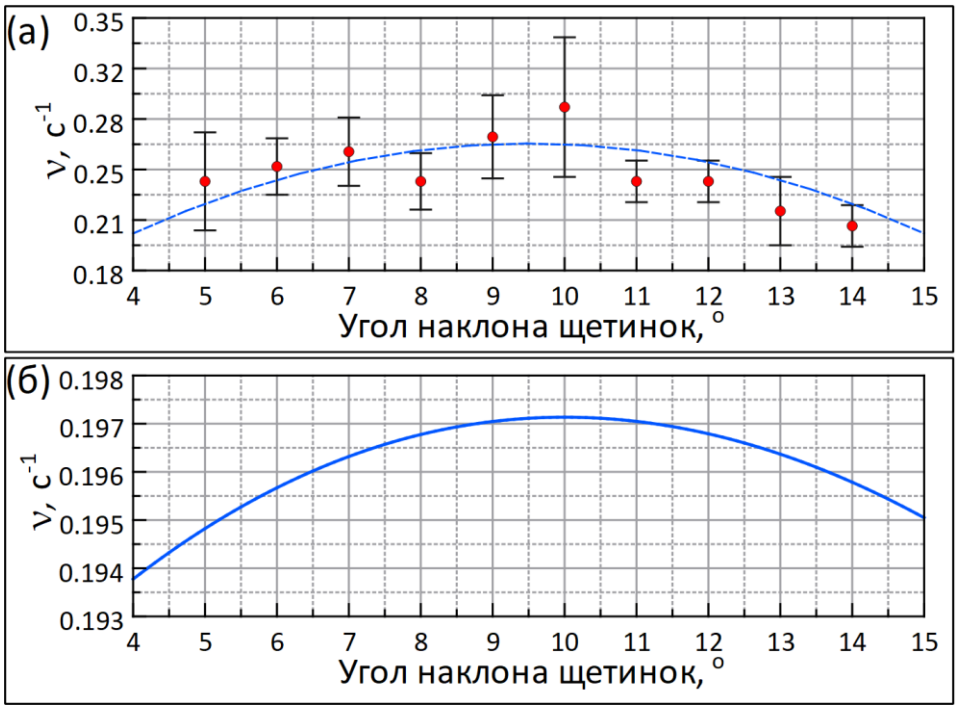


Рис. 6. (а) Экспериментальная зависимость частоты вращения от угла наклона щетинок. (б) Теоретическая зависимость частоты вращения от угла наклона щетинок при значении коэффициента трения 0.57

Результаты и выводы

В работе мы исследовали зависимость частоты вращения вибрирующего робота от параметров, определяющих поведение системы. В ходе измерений мы установили основную частоту вибрации робота, определили, при каком угле наклона щетинок скорость вращения робота максимальна, и на основании простой теоретической модели определили эффективный коэффициент трения ножек вибрирующего робота о поверхность испытательного стола.

Литература

1. Slavkov I., Carrillo-Zapata D., Carranza N., Diego X., Jansson F., Kaandorp J., Hauert S., and Sharpe J. Morphogenesis in robot swarms // Science Robotics. 201. V. P. 25.
2. Boudet J.F., Lintuvuori J., Lacouture C., Barois T., Deblais A., Xie K., Cassagnere S., Tregon B., Brückner D.B., Baret J.C. and Kellay H. From collections of independent, mindless robots to flexible, mobile, and directional superstructures // Science Robotics. 2021. V. 6. P. 56.
3. Xiang Yang, Chenyang Ren, Kangjun Cheng, and Zhang H.P. Robust boundary flow in chiral active fluid // Physical Review E. 2020. V. 101. P. 022603.
4. Giomi L., Hawley-Weld N. and Mahadevan L. Swarming, swirling and stasis in sequestered bristle-bots // Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2013. V. 469. P. 20120637.

УДК 535.8

ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ОПТИЧЕСКИМИ АТЕРИАЛАМИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНЫМ СТЕКЛОМ

И.П. Тарасов, С.А. Иванов
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Н.В. Никоноров
Университет ИТМО
e-mail: iptarasov@gmail.com

Аннотация
В работе представлен обзор структурных изменений получаемых в объеме оптических материалов при воздействии фемтосекундного лазерного излучения. Отмечены перспективы записи оптических элементов в фото-термо-рефрактивном стекле.
Ключевые слова
ФТР стекло, оптические материалы, фемтосекундный лазер, взаимодействие фемтосекундного лазерного излучения с материалом, структурные изменения, модификация материалов.

Достижения в области лазерных технологий привели к созданию лазеров, способных излучать ультракороткие импульсы с фемтосекундной длительностью, что произвело прорыв в обработке лазерных материалов и открыло новые возможности для разработки оптических и фотонных устройств. В последние десятилетия активно развиваются технологии, связанные с использованием фемтосекундных лазерных систем.

Особенностями использования фемтосекундных лазерных систем является возможность фокусировки лазерного излучения в объеме материала, получение высоких пиковых интенсивностей в результате которых возможно появление структурных изменений в материалах. Используя фемтосекундные лазеры, можно получить трехмерные оптические структуры, например, оптические волноводы, рис. 1. Широко изучено воздействие фемтосекундного лазерного излучения с силикатными стеклами [1].

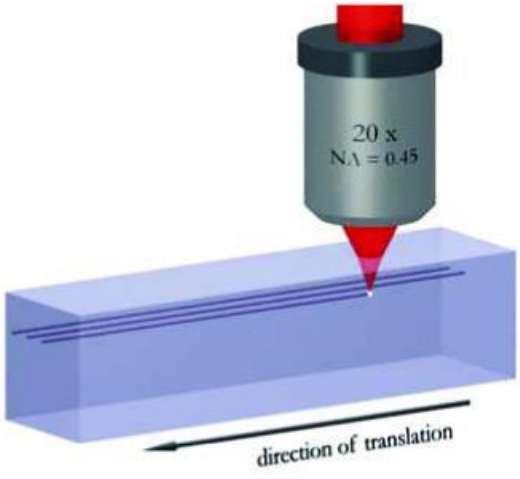


Рис. 1. Фокусировка фемтосекундного излучения в объеме материала [1]

На данный момент хорошо изучены три типа изменений, которые можно получать с помощью фемтосекундного лазерного излучения в объеме материала. К ним относятся: изотропное изменение показателя преломления, изменение показателя преломления за счет двулучепреломления и оптические пустоты. На рис. 2а изображена фокусировка фемтосекундного лазерного излучения в объеме материала. По мере увеличения интенсивности лазерного излучения в фокальном объеме материала инициируется поглощение за счет нелинейной полевой ионизации (многофотонное поглощение и туннельная ионизация) и лавинной ионизации, в котором один электрон получает энергию от лазерного поля и ионизирует ударом дополнительный электрон рис. 2b. Нелинейное поглощение приводит к созданию электронно-ионной плазмы, которая локализована в фокальном объеме рис. 2c. В результате происходит появление необратимых структурных изменений в материале в результате рекомбинации плазмы рис. 2d [2].

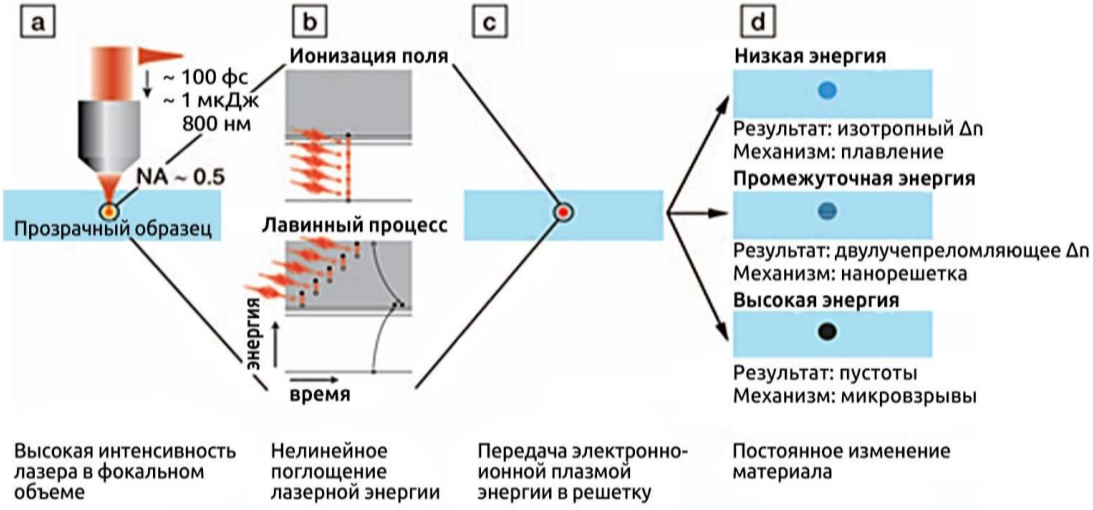


Рис. 2. Этапы структурных изменений, вызванных фемтосекундным лазерным излучением в объеме оптических материалов

Изотропные изменения показателя преломления, наблюдаемые при энергии, близкой к пороговой, объясняются локализованным плавлением и быстрым повторным затвердеванием материала. В плавленом кварце плотность и показатель преломления материала выше, если стекло закаляется при более высокой температуре. При облучении плавленого кварца повышается плотность и образуется более высокий показатель преломления в облучаемой области, чем в не облученной области. Изотропные изменения показателя преломления при записи оптических волноводов исследованы в работах К. Дэвиса [3]. Для разработки методов создания оптических устройств для телекоммуникации автор и его группа исследовали воздействие фемтосекундного лазерного излучения с длиной волны 810 нм на различные материалы. В кварцевых стеклах за счет исследования доз облучения удалось увеличить показатель преломления на 0,01–0,035.

Механизм образования нано-решеток объясняется интерференцией между фемтосекундным лазерным полем и электрическим полем объемных электронных плазменных волн в лазерной плазме.

Возникновение пустот объясняется высокими энергиями и взрывным расширением возбужденного материала в фокальном объеме. Получение различных типов структурных изменений зависит от таких параметров как: длительность импульса, длина волны, энергия и частота повторения импульсов, материала, числовой апертура объектива.

Особый интерес для исследований по взаимодействию фемтосекундного лазерного излучения с материалом представляет фото-термо-рефрактивное стекло (ФТР), разработанное в ГОИ им. Вавилова на базе полихромных стекол, синтезированных в компании Corning в 1977г. Механизм кристаллизации ФТР стекла представлен на рис. 3. Особенностью ФТР стекла является изменение показателя преломления. На первом этапе УФ облучение приводит к фотоионизации ионов церия и захвату освободившихся электронов ионами сурьмы рис. 3a. Термообработка облученного стекла приводит к освобождению электрона сурьмой и захватом его серебром с образованием молекулярных кластеров рис. 3b.

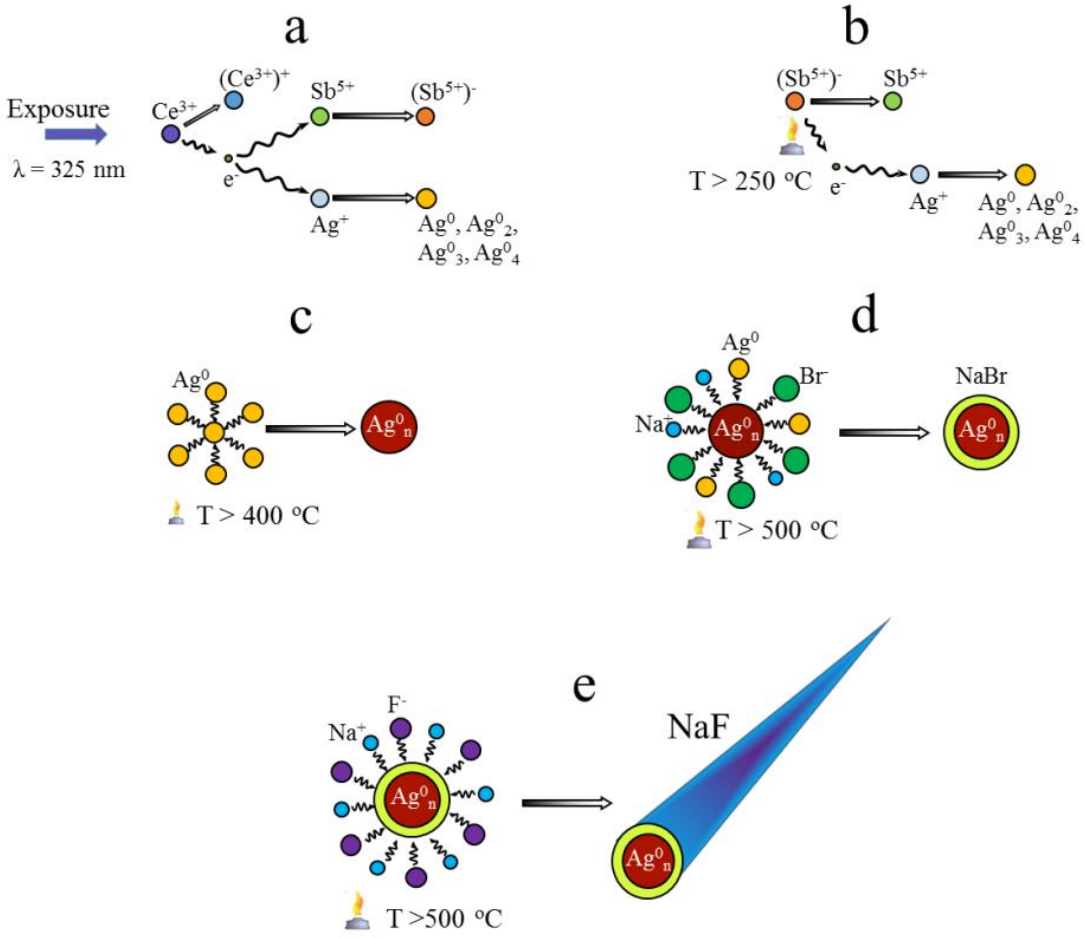


Рис. 3. Механизм работы ФТР стекла

Последующая термообработка при температурах выше 400 °C ведет к выделению наночастиц серебра, обладающих поверхностным плазмонным резонансом рис. 3d. Нагрев стекол выше температуры стеклования приводит к росту оболочки из бромида серебра на наночастицах серебра, а затем к росту на ней нанокристаллов фторида натрия рис. 3e [4].

На сегодняшний день ФТР стекло является коммерчески применяемым. На его базе создаются такие оптические элементы как: фильтры для улучшения пространственных характеристик пучка, дефлекторы оптического излучения, селективные зеркала, узкополосные фильтры, чирпированные решетки, комбайнеры лазерного излучения. Исследование воздействия фемтосекундного лазерного излучения с ФТР стеклом позволит расширить область применения материала и создать такие элементы как: волноводные структуры, голографические решетки и устройства типа Lab on a Chip.

Литература

1. Blomer D., Burghoff J., Schreiber T., Pertsch T., Nolte S., Tunnermann A., Lederer F. Discrete nonlinear localization in femtosecond laser written waveguides in fused silica // OPTICS EXPRESS. 2005. Vol. 13, №. 26. P. 10552-10557.
2. Itoh K. et al. Ultrafast Processes for Bulk Modification of Transparent Materials // MRS Bull. 2006. Vol. 31, № 8. P. 620–625.
3. Davis K., Miura K, Sugimoto N, Hirao K. Writing waveguides in glass with a femtosecond laser. Opt Lett. 1996. Vol.1; №21. P.1729-1731.
4. Nikonorov, N.V. Influence of glass composition on the refractive index change upon photothermoinduced crystallization / N.V. Nikonorov, E.I. Panysheva, I.V. Tunimanova // Glas. Phys. Chem. 2001. V. 27. No. 3. P. 241–249.

УДК 537.86

ПЕРОВСКИТНЫЕ ШАХМАТЫ: СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ «ОДИН-КО-МНОГИМ»

Т.А. Филимонова, П.А. Смирнов
Научный руководитель – к.т.н., с.н.с. П.В. Капитанова
Университет ИТМО
e-mail: t.filimonova@metalab.ifmo.ru

Аннотация
В данной работе были созданы перовскитные шахматы – система беспроводной передачи энергии «один-ко-многим», соответствующая частотному диапазону беспроводной зарядки Qi и обеспечивающая одновременное питание не менее 30 приемных устройств. Для создания передатчика с данными параметрами был разработан метод оптимизации распределения витков плоской спиральной катушки, который позволяет создавать равномерное распределение ближнего магнитного поля для подачи одинаковой мощности на все приемники.
Ключевые слова
Беспроводная передача энергии, спиральная катушка, резонансная связь, магнитное поле, квантовые точки.

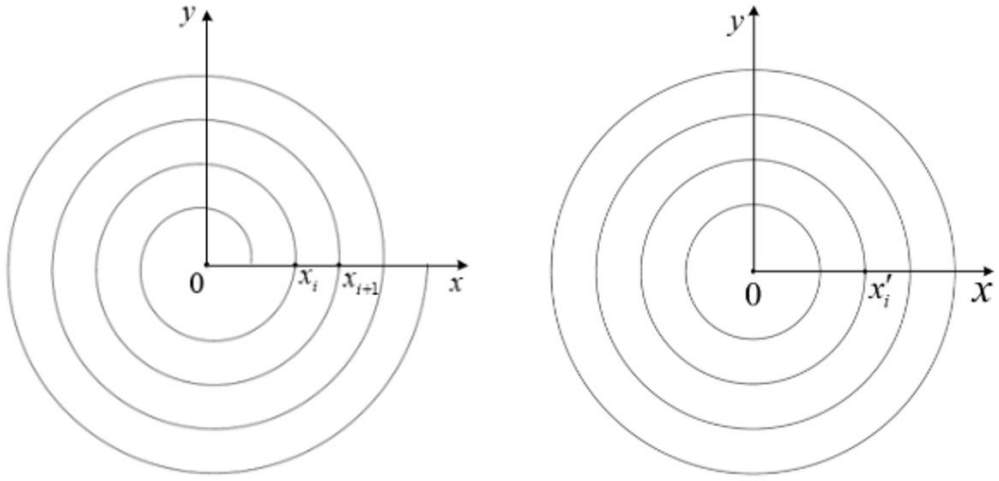
В настоящее время беспроводная передача энергии (БПЭ) является перспективным направлением радиотехники и находит большой отклик в различных сферах: от потребительской электроники и интернета вещей до медицинских имплантов и промышленной техники. Уже широко известны и активно используются системы БПЭ от одного источника к одному приемнику [1]. Однако, не так хорошо развиты системы «один-ко-многим», в которых передача энергии осуществляется от одного источника одновременно к нескольким приемникам. Это накладывает ограничения на потенциальные сценарии использования систем БПЭ или приводит к некоторым неудобствам. Многие ученые работают над решением этой проблемы, например, в [2] показана система БПЭ, способная передавать энергию одновременно трем приемникам. Однако, на данный момент нет универсального решения задачи передачи энергии от одного источника к произвольному количеству приемников. Главной проблемой в разработке систем «один-ко-многим» является обеспечение высокой эффективности, устойчивой к изменению состояния системы в процессе работы, а конкретно изменению количества приемников и их расположения на передатчике. Так, в [3] показана система БПЭ, работающая в мегагерцовом диапазоне частот, способная обеспечить различную мощность целевой нагрузки и поддерживать высокую эффективность системы при различных комбинациях и положениях приемников. Но в данной работе показана система только с тремя приемниками. Одним из наиболее важных препятствий в создании системы БПЭ «один-ко-многим» является неравномерное распределение магнитного поля передающей катушки, от чего принимаемая приемниками мощность может заметно отличаться в зависимости от положения приемника на передатчике из-за изменения коэффициента связи. Для решения этой проблемы ранее был предложен резонатор, вдохновленный метаповерхностью, представленный в [4]. Однако, недостатком такого решения является сложность конструкции и невозможность изменять форму передатчика в зависимости от его приложений. В нашей работе мы предлагаем алгоритм оптимизации распределения витков классической планарной спиральной катушки с целью получения равномерного распределения магнитного поля, отвечающего за перенос энергии. Это позволит создавать передатчики беспроводной

энергии с постоянным ближним полем для различных сценариев использования с большим количеством приемников.

Нами была поставлена цель разработать аналитическую модель планарной спиральной передающей катушки. Известно, что магнитное поле, создаваемое проводником с током любой сложности в формы, может быть рассчитано путем сложения вкладов от бесконечно малых его частей. Поле кольца с током с высокой точностью может быть рассчитано с помощью упрощенных замкнутых уравнений, содержащих полные и неполные эллиптические интегралы [5]. Плоская спиральная катушка, изображенная на рис. 1(а) может быть представлена в виде набора концентрических колец с током с радиусами:

$$x_i' = \frac{x_i + x_{i+1}}{2},$$

где x_i и x_{i+1} – минимальное и максимальное расстояние i-го витка катушки от ее центра. Эквивалентная модель катушки представлена на рис. 1(б).



а) б)

Рис. 1. Планарная спиральная катушка: а) геометрия катушки, б) эквивалентная модель

Нормальная к плоскости катушки компонента магнитного поля каждого отдельного круглого витка с током может быть рассчитана по следующей полуаналитической формуле:

$$B_z^i = \frac{C}{2\alpha^2\beta}\left[\left(x_i'^2 - r^2\right)E(k^2) + \alpha^2 K(k^2)\right],$$

где $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$, $\alpha^2 = x_i'^2 + r^3 - 2x_i'\rho$, $\beta^2 = x_i'^2 + r^2 + 2x_i'\rho$, $C = \mu_0 I/\pi$, $k^2 = 1 - \alpha^2/\beta^2$, $\alpha^2 = x_i'^2 + r^3 - 2x_i'\rho$, $\rho^2 = x^2 + y^2$, E(k^2) и K(k^2) – эллиптические интегралы первого и второго рода соответственно.

Для расчета магнитного поля многовитковой катушки необходимо сложить вклады от каждого из витков.

Алгоритм расчета магнитного поля был реализован на языке программирования Python. Была рассчитана нормальная компонента магнитного поля многовитковой

спиральной катушки с эквидистантным расположением витков. Результаты представлены на рис. 2.

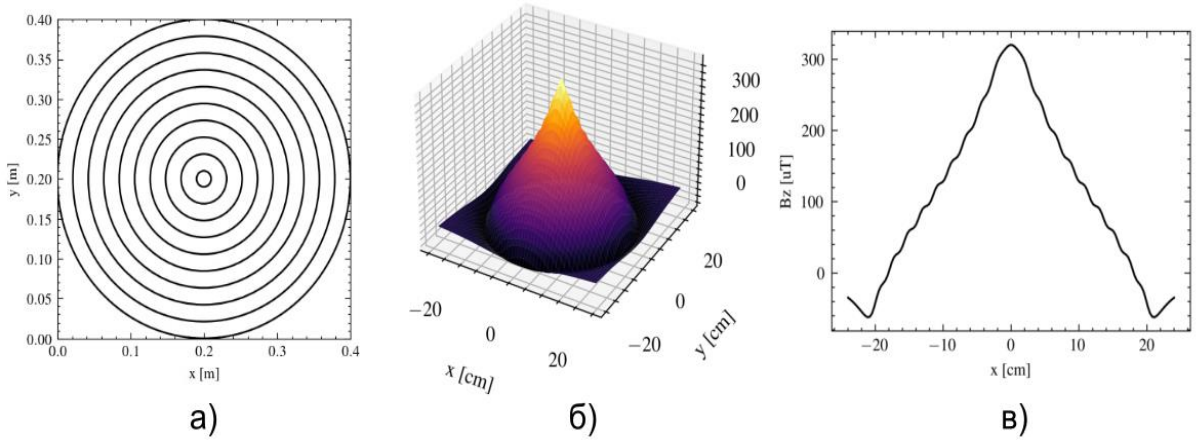


Рис. 2. Нормальная компонента индукции магнитного поля многовитковой катушки:
а) модель катушки, б) объемный график, б) в сечении Oxz

Как видно из рис. 2(б), в центре катушки располагается максимум, а ближе к краям катушки поле стремительно затухает. Таким образом, можно сделать вывод, что такая спиральная катушка не может быть использована для БПЭ «один-ко-многим».

Необходимо оптимизировать распределение витков таким образом, чтобы поле над всей поверхностью передающей катушки было равномерным. В качестве параметра оптимизации выберем коэффициент вариации, который является количественной оценкой неоднородности поля в определенной области и определяется как отношение среднеквадратического отклонения напряженности магнитного поля в этой области к его среднему значению:

$$CoV = \frac{СКО}{\text{Среднее}} = \frac{\sigma}{\mu}.$$

С помощью этой формулы мы получаем безразмерную величину, характеризующую неравномерность распределения магнитного поля в определенной области катушки. Чем меньше значение коэффициента вариации, тем амплитуда поля распределена более равномерно. Для представленной на рис. 2 катушки CoV = 69%.

Далее была проведена оптимизация распределения проводников с помощью генетического алгоритма со следующими параметрами: максимальное количество поколений – 30; количество индивидуумов в популяции – 50; длина подлежащей оптимизации битовой строки – 100; число индивидуумов популяции для турнирного отбора – 4; вероятность скрещивания – 0,4, мутации – 0,04. Полученная схема распределения проводников представлена на рис. 3(а), и соответствующее ему магнитное поле представлено на рис. 3(б,в). Видно, что поле оптимизированной катушки стало более равномерным. При этом CoV уменьшился до 6%.

После создания алгоритма оптимизации магнитного поля передающей катушки нами была реализована демонстрационная система БПЭ «один-ко-многим», оформленная в виде шахматной доски. В первую очередь был применен полученный алгоритм для оптимизации распределения витков передатчика размером 45 см х 45 см, работающего по принципу последовательной магнитного-резонансной связи на частоте 230 кГц, что соответствует стандарту беспроводной зарядки Qi. Данный передатчик способен питать не менее 30 приемников единовременно. После отладки устройства передатчик помещается в корпус шахматной доски.

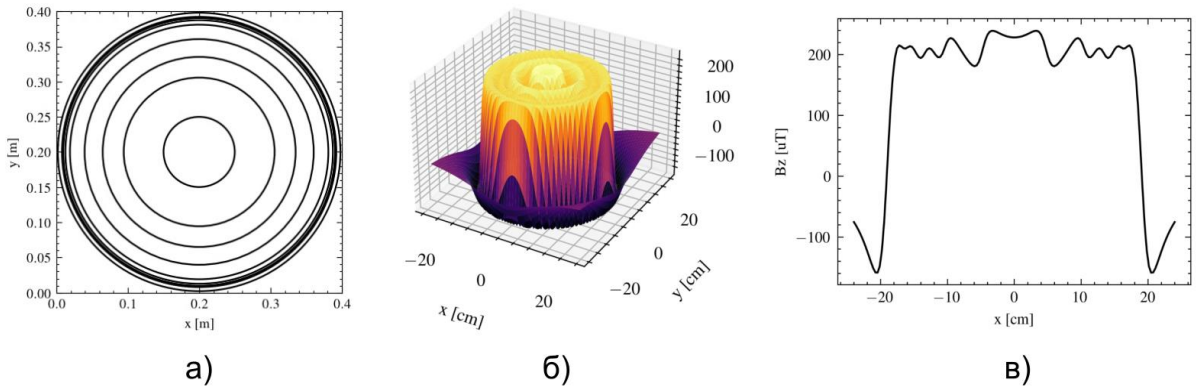


Рис. 3. Нормальная компонента индукции магнитного поля оптимизированной многовитковой катушки: а) модель катушки, б) объемный график, б) в сечении Oxz

Кроме того, в настоящее время в стадию индустриального применения начинают входить различные перовскитные материалы, которые, например, используются в высокоэффективных светоизлучающих устройствах. Было экспериментально продемонстрировано, что перовскитные квантовые точки (ПКТ) из цезиевого перовскита поглощают ультрафиолет (УФ) и переизлучают его в видимом диапазоне. БПЭ «один-ко-многим» может являться решением проблемы облучения такого материала с инкапсулированными ПКТ за счет беспроводного питания УФ-светодиода, встроенного непосредственно внутрь него. С применением этих технологий созданы приемники, используемые в данной системе БПЭ.

Приемники представляют из себя также планарные спиральные катушки, согласованные на одну с передатчиком резонансную частоту посредством параллельного включения в цепь согласующего конденсатора. В качестве полезной нагрузки выступает УФ светодиод. Приемники в количестве 32 штук спрятаны в корпуса шахматных фигурок, напечатанных на фотополимерном принтере методом лазерной стереолитографии. В раствор для печати были помещены синтезированные ранее ПКТ составов CsPbBr3 и CsPbBr1.5Cl зеленого и синего цвета соответственно.

Таким образом, когда приемники находятся на игровом поле, энергия с оптимизированной катушки передается приемникам и поступает на УФ светодиод. ПКТ, встроенные в фигурки, поглощают ультрафиолет и переизлучают его в видимом диапазоне в синем или зеленом спектре. Когда фигурку убирают с игровой доски, ток перестает поступать, и фигурка гаснет. Готовые перовскитные шахматы показаны на рис. 4.

Рис. 4. Перовскитные шахматы

Результатом данной работы является алгоритм оптимизации распределения витков плоской спиральной катушки для получения равномерного распределения ближнего магнитного поля, обеспечивающего постоянную эффективность передачи энергии вне зависимости от количества и положения на нем приемных катушек. Для наглядной демонстрации системы БПЭ «один-ко-многим» был создан набор шахмат, в котором в корпус доски была спрятана спиральная катушка-передатчик, а приемники находятся в корпусах игровых фигурок. Энергия с приемников подается на ультрафиолетовый светодиод, который облучает инкапсулированные в корпус фигурок перовскитные квантовые точки, переизлучающие свет в видимом диапазоне.

Литература

1. Benjamin L. Cannon, James F. Hoburg, Daniel D. Stancil, Seth Copen Goldstein. Magnetic Resonant Coupling As a Potential Means for Wireless Power Transfer to Multiple Small Receivers // IEEE Transactions on Power Electronics. 2009. Т. 24. № 2. С. 1819–1825.
2. Young-Joon Kim, Dohyuk Ha, William J. Chappell, Pedro P. Irazoqui. Selective Wireless Power Transfer for Smart Power Distribution in a Miniature-Sized Multiple-Receiver System // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2016. Т. 63. № 3. С. 1853–1862.
3. Jibin Song, Ming Liu, Chengbin Ma. Analysis and Design of a High-Efficiency 6.78-MHz Wireless Power Transfer System With Scalable Number of Receivers // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2020. Т. 67. № 10. С. 8281–8291.
4. Song M., Smirnov P., Puhtina E., Zanganeh E., Glybovski S., Belov P., Kapitanova P. Multi-mode metamaterial-inspired resonator for near-field wireless power transfer // Applied Physics Letters. 2020. Т. 117. № 8. С. 085301.
5. Simpson J., Lane J., Immer C., and Youngquist R. Simple Analytic Expressions for the Magnetic Field of a Circular Current Loop // Recon. 2001. С. 1–3. 1829.

ХИМИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, ЗЕЛЁНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 54.056

СКРИНИНГ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ БАЛТИЙСКОГО РЕГИОНА

В.В. Ларина, А.Х. Бахтиярова, А.Д. Попов, С.А. Сухих
Научный руководитель – к.т.н., доцент С.А. Сухих
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

Аннотация
Одной из причин наблюдающихся возрастных изменений в организме человека является увеличение окислительных процессов в тканях, поэтому важным компонентов функционального питания, обладающего геропротекторным действием, должны быть антиоксиданты. Метанольные экстракты ольхи, таволги и вереска, а также водный экстракт ольхи показали высокую антиоксидантную активность по отношению к радикалам ABTS и DPPH и высокую восстанавливающую способность FRAP.
Ключевые слова
Геропротекторы, антиоксидантная активность, ABTS, DPPH, FRAP, омела белая, таволга обыкновенная, ольха серая.

Старение человека сопровождается накоплением вредных для здоровья изменений в структуре биополимеров клеток и межклеточного матрикса. Одной из важнейших причин этих изменений является интенсификация окислительных процессов в тканях, наблюдающаяся с возрастом. Препятствовать этому могут биологически активные вещества с геропротекторными свойствами, в частности вторичные метаболиты растений фенольной природы. В течение последних десятилетий такие соединения интенсивно изучаются в качестве потенциальных антиоксидантов, однако их комбинированное применение остается в значительной степени интуитивным. Поэтому в рамках данной работы был проведен скрининг различных экстрактов растений, произрастающих на территории Калининградской области, на предмет их антиоксидантного действия.

В связи с вышесказанным, в качестве объектов исследования были выбраны растения Калининградской области, которые, согласно их литературным описаниям, являются ценными источниками фенольных соединений: вереск обыкновенный (Calluna vulgaris), полынь обыкновенный (Artemísia vulgáris), омела белая (Víscum álbum), лабазник вязолистный (Filipendula ulmaria L. Maxim.), репешок аптечный (Agrimónia eupatória), валерьяна лекарственная (Valeriana officinalis L.), полынь горькая (Artemísia absínthium), золотарник обыкновенный (Solidágo virgáurea), яснотка белая (Lamium album), ольха серая (Álnus incána) (шишки), лапчатка серебристая (Potentilla argentea), сабельник болотный (Comarum palustre) [1-4].

Для анализа антиоксидантной способности на первом этапе проводилась экстракция выбранных растений. Для каждого было получено по три вида экстрактов: метанольный и этиацетатный методом Сокслета, а также водный или водно-этанольный методом мацерации. Антиоксидантную активность экстрактов растительных образцов определяли по способности улавливать свободные радикалы ABTS и DPPH, также исследовалась способность экстрактов восстанавливать ионы железа Fe^{3+}. Было установлено, что результаты трёх исследований коррелируют между собой, поэтому они представлены на рис. 1-3 на примере радикалов ABTS.

Рис. 1. Антиоксидантная активность метанольных экстрактов на примере радикалов ABTS

Рис. 2. Антиоксидантная активность этилацетатных экстрактов на примере радикалов ABTS

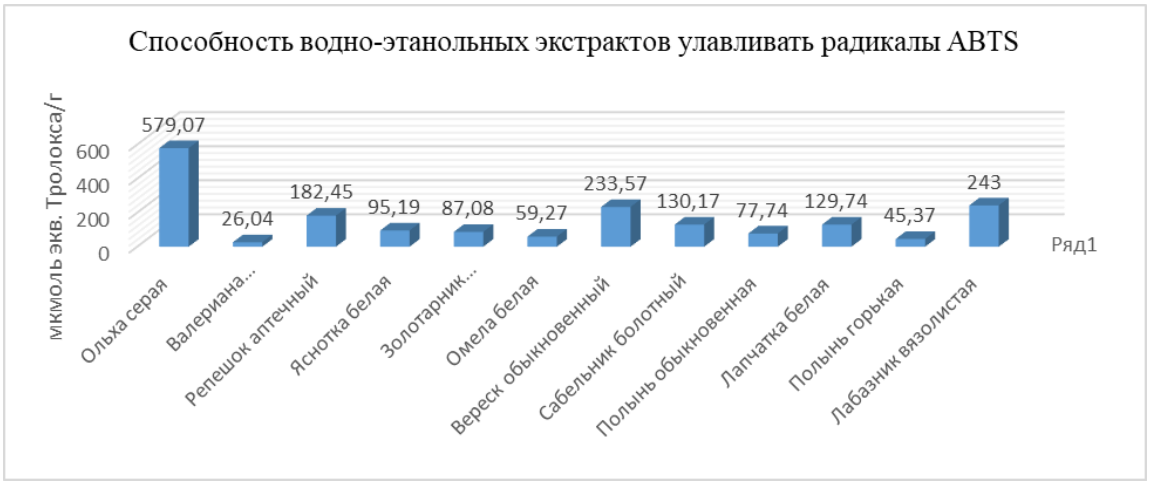


Рис. 3. Антиоксидантная активность водно-этанольных экстрактов на примере радикалов ABTS

При исследовании было обнаружено, что наибольшей способностью поглощать свободные радикалы ABTS (2,2'-азино-бис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновая кислота) обладали метанольные экстракты ольхи (1094,02 ммоль-экв. Тролокса на г растительного сырья) и лабазника (759,78±19,08 ммоль-экв. Тролокса/г). Высокие

значения антиоксидантной активности относительно радикалов ABTS показали также водный экстракт ольхи (579,07 ммоль-экв. Тролокса/г) и метанольный экстракт вереска (480 ммоль-экв. Тролокса на г растительного сырья). Кроме того, указанные экстракты проявляли значительную способность поглощать радикалы DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил), а также восстанавливать ионы железа Fe^{3+} (FRAP).

Далее стояла задача изучить содержание фенольных компонентов в наиболее активных экстрактах. Для этого использовался метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. В результате, было установлено, что метанольный и водный экстракты ольхи содержали значительные количества эллаговой кислоты. Кроме того, была идентифицирована галловая кислота. Богат фенольными компонентами оказался метанольный экстракт таволги. В этом образце были обнаружены гиперозид, эллаговая кислота, кверцетин-3D-глюкозид, лютеолин-7-глюкозид, астрагалин, катехин, хлорогеновая, галловая и кафтаровая кислоты. Метанольный экстракт вереска содержал 3,4-дигидроксибензойную кислоту, гиперозид, галловую кислоту, апигенин-7-О-глюкозид, катехин, гиперозид, кверцетин-3D-глюкозид, астрагалин, феруловую, кофейную и хлорогеновую кислоты.

Таким образом, метанольный и водный экстракты ольхи, а также метанольные экстракты таволги и вереска показали высокую антиоксидантную активность по отношению к радикалам ABTS и DPPH и высокую восстанавливающую способность FRAP. Указанные экстракты богаты различными фенольными соединениями, которые в свою очередь обладают целым спектром геропротекторных свойств [5]. Это обуславливает возможность применения этих растений для получения индивидуальных биологически активных веществ, обладающих антиоксидантным действием, с целью создания продуктов функционального питания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение №21-76-10055).

Литература

1. Чепель В.И., Скрыпник Л.Н. Сезонная изменчивость уровня фенольных соединений в различных органах вереска обыкновенного (calluna vulgaris (l.) Hull.) //Экологические аспекты глобального взаимодействия живых систем. 2020. С. 57.
2. Уранова В.В., Близняк О.В., Кравченко В.А. Определение содержания экстрактивных веществ в растительном сырье очанки лекарственной (Euphrasia officinalis) и полыни обыкновенной (Artemisia vulgaris), произрастающих на территории Астраханской области //Тенденции развития науки и образования. 2020. С. 141-144.
3. Курманова Е.Н. и др. Гепатозащитное действие экстракта репешка обыкновенного при экспериментальном тетрахлорметановом гепатите //Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2020. Т. 23. №. 2. С. 37.
4. Бабак Т.В., Плюснин С.Н., Москалев А.А. Растения европейского северо-востока содержащие вещества обладающие потенциальными геропротекторными свойствами. 2021.
5. Szwajgier D., Borowiec K., Pustelniak K. The neuroprotective effects of phenolic acids: molecular mechanism of action // Nutrients. 2017. V9. № 5. P. 477.

УДК 664.863.813

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ У ТУРИСТОВ И ОХОТНИКОВ

У.С. Веселкина[1], А.В. Александрова[1], А.И. Кочурова [1]
Научный руководитель – К.К. Мишин [2]
1 –Университет ИТМО
2 – Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России
e-mail: uliana.veselkina@mail.ru

Аннотация
В работе представлен процесс получения полнорационного питания для людей, вынужденных ходить в поход на долгий период времени (охотники, туристы, геологи, археологи и др). Полученные в ходе лиофильной сушки продукты питания легко приготавливаются, растворяясь в горячей воде и сохраняют органолептические свойства и пищевую ценность продукта.

Ключевые слова
Лиофильная сушка, биологически активная добавка, функциональное питание, мясо лося, морковь.

Туристический поход – групповое или индивидуальное путешествие по заранее определенному маршруту, осуществляемое в различных целях (спортивными, исследовательские, научные и др). Для людей в походных условиях очень важно получить питание, к которому предъявляются следующие требования:

1. Еда должна готовиться максимально просто и быстро.
2. Компактность и лёгкость в весе. Рекомендуемый вес рюкзака туриста – до 30 кг для мужчин и до 25 кг для женщин. Из них, очень большой объем занимают продукты питания. Облегчение размеров и веса пайка позволит не только облегчить рюкзак, но и сделать поход более комфортным. Кроме того, порошок всегда можно положить в карман куртки во время охоты.
3. Долгосрочность хранения и герметичность. Правильная упаковка не только позволяет защитить продукт от воздействия внешних факторов, но и обеспечить сохранность его вкусовых качеств.
4. Сбалансированность и полнорационность. В условиях экспедиции одна из наиболее распространенных проблем - недостаточность калорий и скудное разнообразие витаминов. Особенно это актуально в условиях ледников, пустыни или степи.

Наилучшим методом для достижения данных целей может стать обезвоживание продуктов питания. Вяленые и сушеные продукты сохраняют все свои ценные пищевые свойства при этом длительное время не портятся, а также занимают меньше места и веса. Сбалансированность питания может быть достигнута путем добавления комплекса биологически активных добавок. При выборе подходящего метода обезвоживания мы остановились на лиофилизации (иначе – сублимационная сушка), поскольку она имеет ряд решающих преимуществ.

Лиофилизация применяется для обезвоживания, в производстве продуктов питания и биохимических товаров с высоким количеством витаминов и минералов. Она помогает сохранить органолептические и питательные свойства продукта**.** Важным

моментом является то, что вследствии почти полного удаления воды (до 90%) сублимированный продукт можно хранить при более высоких температурах, часто до комнатной температуры, без риска его порчи. Отпадает необходимость использования криогенных или морозильных установок, что важно в походных условиях, где нет доступа к охлаждающим устройствам.

Кроме того поскольку продукт высушивается без чрезмерного нагрева, белки и другие вещества, которые подвергаются термической денатурации, могут быть успешно сохранены без потери активности.

Сублимационная сушка включает в себя 3 стадии: заморозка продукта, сублимация (т.е. непосредственно сушка), досушивание.

В основе метода лежит процесс сублимации – переход веществa (в данном случае воды) из твердого в газообразное состояние, при создании определенных условий (рисунок). На фазовой диаграмме воды можно найти “тройную точку” (T = 273,16 K (0,01 °C) и давление 611,657 Па) - эта точка, в которой совокупность условий позволяет воде существовать в любом из трех состояний (твердом, жидком или газообразном) [1], если же незначительно уменьшить температуру или давление, то мы получим условия при которых парциальное давление водяного пара в окружающей среде ниже, чем парциальное давление льда, и лед продукции прямо переводится в газообразное состояние минуя жидкую фазу.

Промышленная лиофильная сушка производится при 0 градусов Цельсия и давлении, равном 6,1 мбар.

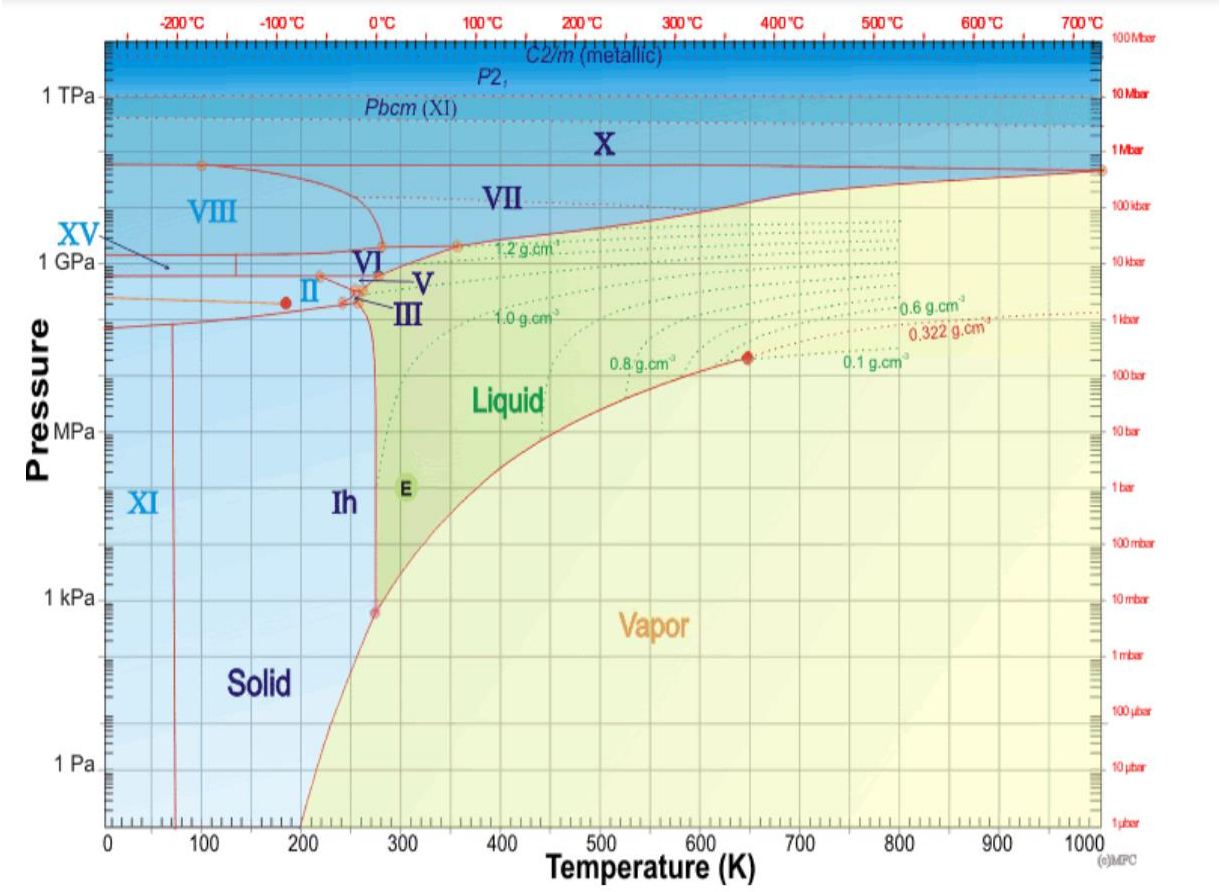


Рисунок. Полная фазовая диаграмма воды [2]

Таким образом, для возгонки воды нам нужно сначала охладить сублимируемый продукт при температуре ниже его точки затвердевания. Этот этап имеет значительное

влияние на качество сублимированного продукта и на время, требующееся для сушки. Чем быстрее и глубже замораживается продукт, тем меньше размер образующихся кристаллов льда, тем быстрее они испаряются на этапе возгонки и тем выше качество получаемого продукта.

Второй этап – сублимирование, удаление льда или кристаллов растворителя при низкой температуре (-20...-30 градусов Цельсия), то есть непосредственно сушка продукта. В ходе сублимации замороженный продукт помещается в лиофильную сушилку, обеспечивающую требуемое давление. Так как удаление основной массы влаги из объектов сушки происходит при отрицательных температурах, а их досушивание осуществляется также при щадящем (не выше +40 градусов) температурном режиме, то в результате достигается высокая степень сохранности всех наиболее биологически ценных компонентов исходного сырья.

Процесс в среднем занимает несколько суток и зависит от химического состава продукта. Например, мясо перед лиофилизацией должно быть обязательно очищено от хрящей, крупных сосудов и соединительной ткани. Неправильная предварительная обработка мяса может привести к его неравномерному высушиванию и существенно снизить вкусовые качества получаемого продукта.

Целью данного исследования стала разработка технологии получения пищевого концентрата – смеси различного сырья (животного или растительного происхождения), обогащенного минеральными веществами и витаминами и полностью готового к употреблению для создания полноценного рациона и профилактики дефицитных состояний.

Перед выбором мяса, которое войдет в концентрат, мы исследовали пищевую ценность и минерально-витаминный состав различных видов мяса [2]. В результате мы решили использовать мясо лося, поскольку оно богато микроэлементами, в частности железом.

Лосятина в своем составе не содержит углеводов, однако является источником жиров и белков. В 100 г свежего лосиного мяса содержится: жиры – 1.45 г , белки – 22.95 г , вода – 74.38 г (вода будет испаряться во время сублимационной сушки). С учетом удаления 90% воды из мяса его калорийность после лиофилизации составит на 100 г лиофилизированной лосятины 433,34 кКал. Калорийность на 100 г лиофилизированной моркови составила 350 кКал.

Кроме того, мы решили добавить порошок лиофилизированной моркови для обогащения витамином А и ретиноидами, а также комплекс БАД, направленный на увеличение выносливости (коэнзим Q10), ускорение восстановления после больших нагрузок (таурин) и стабилизацию психоэмоционального состояния (глицин), что также важно в походных условиях.

Был произведен расчет суточной нормы потребления для человека с высоким уровнем физической нагрузки. Суточная норма составляет ~3000 кКал, следовательно одна порция (при условии трехразового питания) должна содержать 1000 кКал.

В одну порцию мы включили 200 г лиофилизированной лосятины и 15 г лиофилизированной моркови.

Следует отметить важную роль железа для спортсме-нов, особенно женщин. Рекомендуемая норма железа в период повышенных нагрузок – 20-30 мг, причем лучше их получать с пищей, чем в виде специальных добавок, поскольку железо из пищи более эффективно всасывается из кишечника в кровь.

В итоге на одну порцию растворимого концентрата, состоящего из порошков моркови (15 г) и лосятины (200 г) приходится следующее количество микроэлементов и витаминов (табл. 1). Расчет % от суточной дозы производился на основании ТР ТС 022/2011 [3].

Таблица 1

Микроэлементный и витаминный состав концентрата

Микроэлемент, витамин	Масса, мг	% от суточной нормы
Кальций (Ca)	73,5	7,4
Железо (Fe)	22,3	109,0
Магний (Mg)	195,0	48,8
Фосфор (P)	1302,2	162,8
Калий (K)	3102,8	88,6
Натрий (Na)	541,4	41,9
Цинк (Zn)	19,0	127,0
Медь (Cu)	0,8	103,0
Селен (Se)	76,7	110,0
Витамин А (в т.ч. каротиноиды)	3500 ЭР*	214,0
Витамин К	0,018	15,0
Витамин В6 (пиридоксин)	0,13	13,6
Витамин С (аскорбиновая кислота)	7,56	8,5
Витамин В3, мг	1,3	7,8
Витамин В1 (тиамин)	0,13	7,0
Витамин В5 (пантотеновая кислота)	0,38	7
Витамин Е Витамин В2 (рибофлавин) Витамин В4 Витамин В9 (фолиевая кислота)	-	менее 7

* - эквиваленты ретинола, 1 ЭР = 1 мкг ретинола, международная единица активности витамина А в виде ретинола

Превышение суточной нормы по бета каротина, фосфора, цинка меди и селена не опасно поскольку их избыток легко выводится естественным путем (и содержание многократно меньше дозы, которая может вызвать негативные последствия).

Для получения сбалансированного продукта, полученный порошок был обогащен добавками с учетом ⅓ адекватного уровня потребления биологически активных компонентов (табл. 2) и суточной нормы потребления витаминов (табл. 3), расчет производился на основании ТР ТС 022/2011 [3]

Таблица 2

Добавленые биологически активные компоненты

БАД	Масса, мг	Воздействие
L-карнитин	150	Повышает порог резистентности к физической нагрузке, уменьшает степень лактатацидоза и восстанавливает работоспособность после длительных физических нагрузок. При этом способствует экономному расходованию гликогена и увеличению его запасов в печени и мышцах
Таурин	130	Является естественным продуктом обмена серосодержащих аминокислот: цистеина, цистеамина, метионина. Улучшает метаболические процессы в сердце, печени и других органах и тканях
Коэнзим Q10 (убихинон)	20	Природное вещество, являющееся витаминоподобным коферментом.Участвует в процессах клеточного дыхания, увеличивая синтез АТФ. Оказывает клинически значимое антиоксидантное действие.
Аланин	1000	Входит в состав такого вещества как пептид карнозина. Карнозин является буфером в мышечной ткани, предотвращая закисление при анаэробной нагрузке, в связи с чем способствует увеличению выносливости и снижению утомляемости
Глицин	100	Является регулятором обмена веществ, нормализует и активирует процессы защитного торможения в ЦНС, уменьшает психоэмоциональное напряжение, повышает умственную работоспособность.

Таблица 3

Добавленные витамины

Витамин	Масса	% от суточной потребности
B1 (тиамин), мг	0,5	36
B5 (пантотеновая кислота), мг	1,5	30
B6 (пиридоксин), мг	0,8	40
B9 (фолиевая кислота), мкг	0,8	40

В ходе работы был получен образец сублимированного мяса лося (предварительно отваренного) и моркови (свежей) и исследованы их энергетическая и пищевая ценности, а также органолептические характеристики. Затем было произведено измельчение до порошкообразного состояния. Все органолептические свойства оказались сохранены. Затем был подобран оптимальный состав, а также произведен расчет необходимых количеств биологически активных добавок. После чего порошки

сублимированных лосятины и моркови были смешаны с навесками витаминов и БАДов. После растворения в горячей воде получили полноценное блюдо, готовое для употребления.

Полученный в результате данной работы обогащенный сублимированный продукт может быть использован в качестве продукта питания в различных формах похода: геологических, археологически, полярных экспедициях, в походных условиях во время охоты, в туристических и исследовательских походах, во время спасательных операций, проводимых МЧС.

Основные достоинства данных пищевых продуктов: быстрый способ приготовления, сохранение органолептических характеристик, сохранение пищевой и энергетической ценности, компактность, долгий период хранения, сбалансированный витаминный и микроэлементный состав.

Литература

1. Кочетков А.В., Федотов П.В. Фазовая диаграмма воды // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». №4(8). 2016. 14 р. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/38TVN416.pdf. (дата обращения: 15.01.2022).
2. Под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН. проф. Тутельяна В.А. Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» М.: ДеЛи принт. 2002. 236 с.
3. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011. Введен 09.12.2011. Комиссия Таможенного союза. 2011. 29с.

УДК 664.863.813

РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШКА МОРКОВНОГО СОКА, ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ

У.С. Веселкина[1], А.В. Александрова[1], А.И. Кочурова[1], Д.В. Криворотов[2]
Научный руководитель – К.К. Мишин[2]
1 – Университет ИТМО
2 – ФГУП НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА России
e-mail: uliana.veselkina@mail.ru

Аннотация
Потребность в сбалансированном рационе обуславливает необходимость поиска натуральных биологических добавок, которые будут обеспечивать организм витаминами и минеральными веществами. В качестве такой биологически активной добавки может быть использован порошок моркови, полученный на распылительной сушилке Buchi90 в рамках данного исследования. Содержащиеся в данном овоще вещества обуславливают антиоксидантное, противовоспалительное действие, а также иммуномодулирующий эффект, что делает морковь идеальным сырьем для получения БАД.

Ключевые слова
Распылительная сушка, биологически активные добавки, витаминный комплекс, морковь, сбалансированный рацион.

Авитаминоз является широко распространенной причиной целого комплекса негативных изменений в организме и проявляется особенно ярко в зимний и весенний периоды. Последствия недостатка витаминов в сочетании с высокой стрессорной нагрузкой проявляются в виде снижения иммунитета и общего ослабления организма и приводят к подверженности сезонным простудным заболеваниям, повышенной утомляемости, снижению концентрации и ряду других малоприятных последствий.

Одним из решений данной проблемы может стать витаминизированный напиток, выпускаемый в форме растворимых в воде таблеток, которые также могут входить в сухой паек туристов, военных, геологов и представителей других профессий, сопряженных с походным образом жизни.

Морковь (Daucus carota) является источником витаминов и минералов: витамина А, калия, витамина В6, тиамина, фолиевой кислоты, витамина С и магния. Подобный комплекс веществ является профилактикой сердечно-сосудистых заболеваний, в т.ч. анемии, способствует поддержанию водно-солевого баланса в организме и правильному развитию эмбриона на ранних сроках беременности. Ключевую роль в полезных свойствах моркови играет высокое содержание в данном овощей ß-каротина [1]. ß-каротин играет важную роль при поддержании оптимального физиологического состояния и повышении иммунитета, защищает кожу от ультрафиолетового излучения, предотвращает или замедляет прогрессирование катаракты, поддерживает когнитивные функции головного мозга [2]. Клинические исследования показали, что при введении высокой дозировки каротиноидов уменьшается лейкоплакия полости рта, снижаются кожные реакции при светочувствительных заболеваниях.

Поддержание достаточного уровня каротиноидов необходимо, поскольку данные вещества играют важную роль в защитных процессах организма, ингибируя окисление биомолекул и, следовательно, предотвращая повреждения клеток организма, вызванные воздействием кислорода. Благодаря антиоксидантной активности и биохимической

способности, заключающейся в передаче сигналов в клетках каротиноиды связывают с защитой организма от некоторых заболеваний, в том числе атеросклероза и рака [3].

Одним из первых методов консервирования пищевых продуктов является обезвоживание. Вяленые и сушеные продукты сохраняли все свои ценные пищевые свойства при этом длительное время не портились, а также занимали меньше места и веса. Нас интересует в данном случае сохранение всех входящих в состав моркови веществ, а также значительное удобство порошковой формы. Использование фруктовых порошков может привести к снижению затрат на упаковку, хранение и транспортировку, а также к сокращению потерь сырья за счет высокой стабильности порошка по сравнению с его жидкими аналогами.

Целью исследования являлась разработка методики получения порошка моркови и исследование его физико-химических свойств, а также прессование растворимых в воде таблеток и исследование их физико-механических характеристик.

Для получения порошка нами был выбран метод распылительной сушки (рис. 1) поскольку он позволяет получить однородные микрочастицы, что увеличивает насыпную плотность порошка, его гомогенность и может улучшить физико - механические свойства получаемых таблеток.

Процесс получения микрочастиц моркови из сока включал несколько стадий: подготовку исходного сырья, процесс приготовления сока, распыление сока, сбора микрочастиц. На стадии подготовки исходного сырья осуществляется мойка, чистка и измельчение моркови. Процесс получения морковного сока осуществлялся на соковыжималке с его последующей вакуумной фильтрацией через обеззоленую фильтровальную бумагу “белая лента” (средний размер пор 8-12 мкм). Фильтрация необходима для отделения крупнодисперсных осадков из полученного сока. Затем производилось отстаивание сока и вакуумное фильтрование верхней фракции через бумажный фильтр “синяя лента” (размер пор - 2-3 мкм). Этот фильтр предназначен для отделения мелкозернистых осадков.

Рис. 1. Схема распылительной сушки Buchi Nano Spray Dryer B-90

Получение микрочастиц осуществлялось методом распыления соков на нанораспылительной сушилке Buchi B90. Метод распылительной сушки включает в себя 5 этапов: подача жидкости осуществляется благодаря насосу, накачивающему сок к форсунке под давлением 45 мбар, затем производится распыление через форсунку в ходе

которого образуются капли, которые затем взаимодействуют с ламинарным потоком горячего воздуха, имеющим скорость истечения в районе 100 л/мин. Он способствует высушиванию распыляемых капель со скоростью 0,2 л/час, после чего происходит сбор полученных частиц в электростатическом коллекторе. Размер частиц продукта варьируется от 300 нм до 5 мкм, с выходом до 90%. Объем распыляемого образца от 1 мл до 200 мл.

В результате был получен морковный порошок, готовый к обогащению витаминами и прессованию. Для разработки оптимального витаминного комплекса мы изучили совместимость различных витаминов, рекомендации по приему (до/во время/после еды) на основании ТР ТС 022/2011, противопоказания, а также профилактические дозировки.

Сам по себе морковный сок является богатым источником каротиноидов, однако другие витамины присутствуют в данном овоще в малых количествах, так что мы провели обогащение порошка витаминами. Добавление витаминов производили с расчетом на то, что в двух таблетках будет суточная доза взятых витаминов [4].

В одной таблетке содержится :

- B2 – 0,55 мг;
- B5 – 2,5 мг;
- B6 – 0,8 мг;
- B9 – 200 мкг;
- C – 45 мг;
- E – 10 мг;
- P – 50 мг.

Перед получением таблеток мы исследовали насыпную плотность полученного порошка. Порошок засыпали в мерный цилиндр. Отношение занятого им объема к массе порошка является объемной или насыпной плотностью. Насыпная плотность полученного порошка составила 784 кг/м^3, что позволило отнести его к порошкам средней плотности.

Прессование производилось с помощью однопуансонного эксцентрикового таблетпресса ERWEKA EP-1 (рис. 2), диаметр пуансона – 12мм. В результате были получены плоскоцилиндрические таблетки оранжевого цвета с риской.

Рис. 2. Схема таблетпресса ERWEKA EP-1

Изучение физико-механических свойств полученных таблеток проводили при помощи следующих приборов для контроля качества: тестер прочности таблеток, тестер

истираемости таблеток и тестер растворимости согласно стандартным методикам, представленным в Фармакопее.

С помощью тестера прочности таблеток (марка ERWEKA) были получены следующие параметры: средний диаметр (12.06 мм), средняя высота (7.25мм), средняя твердость (226 179 МПа), средний вес таблетки (0,926 г).

Исследование на истирание таблетки проводили на тестере истираемости таблеток марки ERWEKA. Данное исследование необходимо для оценки степени возможного повреждения поверхности таблетки под воздействием механического удара или истирания в процессах упаковки и транспортировки. В ходе испытания таблетки на истирание были выбраны следующие параметры: 10 мин; 20 об/мин. После эксперимента наблюдались незначительные повреждения на краях. В то же самое время, целостность таблетки оставалась сохранена. На основе данного исследования можно заключить, что данная форма оптимальна для упаковки и транспортировки.

Было проведено исследование растворимости: таблетка растворяется в воде при постоянном перемешивании и температуре в 60 градусов за 12 мин 40 с, что является не очень подходящим временем в походных условиях. В связи с этим, в дальнейшем будет проведено исследование путей увеличения растворимости полученной таблетки.

В ходе работы было показано, что метод распылительной сушки может эффективно применяться для получения сухих микрочастиц овощей и фруктов, которые могут найти свое применение при создании модифицированных продуктов питания. На примере моркови была разработана возможная рецептура обогащенного овощного напитка. Была предложена одна из возможных форм выпуска (таблетка) и исследованы ее технологические показатели.

Литература

1. Под ред. член-корр. МАИ, проф. Скурихина И.М. и академика РАМН, проф. Тутельяна В.А. Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов». М.: ДеЛи принт. 2002. 236 с.
2. Tilman Grune, Georg Lietz, Andreu Palou, A. Catharine Ross, Wilhelm Stahl, Guangweng Tang, David Thurnham, Shi-an Yin, Hans K. Biesalski β-Carotene Is an Important Vitamin A Source for Humans //The journal of nutrition. 2010. V.140. №12. P. 2268S–2285S.
3. Joe L Rowles 3rd, John W Erdman Jr. Carotenoids and their role in cancer prevention // Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids. 2020. V.1865. №11. P.158613.
4. Pannia E., Cho Cl. E., Kubant R., Sánchez-Hernández D., Huot P.S.P., and Harvey Anderson G. Role of maternal vitamins in programming health and chronic disease. // Nutrition Reviwes. V.74. №3. P. 166–180

УДК 54.056

ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БАВ ИЗ КОНСКОГО КАШТАНА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Ларина, С.С. Воронова, А.Д. Попов, О.О. Бабич
Научный руководитель – д.т.н., доцент О.О. Бабич
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»
e-mail: nraven352@icloud.com

Аннотация
Экстракты цветов и плодов каштана конского (*Aesculus hippocastanum*) содержат различные биологически активные вещества, например, фенольные соединения. В данном исследовании были выделены индивидуальные компоненты (астрагалин, гиперозид, кверцетин-3D-глюкозид и 3,4-дигидроксибензойная кислота) с целью создания на их основе комплексной биологически активной добавки геропротекторного действия.

Ключевые слова
Конский каштан, биологически активные вещества, фенольные соединения, геропротекторы, экстракты из каштана конского, антиоксидантная активность.

Введение

Представители царства растений способны синтезировать сотни тысяч низкомолекулярных органических соединений. Исходя из предполагаемых функций этих соединений, научное сообщество разделило их на три основные группы: первичные метаболиты, т.е. соединения, непосредственно необходимые для роста и развития растений (так называемые метаболиты домашнего хозяйства); вторичные (или специализированные) метаболиты – вещества, опосредующие взаимодействие растений с окружающей средой (эти соединения часто участвуют в защите растений от биотических или абиотических стрессоров, и относятся к различным химическим классам соединений, для которых известен факт индукции в ответ на действие стрессоров) и гормоны – метаболиты, вовлеченные в процессы регуляции жизненных функций и метаболизма в растительном организме. Однако точные биохимические границы между этими различными классами метаболитов никогда не были полностью установлены. Новейшие генетические и биохимические исследования еще больше размывают эти границы, демонстрируя полифункциональный характер вторичного метаболизма. Так, некоторые вещества (например, изопреноиды) могут, с одной стороны, выступать в роли эффективных регуляторов роста и защиты растений, с другой – в качестве первичных метаболитов в широком смысле [1]. Широкий набор биологических функций, характерных для вторичных метаболитов, может дать новые объяснения онтогенетическим закономерностям производства защитных веществ и внести значительный вклад в понимание взаимодействия растений и травоядных животных [2]. Рассмотрение вторичных метаболитов как интегрированных компонентов метаболических сетей, которые динамически формируются под давлением экологического отбора и выходят за пределы нескольких трофических уровней, может улучшить наше понимание метаболизма растений и взаимодействия растений с окружающей средой.

Такие вторичные метаболиты, как фенольные соединения, в частности флавоноиды, непосредственно вовлечены в иммунные процессы в растениях, т.е. обеспечивают защиту их от болезней. В силу значительной степени сходства метаболизма растительной и животной клетки, терапевтические средства (в частности, антиоксидантные препараты) являются в массе своей безопасными для человека [3] и часто могут использоваться без рецепта, так как не проявляют подтвержденного вредного воздействия и исследования токсичности.

Растительные метаболиты этого класса обычно встречаются в съедобных и несъедобных растениях и, как сообщается, обладают многочисленными биологическими эффектами, включая антиоксидантную активность и профилактическую роль в развитии рака и сердечно-сосудистых заболеваний [4]. Таким образом, в последнее время наблюдается стабильное увеличение интереса к лекарственным растениям с точки зрения их терапевтического потенциала в качестве противораковых агентов, антидиабетических и антиоксидантных препаратов [5].

Цель нашего исследования**:** подбор параметров выделения индивидуальных БАВ из экстрактов плодов и цветов Каштана конского.

Задачи:

1) подбор параметров экстракции;
2) изучение метаболомного состава экстрактов;
3) подбор параметров выделения и очистки индивидуальных БАВ.

1. Литературный обзор.

1.1. Конский каштан.

Экстракты каштана конского (*Aesculus hippocastanum*) благоприятно влияют на сердечно-сосудистую систему, особенно на вены. Они укрепляют стенки кровеносных сосудов и способствуют кровообращению в тончайших сосудах. Экстракты каштана также удаляют лишнюю жидкость из тканей. Двумя важными составляющими являются эскулин в коре и эсцин в семенах. Соединение кумарина эскулин стимулирует обмен веществ и способствует циркуляции крови в тканях. Его способность связывать ультрафиолетовое излучение делает его важным ингредиентом солнцезащитных препаратов. Сапонин эсцин, который пенится при смешивании с водой, одновременно удаляет излишки жидкости из тканей организма и предотвращает накопление новой жидкости в тканях. Значительный спектр действия биологически активных веществ делает семена каштана одним из важнейших средств для лечения геморроя.

В традиционной медицине каштан в настоящее время используется редко из-за его неприятного вкуса. Однако существуют рецепты настоек, чаев и припарок каштана. Различные составы настоек каштана используются для лечения заболеваний вен, ревматических заболеваний или кашля.

2. Результаты и их обсуждение.

2.1. Анализ вторичных метаболитов фенольной природы в Конском каштане.

С целью анализа содержания вторичных метаболитов фенольной природы в лекарственных растениях на первом этапе проводили подбор параметров экстракции. Для этого проводили экстракцию при различных значениях pH и с применением различных органических экстрагентов (метанол, метанол в кислой среде, метанол в щелочной среде):

- экстракция метанолом по методу Сокслета;
- экстракция метанолом методом мацерации;
- экстракция метанолом в среде 0,1 н гидроксида натрия методом мацерации (pH=12,5);
- экстракция метанолом в среде 0,1 н трифторуксусной кислоты (далее ТФУ) методом мацерации (pH=1,2).

Экстракция метанолом по методу Сокслета проводилась в течение 8 часов (15 циклов). Экстракция методом мацерации проводилась в течение 8 часов при комнатной температуре при постоянном перемешивании, модуль экстракции 1 : 40. Экстракция по методу Сокслета проходила при температуре кипения растворителя. Однако, согласно литературным данным, повышение температуры может вызывать разрушение термолабильных соединений [1, 2], поэтому для сравнения экстракцию методом мацерации проводили без нагревания. В ходе эксперимента оценивали максимальный выход сухого экстракта.

Значения тотальных выходов растительных экстрактов, полученных из каштана конского, показаны в табл. 1. Наибольшие выходы наблюдались для экстрактов, полученных методом Сокслета.

Таблица 1

Тотальный выход растительных экстрактов

Наименование	Выход экстракта, масс. %			
	Метод Сокслета	Метод мацерации		
	Метанол	Метанол	Метанол + NaOH	Метанол + ТФУ
Каштан конский (цветы)	35,57±1,06	19,72±0,59	16,14±0,48	15,27±0,45
Каштан конский (плоды)	27,13±0,81	15,70±0,47	16,21±0,48	14,08±0,42

При экстракции метанолом более эффективным оказался метод Сокслета по сравнению с методом мацерации, поэтому среди метанольных экстрактов дальнейшему изучению подвергались образцы, полученные методом Сокслета.

Затем экстракты анализировались методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Идентификацию компонентов проводили по временам удерживания и спектрам индивидуальных стандартных веществ. Концентрацию соединений рассчитывали по калибровочным уравнениям. Погрешность определения концентрации составляет 3-5%. Результаты количественного анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание БАВ в метанольных экстрактах лекарственных растений, полученных методом Сокслета

		Содержание БАВ, мг/кг									
		3,4-дигидроксибензойная к-та	п-кумаровая к-та	феруловая к-та	гиперозид	рутин	Кверцетин-3D-глюкозид	Лютеолин-7-глюкозид	астрагалин	апигенин-7-О-глюкозид	онотин В
Цветы	Сокслета	29,59	2,55	-	15,45	-	62,65	-	469,33	следы	-

продолжение таблицы

		Содержание БАВ, мг/кг									
		3,4-дигидроксибензойная к-та	п-кумаровая к-та	феруловая к-та	гиперозид	рутин	Кверцетин-3D-глюкозид	Лютеолин-7-глюкозид	астрагалин	апигенин-7-О-глюкозид	оноотин В
	Метанол + NaOH	-	следы	-	22,37	следы	-	-	391,33	187,19	-
	Метанол + ТФУ	46,50	-	-	108,49	-	139,67	-	1048,43	-	-
Плоды	Сокслета	57,75	следы	25,36	следы	следы	29,64	223,36	следы	-	236,19
	Метанол + NaOH	-	-	-	15,61	-	-	-	-	-	-
	Метанол + ТФУ	9,42	-	-	180,15	-	101,03	-	следы	-	-

2.2. Получение индивидуальных БАВ из экстрактов.

С целью получения (выделения) индивидуальных БАВ из растительных экстрактов Каштана конского применяли метод жидкостной колоночной хроматографии. В качестве сорбента использовали силикагель. Элюирование вели в градиентном режиме в системе гексан : ацетон или хлористый метилен : метанол с градиентом 0 – 100 %, из расчета подъем концентрации ацетона на 10% каждые 10 фракций. Объем фракций составлял 4 мл. Состав растворителей для элюирования подбирался методом тонкослойной хроматографии на пластинах DC-Fertigfolien Alugram SIL G/UV_{254}, сорбент – силикагель.

Экстракты, полученные методом Сокслета, подвергали упариванию при пониженном давлении с последующим растворением их в смеси гексан : ацетон или хлористый метилен : метанол и наносили на колонку. Экстракты, полученные экстракцией метанолом с добавлением 0,1 М NaOH или метанолом с добавлением 0,1 М ТФУ методом мацерации, предварительно упаривали, растворяли в дистиллированной воде и нейтрализовали до pH=6. Из водной части последовательно проводили вытяжки с помощью хлористого метилена и этилацетата. Все полученные образцы подвергали упариванию при пониженном давлении с последующим растворением их в смеси хлористый метилен: метанол и наносили на колонку. Разделение проводили в градиентном режиме элюирования с применением смесей хлористого метилена и метанола при повышении концентрации метанола на 10 % на каждые 10 фракций.

Фракции, содержащие индивидуальные компоненты, отбирали с помощью метода тонскослойной хроматографии (ТСХ). Индивидуальные компоненты идентифицировали и доочищали методом ВЭЖХ.

В результате разделения из растительного экстракта цветов каштана конского (*Aesculus hippocastanum*) удалось выделить фракции, основными компонентами которых являлись гиперозид, кверцетин-3D-глюкозид и астрагалин (рис. 1). Из растительного экстракта плодов каштана конского (*Aesculus hippocastanum*) удалось получить образец, основным компонентом которого являлась 3,4-дигидроксибензойная кислота (рис. 2). Общие результаты по выделенным БАВ представлены в табл. 3.

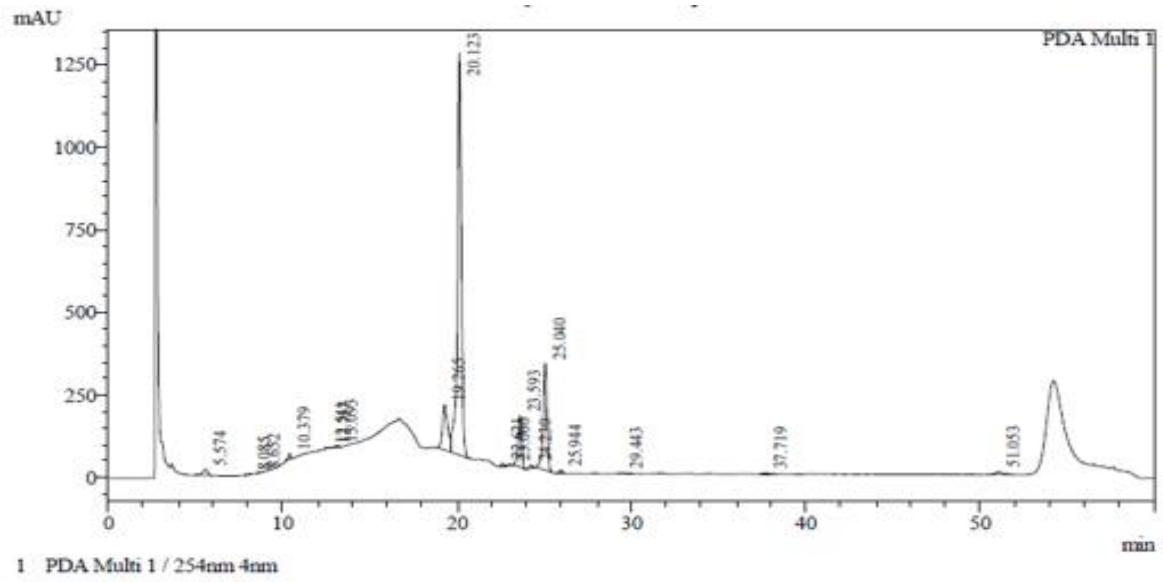


Рис. 1. Хроматограмма фракции, полученной из цветов каштана конского (*Aesculus hippocastanum*) методом жидкостной хроматографии, экстракт метанолом с 0,1 М ТФУ, вытяжка этилацетатом, фракции метанол : уксусная кислота (99 : 1)

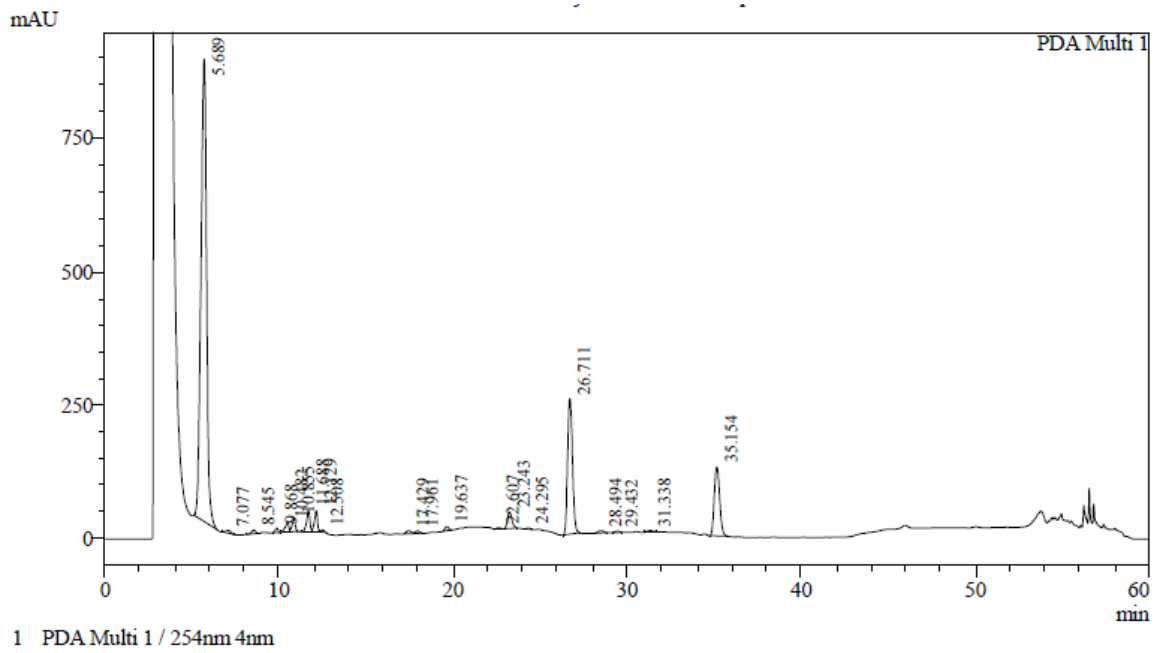


Рис. 2. Хроматограмма фракции, полученной из плодов каштана конского (*Aesculus hippocastanum*) методом жидкостной хроматографии, экстракт метанолом (методом Сокслета), фракции хлороформ:метанол (1:1)

Таблица 3

Результаты фракционирования экстрактов растений, полученные методом ВЭЖХ

Растительный экстракт	Идентифицированные компоненты	Выход, мг/кг
Каштан конский (цветы)	гиперозид	1,74
	кверцетин-3D-глюкозид	15,73
	астрагалин	6,15
Каштан конский (плоды)	3,4-дигидроксибензойная кислота	205,296

Выводы

В процессе работы нам удалось подобрать оптимальные параметры для получения экстрактов из цветов Каштана конского: метод мацерации + метанол + ТФУ. Из плодов: метод Сокслета + метанол. Выбранные параметры экстракции для цветов Каштана конского не согласуются с тотальным выходом экстрактов, так как при использовании метода Сокслета из экстрактов не получалось выделить вещества в индивидуальном виде без примесей.

Таким образом, из экстрактов цветов были выделены следующие индивидуальные БАВ: астрагалин, гиперозид, кверцетин-3D-глюкозид, а из экстрактов плодов: 3,4-дигидроксибензойная кислота. Согласно литературным данным, эти вещества обладают высокой антиоксидантной активностью.

Заключение

Плоды и цветы каштана конского содержат в себе большое количество вторичных метаболитов фенольной природы, которые можно в будущем использовать для получения биологически активной добавки геропротекторного воздействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках исполнения Гранта Президента (соглашение №075-15-2021-310 от 19.04.2021 г. (внутренний номер МД-135.2021.1.4)).

Литература

1. Erb M., Kliebenstein D. J. Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: the blurred functional trichotomy //Plant physiology. 2020. Т. 184. №. 1. С. 39-52.
2. Rosenthal G.A., Berenbaum M.R. Herbivores: their interactions with secondary plant metabolites: ecological and evolutionary processes. Academic Press. 2012. Т. 2.
3. Lee E.R., Kang G.H., Cho S.G. Effect of flavonoids on human health: old subjects but new challenges //Recent patents on biotechnology. 2007. Т. 1. №. 2. С. 139-150.
4. Hertog M.G.L. et al. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study //The lancet. 1993. Т. 342. №. 8878. С. 1007-1011.
5. Manoharachary C., Nagaraju D. Medicinal plants for human health and welfare //Annals of Phytomedicine. 2016. Т. 5. №. 1. С. 24-34.

УДК 662.71

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

В.В. Гончаров
Научный руководитель – к.х.н., доцент Е.М. Красникова
Липецкий государственный технический университет
e-mail: slawick.gon4arow@yandex.ru

Аннотация
Древесные опилки, как отходы производства, перспективно использовать в виде топлива. На данный момент актуальной задачей является разработка технологии получения энергетически выгодного биотоплива из сырых опилок. В работе исследовано влияние различных факторов на свойства получаемых топлив. Определены оптимальные условия получения образцов из древесины сосны, а также их основные свойства.
Ключевые слова
Биотопливо, древесина сосны, пиролиз, отходы, теплота сгорания.

На настоящий момент в связи с ростом населения планеты, потребность в энергии постоянно растет. Именно поэтому мир все больше интересуют новые материалы, полученными из разнообразных видов растительного органического сырья, в том числе древесины. Этот интерес вызван широкими колебаниями цен на нефть, опасением по поводу глобального потепления и необходимостью иметь независимый источник энергии от ископаемых видов топлива.

Одной из характеристик биомассы является климатическая нейтральность. Если органическая масса выращивается устойчивым образом, то её применение в качестве топлива не приводит к выделению чистого углекислого газа.

В контексте данной статьи сосновые стружки и опилки, остающиеся после технологической обработки спиленных деревьев, определяются как биомасса. Сырая биомасса, с её естественно высоким содержанием влаги, может быть использована в качестве энергоресурса в процессах газификации или сжигания, но использование необработанной древесины делает транспортировку на большие расстояния, к местам утилизации, неэффективным, посколькузначительная часть транспортных расходов приходится на транспортировку влаги, содержащейся в биомассе. Кроме того, длительное хранение биомассы может быть проблематично, потому что в складированной биомассе со временем могут начаться процессы гниения. А также,большинство материалов из биомассы не могут быть легко измельчены для использования в пылеугольных электростанциях.

Низкотемпературный пиролиз – это термический процесс, протекающий с ограничением доступа воздуха, при котором происходит обработка биомассы в печи для получения биотоплива с более высоким содержанием свободного углерода в своём составе. Полученное биотопливо также часто называют «биоуголём» или «зелёным углем». Пиролиз при низких температурах проводят в диапазоне температур от 200°C до 450°C. Во время воздействия температуры в заданном интервале биомасса преобразуется за счет улетучивания влаги и газов, процессов полимеризации и карбонизации.

Общий механизм производства биоугля можно разделить на несколько этапов. Начальный нагрев приводит к удалению остатков несвязанной воды, через некоторое время протекает процесс ухода связанной воды из структуры древесины. Дальнейший нагрев сухой биомассы приводит к разложению гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина. По агрегатному состоянию выделяют три вида получаемых продуктов: жидкие твердые

и газообразные. Главным продуктом низкотемпературного пиролиза является твердый остаток в виде полученного «зелёного газа». Конечной целью пиролиза является улучшение топливных и транспортировачных свойств обработанной биомассы [1 – 3].

В исследованиях, связанных с пиролизом древесины,большое внимание уделено возможности использования пиролизованной биомассы в качестве замены топлива на существующих угольных ТЭЦ [4].

На территории Российской Федерации сосны занимают около 119 миллионов гектаров, что составляет около 14,8% от общего числа посадок древесины. В данном исследовании использовали сосновые опилки размером 2 – 5 мм, рис. 1.

Рис. 1. Исходное сырье

Исходное сырье сушили до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105°С в течение не менее трёх часов. Высушенный материал делили на три части. Часть пропитывали раствором соляной кислоты, часть подкисленным раствором нитрата никеля, одну часть оставляли без пропитки. Обработанные образцы выдерживали в растворах в течение 24 часов. Затем материал промывали до нейтральной среды (контроль универсальным индикатором) и сушили до постоянной массы. Пиролиз всех трех образцов проводили в муфельной печи, использовав тигли с закрытой крышкой.

Полученные продукты взвешивали, определяли содержание углерода и рассчитывали теплоту сгорания полученного топлива по предварительно составленной программе. На рис. 2 представлена программа, написанная на языке программирования Python.

```
yC = float (input('Общее содержание углерода в древесине:'))
yH = float (input('Общее содержание водорода в древесине: '))
yO = float (input('Общее содержание кислорода в древесине: '))
yS = float (input('Общее содержание серы в древесине: '))
yV = float (input('бщее содержание влаги в древесине: '))
yT = 0.339*yC+1.025*yH+0.1085*yS-0.1085*yO-0.025*yV
print('Низшая теплота сгорания древесины', yT,'МДж/кг')
```

Рис. 2. Вспомогательная программа для расчета теплоты сгорания биотоплива

В результате проведенных исследований выявлено, что теплота сгорания увеличивается на 2 – 3 МДж/кг для образцов, пропитанных кислотами. Также на основании экспериментов был подобран оптимальный интервал температур для проведения пиролиза – 280°C – 320°C.

Литература

1. Barskov S., Zappi M., Buchireddy P., Dufreche S., Guillory J., Gang D. et al. Torrefactionofbiomass: areviewofproduction methods for biocoal from cultured and waste lignocellulosicfeedstocks // Renew Energy. 2019. V. 18. № 142. P. 624–642.
2. Anukam A., Mamphweli S., Okoh O., Reddy P. Influence of torrefaction on the conversion efficiency of the gasification process of sugarcane bagasse// Bioengineering. 2017. V. 1. № 4. P. 22.
3. Doddapaneni T., Jain R., Praveenkumar R. Adsorption of furfural from torrefaction condensate using torrefied biomass// Chem. Eng. J. 2018. V. 10. № 334. P. 558–568.
4. M. van der Stelt, Gerhauser H., Kiel J., Ptasinski K. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review // Biomass Bioenergy. 2011. V. 14. № 35. P. 3748–3762.

УДК 678.765.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

А.Н. Загаринская
Научный руководитель – учитель высшей категории, учитель химии и биологии О.Г. Кирютина
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение Новолеушинская средняя общеобразовательная школа Тейковского муниципального района Ивановской области
e-mail: a.zagarinskaya@yandex.ru

Аннотация
В научной статье рассматривается изучение кинетики процесса полимеризации эпоксидной смолы в домашней лаборатории с применением математического моделирования. При помощи компьютерного и лабораторного эксперимента была показана эффективность данного метода, построены графики зависимости степени превращения от времени по дифференциальному уравнению в программе Mathcad, создана математическая модель, показывающая данную зависимость.
Ключевые слова
Эпоксидная смола, полимеризация, математическое моделирование, Mathcad, кинетика.

Эпоксидные смолы в настоящее время широко применяются в нашей жизни: в авиационном строении, машинном строении, декоративном творчестве, быту и других отраслях [2]. В связи с этим исследование их свойств крайне важно. Экспериментальное изучение не всегда возможно в полной мере из-за разных причин – например, в последние два года в связи со сложившейся обстановкой, а именно пандемией, не все студенты могли работать в лабораториях. Решением данной проблемы стало математическое моделирование.

Целью работы стало изучение кинетики процесса полимеризации эпоксидной смолы в домашней лаборатории с применением математического моделирования.

Для изучения кинетики была взята реакция полимеризации эпоксидной смолы и отвердителя (рис. 1).

Рис. 1. Реакция полимеризации

Эпоксидная смола – олигомер, который при взаимодействии с отвердителем образует сетчатые трехмерные полимеры. Чаще всего, смола – диэпоксид, отвердитель – диамин [3].

При выполнении **домашнего эксперимента** проводились 3 опыта при разных температурах: в холодильнике при 5°С, в комнатных условиях при 23°С и на батарее.

Для проведения каждого опыта были взяты равные массы эпоксидной смолы и отвердителя. Лабораторный эксперимент проводился троекратно, в сводную таблицу взято усредненное значение. Результат опыта: в холодильнике время застывания в среднем 76 часов, в комнатных условиях – 12,5 часов, а при 40°С – 3,5 часа.

Компьютерный эксперимент проводился в специальной программе Mathcad, суть которого состояла в проведении трех исследований, построении графиков зависимостей степени превращения от времени по дифференциальному уравнению с применением математического моделирования.

Mathcad – программное средство, применяемое для выполнения сложных технических задач, позволяющее использовать не только инструменты для работы, но и свой язык. В программе для решения дифференциальных уравнений встроены специальные команды: BDF, rkAdapt, rkfixed. Они основаны на методе Рунге-Кутты. Эта функция значительно упрощает дальнейшие расчеты [4, 5].

Математическая модель:

$$\frac{d\beta}{d\tau} = k(1-\beta)^n,$$

β – степень превращения; τ – время; k – константа скорости реакции; n – порядок реакции.

Для расчета кинетики отверждения системы «Диэпоксид-Диамин» использовалось уравнение Аррениуса [1].

$$k(t) = k0 \times e^{\left[\frac{-E}{R \times (t+273)}\right]}$$

k0 – константа скорости реакции; E – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; k(t) – уравнение Аррениуса; t – температура.

Также использовалось дифференциальное уравнение, преобразованное на языке Mathcad.

$$Z(\tau, Y) = [k(t) \times (1-Y0)^2],$$

k – константа скорости реакции; Y0 – начальное условие; t – температура; k(t) – уравнение и Z(т,Y) – дифференциальное уравнение.

Как и в лабораторном эксперименте, опыты проводились при температурах 5°С, 23°С и 40°С.

Построены графики зависимости степени превращения от времени (рис. 2).

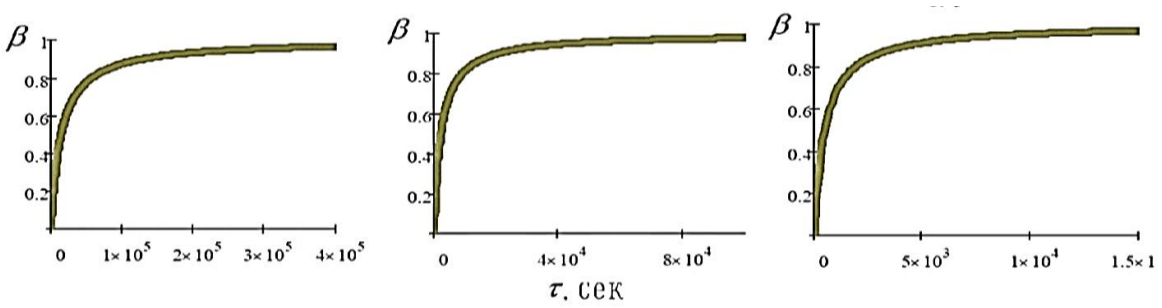


Рис. 2. Графики зависимости степени превращения
от времени: 1 – при температуре 5°С, 2 - 23°С, 3 - 40°С

Результаты компьютерного опыта совпали с данными домашнего эксперимента (таблица).

Таблица 1

Сравнение результатов компьютерного и лабораторного экспериментов

t,°C	Время моделирования, ч	Реальное время, ч
5	80,56	76
23	11,9	12,5
40	2,58	3,5

$\Delta d_1 = 4{,}56$ часа – погрешность времени в первом опыте;

$\Delta d_2 = 0{,}6$ часа – погрешность времени во втором опыте;

$\Delta d_3 = 0{,}92$ часа – погрешность времени в третьем опыте.

Погрешность является допустимой, так как предложенная модель является приблизительной. При замене дифференциального уравнения на более сложное мы сможем свести погрешность к минимуму. При повышении температуры время отверждения уменьшается, а скорость реакции увеличивается.

Изучение кинетики эпоксидных смол очень важно для химии, и исследовать их можно как в лаборатории, так и с использованием математического моделирования, которое является эффективным и позволяет наглядно представить протекание реакции с помощью графиков зависимостей. Была создана модель, показывающая зависимость степени превращения от времени. Увеличение температуры никак не влияет на конечный продукт, поэтому для ускорения процесса в промышленных масштабах можно использовать различное оборудование для поддержания высоких температур. В домашних условиях рекомендуется естественное застывание при комнатной температуре.

Метод компьютерного моделирования можно рекомендовать для более сложных исследований кинетики. В дальнейшем на его основе возможно создание более совершенных методов. Для расчета кинетических параметров планируется разработать свой метод расчета, основанный на уравнении Аррениуса. Для этого нужно определить скорость протекания реакции опытным путем, и при подстановке полученных значений в уравнение, выразить и найти кинетические параметры.

Литература

1. Бодулев А.В. Расчет кинетики отверждения системы «Диэпоксид-диамин» методом Монте-Карло / Ухова Н.В., Шакирьянов Э.Д., Сивергин Ю.М., Усманов С.М., Улитин Н.В. // Вестник КГТУ. Казань. 2015. Т.18. №9. С. 17–19.
2. Еселев А.Д. Эпоксидные смолы и отвердители для производства лакокрасочных материалов / Бобылев В.А. // Лакокрасочные материалы и их применение. 2005. № 10. С. 16–26.
3. Звонарев С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие. Екатеринбург: Издательство Урал. 2019. 112 с.
4. Кирьянов Д.В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург. 2012. 432 с.
5. Максимова Н.Н. Математическое моделирование. Учебно-методическое пособие. Благовещенск: Издательство АмГУ. 2019. 88 с.

УДК 621.039.516

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

А.Н. Иванова[1], А.А. Слободов[1], В.Г. Крицкий[2], А.В. Гаврилов[2]
Научный руководитель – д.х.н., профессор А.А. Слободов[1]
1 – Университет ИТМО
2 – АО «АТОМПРОЕКТ»
e-mail: aslobd@gmail.com

Аннотация
Рассмотрены возможности использования программы ASTIB для расчета фазового и равновесного составов многокомпонентной гетерогенной термодинамической системы, которой и является теплоноситель в АЭС типа ВВЭР. Приведен метод расчета, основанный на минимизации энергии Гиббса системы, предназначенный для определения равновесного состава и свойств сложных термодинамических систем. Программа интегрирована с базой данных по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ. Как показали проведенные расчеты, метод, используемый в программе, позволяет определять фазовый и химический составы сложных термодинамических систем, рассчитывать растворимость продуктов коррозии в водной среде. Показано, как можно проводить исследования по моделированию растворимости продуктов коррозии в широком диапазоне температур в зависимости от различных водно-химических параметров теплоносителя.

Ключевые слова
Термодинамическое равновесие, коррозия, растворимость, теплоноситель первого контура, компьютерное моделирование.

В настоящей статье исследуется сложная многокомпонентная гетерогенная система водного теплоносителя первого контура АЭС с ВВЭР, в которой происходят различные химические и фазовые превращения, а также образовываются продукты коррозии. Коррозия материалов первого контура является процессом, в котором водный теплоноситель выступает в роли реакционного агента. Образующиеся в результате коррозии металлов частицы попадают в теплоноситель, где они переносятся конвекцией по всему контуру. Эти виды существуют в трех состояниях: растворимое (ионы), нерастворимое (частицы) и коллоиды. Эти три состояния продуктов коррозии участвуют в различных механизмах переноса между теплоносителем первого контура и стенкой контура. Ионы участвуют в явлениях осаждения и растворения, которые зависят от концентраций частиц, находящихся в равновесии с уже образовавшимися оксидами. Ионные соединения могут выделяться в одной точке первого контура, переноситься теплоносителем и затем осаждаться в другой части первого контура, где объемная концентрация превышает равновесную концентрацию оксидов. Явления коррозии, массопереноса ПК, их отложения, количественно взаимосвязаны и могут быть описаны посредством анализа данных по растворимости оксидного слоя, образующегося на поверхностях оборудования. Цель работы – получить данные по растворимости оксидной пленки в теплоносителе, что сводится к задаче получения равновесного состава исследуемой системы. Зная равновесный состав системы в широком диапазоне температур, можно анализировать и оценивать поведение в нем продуктов коррозии. Проведем краткий обзор существующих программных продуктов. Первые алгоритмы и программы расчета равновесного состава стали появляться в конце 40-х - начале 50-х гг.

20 в. в. [1]. В первых алгоритмах расчета равновесного состава применяли метод констант равновесия, включающий в себя решение системы нелинейных уравнений. Так как при решении системы нелинейных уравнений возможно существование нескольких решений, метод констант равновесия широко не применяется. На данный момент для проведения термодинамических расчетов поиска равновесия системы получили распространение методы минимизации энергии Гиббса или Гельмгольца. Для этого необходимо располагать информацией о термодинамических свойствах веществ. Существуют программы расчета равновесия для анализа продуктов сгорания топливных композиций. Очень популярна разработанная в NASA программа CEA [2] в области астрофизики. В России и странах бывшего СССР применяется разработанная Б.Г. Трусовым программа ТЕРРА [3], Она позволяет моделировать предельно равновесные состояния с использованием модели идеального газа. Программа REAL, разработанная в термоцентре им. В.П. Глушко, в которой также использованы разработки Б.Г. Трусова, предназначена для моделирования равновесных состояний многокомпонентных гетерогенных термодинамических систем для энергетических установок, позволяет вычислять равновесный состав и свойства продуктов сгорания, характеристики ракетного двигателя, транспортные свойства продуктов сгорания. Термодинамическая система программного комплекса содержит только один раствор - газовую фазу, конденсированные вещества образуют отдельные несмешивающиеся фазы. Поскольку раствором в исследуемой мною работе является вода, то для решения задачи определения растворимости в водной среде теплоносителя ни один из программных продуктов не позволяет получать необходимые закономерности. Также следует подчеркнуть, что термодинамические данные соединений необходимо учитывать именно для растворенных в воде веществ.

В работе осуществлено исследование для систем {Fe, Ni, Zr} - H_2O-H_3BO_3 – KOH - NH_3 - H_2 при 298-623 К с применением чисто термодинамического подхода к моделированию переноса продуктов коррозии в реакторах типа ВВЭР. Водная фаза состоит из ионов металлов, гидролизных соединений, а также диссоциированных компонентов добавок, регулирующих pH и окислительно-восстановительный потенциал. Процедура расчета основана на минимизации энергии Гиббса, которая может быть представлена в виде следующей задачи условной минимизации:

$$\begin{cases} G = \sum_{i=1}^{n} \mu_i y_i \equiv \Sigma\left(\mu_i^0 + RT \ln \gamma_i x_i\right) y_i \to \min\limits_{\{y_i\}} \\ \sum_{i=1}^{n} a_{ij} y_i = y_j^0,\ j \in 1:m \\ y_i \geq 0, i \in 1:n \end{cases},$$

где $y_j^0 (j \in 1:m)$ – заданные мольные количества базисных элементов; $\{a_{ij}\}_{n \times m}$ – стехиометрическая матрица системы, выражающая все компоненты системы через базис; $y_i, \mu_i, \mu_i^0 (i \in 1:n)$ – искомые количества (моль, г и др.) компонентов системы, их химические и стандартные химические потенциалы соответственно;

$x_i, \gamma_i (i \in 1:n)$ – концентрации и соответствующие (используемой концентрационной шкале) коэффициенты активности компонентов системы.

В качестве входных данных используются корректирующие добавки, вводимые в теплоноситель, регулирующие pH среды. Выходными результатами такого расчета являются:

- показатели концентрации растворенных продуктов коррозии в первом контуре;

- состав отложений при термодинамическом равновесии;
- прогноз образования продуктов коррозии в зависимости от химического состава цикла.

Модель использовалась для расчета растворимости различных составов оксидных слоев, измеренных в реакторе ВВЭР. Проведенные расчеты по растворимости магнетита на рис. 1 сравнивались с экспериментальными данными из литературных источников, приведенными на рис. 2. На рис. 2 показана различная растворимость магнетита в зависимости от pH при разных температурах в восстановительных условиях. Как видно кривым растворимостей магнетита на графиках, достигнуто хорошее совпадение измеренных и расчетных данных растворимости железа. На рис. 3 показаны растворимости оксидов железа, циркония и никеля в зависимости различной концентрации борной кислоты, а также образования форм веществ. Основные химические формы - это Fe^{2+} , $Fe(OH)_3$, Ni^{2+}, $NiOH^+$, $Zr(OH)_4$. Содержание данных форм меняется с учетом роста температуры, концентрации борной кислоты, также зависит от pH раствора. Концентрация железа и никеля увеличивается, а цинка незначительно уменьшается.

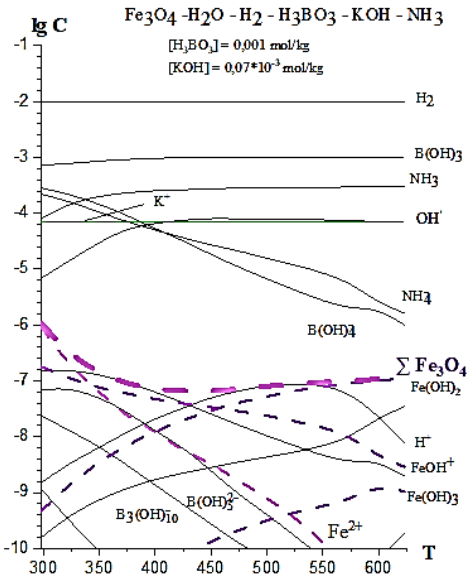


Рис. 1. Влияние температуры на химическое взаимодействие при скоординированном содержании борной кислоты и гидроксида калия для системы Fe - H_2O-H_3BO_3- KOH-NH_3 - H_2

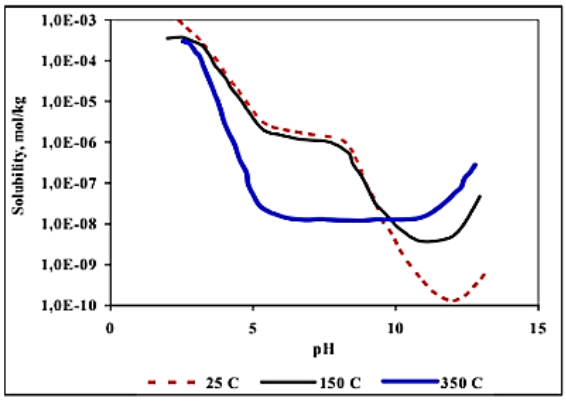


Рис. 2. Влияние pH на растворимость магнетита при различных температурах (восстановительные условия) [4]

При исследовании поведения Fe_3O_4, NiO и ZrO_2 получено, что максимальное осаждение продуктов коррозии имеет место в начальный период работы реактора, поскольку регламентируемое содержание щелочи KOH занижено. Следовательно, целесообразно добавление щелочи по сравнению с регламентируемым ее количеством.

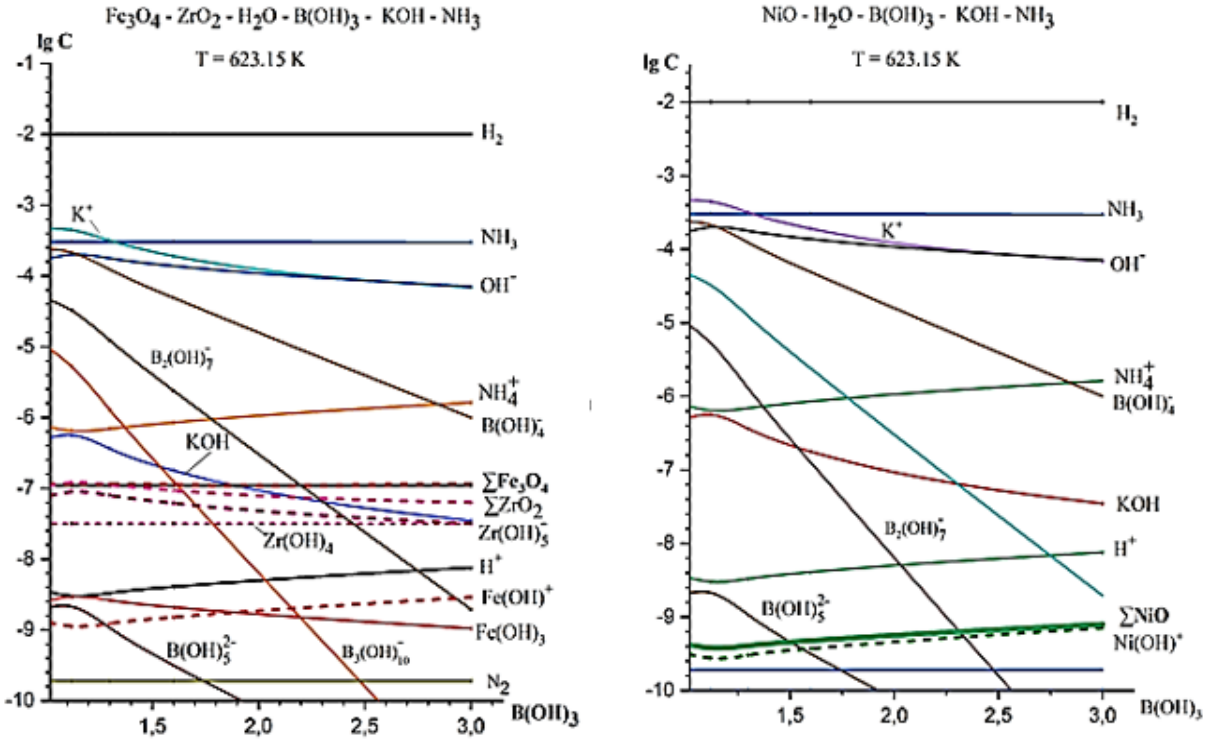


Рис. 3. Влияние концентрации борной кислоты на системы {Fe2O3 –ZrO2 – NiO} - H2O-H3BO3- KOH при температуре 623.15 К

Получено также, что величина концентрации борной кислоты, определяющая падение восстановительного потенциала системы, способствует смене щелочной реакции раствора на кислую. Очень существенно (особенно при низких температурах) на растворимость влияют окислительно-восстановительные характеристики. Получено, что кривые растворимости проходят через минимум, который с ростом температуры смещается из слабоокислительной в слабовосстановительную зону и поднимается.

Выводы

Растворимость - основная величина в определении диффузионных процессов перехода продуктов коррозии в поток теплоносителя. Она зависит как от состава продуктов коррозии, так и от от физико-химического состава теплоносителя. Ее показатели мы и получаем в результате расчетов моделирования Построенные на этой основе зависимости растворимости от температуры и концентраций добавок позволяют выявить температурные и концентрационные зоны возрастания и убывания растворимости, оценить поведение ПК в теплоносителе первого контура реактора типа ВВЭР. Данный подход позволяет решать вопросы оптимизации существующих водно-химических режимов. Этот и другие выводы по результатам моделирования дают основу для выработки и внедрения мероприятий (корректировка и комбинирование водно-химических режимов, замена конструкционных материалов и др.), обеспечивающих снижение отложений продуктов коррозии и повышение мощности турбин энергоблоков.

Литература

1. Brinkley Jr. S.R. Calculation of the equilibrium composition of systems of many constituents. J. // Chem. Phys. 1947. vol. 15, no. 2. pp. 107–110.
2. McBride B.J., Gordon S. Computer program for calculation of complex chemical equilibrium compositions and applications. NASA Reference Publication. Cleveland, Ohio, Lewis Research Center. 1994.
3. Belov G.V., Trusov B.G. Termodinamicheskoe modelirovanie khimicheski reagiruyushchikh system [Thermodynamic modeling of chemically reacting systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ. 2013.
4. Kritsky V.G. Water chemistry and corrosion of NPP structural materials, Sinto. 1996.

УДК 544.773.432

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ АКРИЛАТОВ И КОЛЛАГЕНА

А.И. Кашурин, О.В. Лунева
Научный руководитель – д.т.н., профессор М.В. Успенская
Университет ИТМО
e-mail: pkashurin@mail.ru

Аннотация
В ходе работы были получены методом свободно-радикальной полимеризации в водной среде полимерные гидрогелевые композиции на основе акриловой кислоты, акриламида и коллагена с различной долей сшивающего агента. Были изучены влияние рецептурных параметров на время начала гелеобразования (ВНГ) системы и сорбционные характеристики конечного продукта в физиологическом и буферном растворах. Вариация степени сшивающего агента обусловлена низкой механической стабильностью акриловых гидрогелей и поиском наилучших значений сорбционных констант.

Ключевые слова
Акриловые гидрогели, свободно-радикальная полимеризация, сшивающий агент, коллаген, сорбция, физиологический раствор, буферный раствор.

Гидрогели представляют собой гидрофильные трехмерные сетки, образованные посредством химических и/или физических связей. Ключевой особенностью таких материалов является способность поглощать и переносить значительные объемы растворителя в своей пористой структуре. Характеристики «идеального» гидрогеля тесно коррелируют со спецификой его использования. Говоря про гидрогели, предназначенные для использования в медицине, к «идеальным» характеристикам можно отнести – биосовместимость, биоактивность, хорошая проницаемость для растворителя, механическая стабильность и т. д. [1]. Однако, как показывает практика, обеспечить весь перечень важных параметров в готовом продукте не предоставляется возможным. Поэтому исследователи при синтезировании опытных образцов гидрогеля ищут баланс между необходимым комплексом свойств и конкретной областью реализации продукта. Так, гидрогели, используемые для прикладных медицинских назначений, представляют интерес в исследованиях, связанных с их механическими и сорбционными характеристиками при различных рецептурных и технологических параметрах, а также при вариации внешних факторов.

Гидрогели на основе акриловой кислоты являются одними из самых разнообразных и востребованных видов полимеров, которые часто встречаются в научных трудах исследователей из разных стран, в частности, как основа раневой повязки. Так, Фатуречи, совместно с коллегами, исследовали влияние полиакриловой кислоты (ПАК) на механические свойства композитных гидрогелей [2]. В данном исследовании были получены композиции гидрогеля желатин/полиакриловая кислота с различным содержанием ПАК в диапазоне значение 10–30 мас. % с шагом 10 мас. % методом окислительно-восстановительной полимеризации с термической инициацией. Результаты исследования показали, что добавление ПАК (10 мас. %) в композицию желатин/полиакриловая кислота увеличивает модуль Юнга и максимальное напряжение. Последующее увеличение ПАК (>10 мас. %) вызывало более низкую механическую

прочность и более низкое нелинейное поведение, обеспечивая почти линейное поведение при сжатии образцов композитного гидрогеля.

Коллаген – это фибриллярный белок, который формирует соединительные ткани в организме человека, в основном кожу, суставы и кости. Эта молекула является одной из наиболее распространенных у млекопитающих. Его относительное содержание во всех тканях составляет 25–35 % от общего содержания белка в организме. Благодаря отсутствию токсических и канцерогенных свойств, низкой антигенности и биосовместимостью получил широкое распространение в медицинской практике [3].

Синтез композиции акрилового гидрогеля с наполнителем в виде коллагена является перспективным исследованием с точки зрения создания продукта, не вызывающим отторжения организма при длительном использовании и обладающим высокими показателями биосовместимости.

Таким образом, **целью настоящей работы** было изучение влияния условий синтеза на конечные характеристики композиций акрилового гидрогеля и коллагена в качестве основы раневой повязки.

Материалы и методы исследования

В настоящей работе были получены гидрогели на основе акриловой кислоты и акриламида путем свободно-радикальной полимеризации в водной среде при варьировании соотношения массовых долей сшивающего агента к мономерам 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 % при температуре синтеза 40 °С, степени нейтрализации акриловой кислоты 0,8, соотношении акриловой кислоты к акриламиду 60:40 соответственно. В качестве инициирующей системы использовали окислитель – пероксидисульфат аммония (ПСА, АО «ЛенРеактив») и восстановитель – N,N,N’,N’-тетраметилэтилендиамин (ТЕМЕД) (SIGMA-ALDRICH, 99 %). В качестве сшивающего агента был использован, N,N-метилбисакриламид (МБА, ЗАО «Вектон»).

Исследование времени начала гелеобразования (ВНГ) осуществлялось по стандартной методике – по потере текучести реакционного раствора. Ниже представлен рисунок, на котором изображена зависимость ВНГ от вариации массовой доли сшивающего агента в системе. Увеличение концентрации сшивающего агента приводит к уменьшению ВНГ, что согласуется с законом действующих масс [4].

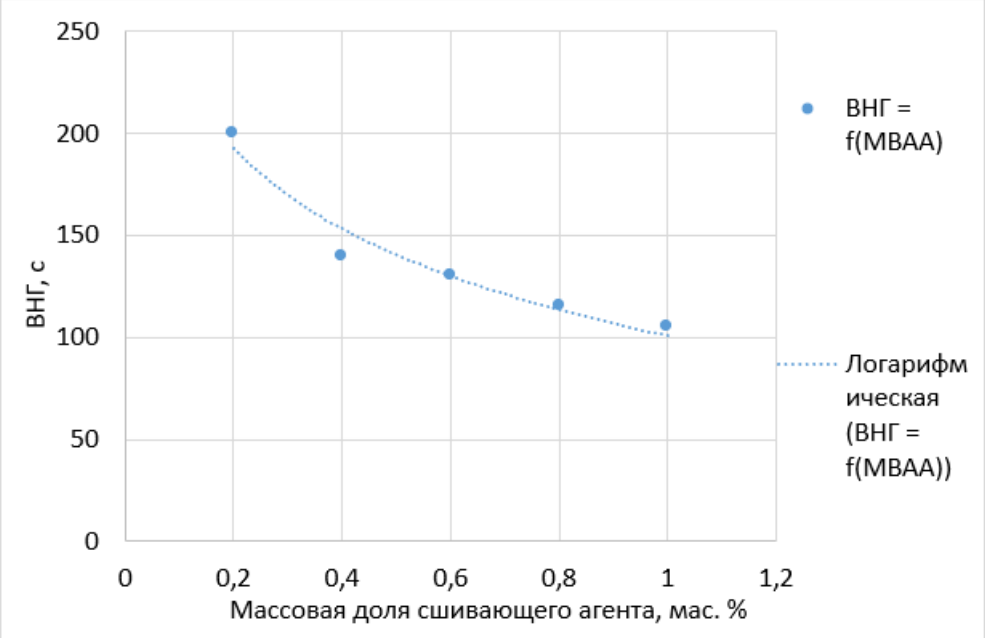


Рисунок. График зависимости ВНГ от массовой доли сшивающего агента в системе

При анализе полученных экспериментальных данных было найдено уравнение аппроксимации, имеющее логарифмическую зависимость с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$.

$$\tau_{\text{ВНГ}} = -57,2\ ln\ ln\ (x)\ + 100,71,$$

где x – массовая доля сшивающего агента.

Набухание гидрогелей проводили в физиологическом (pH = 7,0–7,5) и фосфатно-буферном (pH = 7,2–7,6) растворах. Степень набухания рассчитывали по формуле:

$$Q_\infty = \frac{m_s - m_0}{m_0},$$

где m_s – масса набухшего образца, г., m_0 —масса высушенного образца, г.

Для описания диффузии растворителя в гидрогель были использованы следующие модели:

- математическая модель Пеппаса-Корсмейера:

$$\frac{Q_t}{Q_\infty} = kt^n,$$

где Q_t и Q_∞ – степень и равновесная степень набухания, соответственно, представляющие собой количество растворителя, диффундировавшего в гидрогель в момент времени t и в бесконечное время (состояние равновесия), отнесенное к 1 грамму сухого вещества. k является константой, связанной со структурой полимерной сетки, а показатель степени n является числом, определяющим тип диффузии.

- кинетическая модель сорбции псевдо-второго порядка:

$$Q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 \times Q_e^2} + \frac{t}{Q_e}},$$

где k_2 – константа скорости сорбции модели псевдо-второго порядка (г·(ммоль·мин)$^{-1}$), t – время (мин).

Содержание влаги определяли следующим образом: образцы сушили в термостатической печи при 50 ºС для удаления воды до постоянного веса. Содержание влаги рассчитывали по формуле:

$$\gamma = \frac{m_0 - m_c}{m_0} \times 100\%,$$

где m_0 – начальная масса образца, г, m_c - масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

Ниже, в табл. 1 и 2 представлены некоторые характеристики набухания в физиологическом и фосфатно-буферном растворах соответственно (коэффициент диффузии (n), параметр сетки по Фику (k), константа скорости набухания (k_2)) новых гидрогелевых коллагенсодержащих акриловых композитов в зависимости от вариации массовой доли сшивающего агента в системе.

Математическая модель Пеппаса-Корсмейера описывает диффузию растворителя в гидрогелевую матрицу. Константа уравнения Фика характеризует скорость сорбции раствора материалом на первоначальных стадиях набухания (до $Q = 0,6Q_{max}$). Анализируя относительные скорости диффузии и релаксации полимерной структуры по степенному показателю n, можно сделать вывод по типу диффузии. Коэффициент диффузии n – для всех образцов лежит в диапазоне 0,5–1, что указывает на нефиковский

(аномальный) механизм диффузии, который описывает те случаи, когда скорости диффузии и релаксации полимерных цепей сопоставимы.

Таблица 1

Сорбционные характеристики гидрогеля при вариации степени сшивки в физиологическом растворе

Соотношение массовых концентраций МБАА к мономерам, масс. %	$k_2 \cdot 10^3$, (г/(ммоль·мин))	n	K, мин$^{-1}$	γ, %	Q_{max}, г/г
0,2	10	0,6	0,03	72	24
0,4	5	0,6	0,02	72	23
0,6	5	0,6	0,02	71	22
0,8	7	0,5	0,04	73	19
1	7	0,5	0,04	73	18

Таблица 2

Сорбционные характеристики гидрогеля при вариации степени сшивки в фосфатно-буферном растворе

Соотношение массовых концентраций МБАА к мономерам, масс. %	$k_2 \cdot 10^3$, (г/(ммоль·мин))	n	K, мин$^{-1}$	γ, %	Q_{max}, г/г
0,2	10	0,6	0,03	72	28
0,4	5	0,6	0,02	72	27
0,6	5	0,6	0,03	71	22
0,8	6	0,5	0,04	73	21
1	7	0,5	0,04	73	20

Мы наблюдаем, что сорбционная емкость для образца с массовой долей сшивающего агента 0,2 мас. % максимальна в обоих случаях и монотонно убывает по мере увеличения степени сшивки системы. Это обусловлено тем, что с увеличением концентрации сшивающего агента формируется более плотная сеть, что приводит к снижению равновесного коэффициента набухания. Данные результаты находят подтверждение в аналогичных исследованиях, где также варьировали степень сшивки в системе [5].

В ходе настоящей работы были получены полимерные гидрогелевые композиты на основе полу-ВПС сополимера акриловой кислоты, акриламида и коллагена методом свободно-радикальной полимеризации при вариации массовой доли сшивающего агента в системе.

Исследована зависимость времени начала гелеобразования. ВНГ закономерно уменьшается по мере увеличения массовой доли сшивающего агента согласно закону действующих масс, а для образца с массовой долей сшивающего агента 0,2 мас. % значение равняется 200 сек.

Изучены сорбционные характеристики коллаген-акриловых композитов в физиологическом и фосфатно-буферном растворах. Процесс сорбции молекул растворителя в полимерную сетку описывается нефиковской (аномальной) диффузией. Была установлена полимерная гидрогелевая композиция с массовой долей сшивающего агента 0,2 мас. %, обладающая наилучшими сорбционным характеристиками в физиологическом (1) и фосфатно-буферном (2) растворах, а именно: коэффициент диффузии $n_1 = 0,6$ и $n_2 = 0.6$; параметр сетки Фика $k_1 = 0,03$ и $k_2 = 0,03$ мин$^{-1}$; константа

скорости набухания k_{21} = 0,01 и k_{22} = 0,01 г/(ммоль·мин); сорбционная емкость Q_1 = 24 и Q_2 = 28 г/г, соответственно.

Как известно, получение необходимых характеристик гидрогелей зависит от области применения продукта и условий его использования. Полученные гелеобразующие и сорбционные характеристики с высокой долей достоверности помогут на стадии теоретического расчета компонентов прогнозировать будущие свойства готовых полимерных материалов, что расширяет границы его клинической реализации.

Литература

1. Ahsan A. et al. An overview of hydrogels and their role in transdermal drug delivery //International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials. 2021. Т. 70. №. 8. С. 574–584.
2. Faturechi R. et al. Influence of Poly (acrylic acid) on the Mechanical Properties of Composite Hydrogels //Advances in Polymer Technology. 2015. Т. 34. №. 2. DOI:10.1002/adv.21487.
3. Gorgieva S., Kokol V. Collagen-vs. gelatine-based biomaterials and their biocompatibility: review and perspectives //Biomaterials applications for nanomedicine. 2011. Т. 2. С. 17–52.
4. Игнатьева Ю.А., Успенская М.В., Касанов К.Н. Синтез сорбирующих полимеров медицинского назначения //Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2014. №. 23 (49). С. 23–25.
5. Mandal B., Ray S. K. Swelling, diffusion, network parameters and adsorption properties of IPN hydrogel of chitosan and acrylic copolymer //Materials Science and Engineering: C. 2014. Т. 44. С. 132–143.

УДК 66.01-52

РАЗРАБОТКА МИКРОРАЗМЕРНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ НОСИТЕЛЕЙ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ ЛЕКАРСТВЕННННЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ВНУТРИПУЗЫРНОЙ ДОСТАВКИ

М.Е. Лобанов[1,2], Савельева М.С.[1]
Научный руководитель – к.х.н. О.А. Майорова[1,3]
1 – ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»
2 – ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Министерства здравоохранения Российской Федерации
3 – ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»
e-mail: mishalobanov2016@bk.ru

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект №21-75-10042.

Аннотация
В современной урологии существует проблема, связанная с низкой терапевтической эффективностью и болезненностью процедуры внутрипузырной инстилляции. В данной работе предлагается подход к решению этой проблемы с помощью системы микроразмерных макромолекулярных носителей, позволяющих осуществить контролируемое и пролонгированное высвобождение лекарственных препаратов. Представлен метод синтеза микроразмерных макромолекулярных частиц с контролируемым высвобождением лекарственных препаратов, продемонстрированы свойства мукоадгезии разработанного микрогеля к уротелию мочевого пузыря свиньи и лабораторной мыши ex vivo и in vivo, показан пролонгирующий эффект in vitro и ex vivo.
Ключевые слова
Микрогели, изолят сывороточного белка, внутрипузырная инстилляция, контролируемое высвобождение, микромолекулы.

Введение

В настоящее время проблема выбора терапии заболеваний мочевого пузыря (МП) представляет высокую актуальность в урологии. Инфекции мочевыводящих путей (ИМП) переносят около 150 млн людей в год, в результате которых одним из последствий в 50-70% случаев происходит развитие цистита, рецидив заболевания наблюдается у 30% пациентов [1]. В Российской Федерации заболеваемость циститом достигает до 30 млн случаев в год [2]. Одним из ведущих процессов развития данного заболевания принято считать снижение буферной способности уротелия. Снижение факторов защиты происходит посредством изменения поверхности слизистого слоя, за счет уменьшения содержания гликозамингликанов (ГАГ) в его структуре [3]. В зависимости от вида цистита и по его первопричине возникновения назначаются различные схемы терапий, как системного действия, так и местного. Терапевтическая схема может содержать в себе до 9 курсов назначения антибактериальных препаратов (АБ) разного спектра действия, нацеленных на звено бактериального генеза. Также для восстановления ГАГ-слоя уротелия может применяться гиалуроновая кислота, хондроитин сульфат (ХС) [4]. Применение гиалуроновой кислоты, ХС показано при

внутрипузырном введении (инстилляции), при лечении постлучевого цистита, хронического интерстициального цистита. [4, 5] На сегодняшний день антибактериальную терапию при ведении пациентов с циститом, согласно клиническим рекомендация Минздрава РФ [6], принято назначать системного действия, в связи с неприятностью процедуры внутрипузырной катетеризации и необходимостью нескольких повторяющихся процедур инстилляции. Также фактором выбора АБ системного действия служит патологически учащенные позывы мочеиспускания, вымывающие лекарственный препарат из МП. Для достижения достаточной терапевтической концентрации лекарственного вещества в органе-мишени требуется значительно большая доза активного вещества при системном введении, чем при местной терапии цистита, за счет прохождения деактивации части АБ в печени.

При внутрипузырной инстилляции имеет место быть снижение дозы АБ, а также отсутствие значительного ряда побочных эффектов, оказываемых на организм в целом, получаемых за счет токсичных продуктов окисления АБ при системной терапии. Местное воздействие, посредством катетеризации мочевого пузыря, может быть нацелено на группу пациентов, с патологией печени и почек, а также беременных [7], с целью исключения тератогенного воздействия на плод.

Таким образом, разработка микроразмерных носителей лекарственных препаратов, проявляющих свойства адгезии к уротелию мочевого пузыря на продолжительное время, а также способных к пролонгированному высвобождению лекарственных препаратов является приоритетным направлением в современной урологии, нацеленным на обширный ряд патологий МП.

Цель исследования: разработка и синтез микроразмерных носителей на основе эмульсий с контролируемым и пролонгированным высвобождением лекарственных препаратов, проявляющие свойства мукоадгезии на поверхности уротелия.

Материалы и методы

Материалы. Льняное масло, используемое в качестве масляной фазы, было произведено компанией ОЛЕОС® (Россия). Мукоадгезивный протеин, изолят сывороточного протеина (ИСБ), был произведен компанией California Gold Nutrition® (США) и приобретен онлайн на iHerb. NaCl, KCl, $CaCl_2$, $NaHCO_3$, нильский красный, изотиоцианат родамина B (ТРИТЦ), изомер изотиоцианата флуоресцеина I (ФИТЦ) были приобретены у Sigma Aldrich (США). Мочевина (CH_4N_2O), NH_4Cl, $MgSO_4*7H_2O$, Na_2SO_4, $NaH_2PO_4*H_2O$, Na_2HPO_4 были приобретены у ReaChem (Россия). Диметилсульфоксид (ДМСО) был приобретен в компании «ЭкоХимАналит» (Россия). Во всех экспериментах использовалась деионизированная вода Milli-Q, которая была получена с помощью фильтрационной системы Millipore и использовалась во всех экспериментах.

Приготовление микрогелей. Микрогели на основе эмульсий, стабилизированные ИСБ, готовили методом самопроизвольного эмульгирования с помощью ультразвуковой гомогенизации с использованием стержневого гомогенизатора Bandelin Sonopuls HD 2070 (Германия). Был приготовлен раствор ИСБ в 0,9% NaCl с концентрацией 5% (мас./мас.). ФИТЦ-конъюгированный ИСБ (ФИТЦ-ИСБ) был получен путем ковалентной сшивки с использованием протокола, описанного в [8]. Вкратце, раствор ИСБ в PBS (20 мл, 5 мг/мл, pH 9) и раствор ФИТЦ в ДМСО (2,5 мл, 5 мг/мл) смешивали и перемешивали в течение 24 ч в темном месте и при 4°C. После этого раствор ФИТЦ-ИСБ помещали в диализный пакет, который погружали в 2 л деионизированной воды и выдерживали при перемешивании в течение 48 ч в темном месте при 4 ^{0}C. Приготовленный ФИТЦ-конъюгированный раствор ИСБ хранили в холодильнике. Масляную фазу окрашивали флуоресцентным красителем (нильский красный или ТРИТЦ). Раствор красителя в этаноле (70%) готовили с концентрацией 1 мг/мл. Раствор красителя добавляли к масляной фазе в соотношении 10% (об./об.). Полученную смесь перемешивали на вортексе ELMI V-3 (Латвия) до получения гомогенного раствора. ИСБ

– стабилизированные эмульсии готовили в соотношениях 1-3 (раствор ИСБ: масло (вес:вес)). Для получения эмульсий раствор ИСБ и масло смешивали в указанном соотношении в пробирке Эппендорфа объемом 5 мл. Затем проводили гомогенизацию смеси в течение 1 мин при частоте 20 кГц и плотности мощности 1 Вт/см^2. Полученную эмульсию фильтровали с помощью фильтрационной ячейки Amicon® Stirred Cell 50 мл (Merk Millipore, Gemany). На первом этапе свежеприготовленную эмульсию фильтровали с помощью мембранного фильтра с размером пор 0,45 мкм. После этого к концентрированной эмульсии в ячейке добавляли 10 мл физиологического раствора (0,9% NaCl) и полученную смесь снова фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм для удаления избыточных молекул белка. На следующем этапе к концентрированной эмульсии в ячейке добавляли эквивалентный объем физиологического раствора, чтобы получить образец с исходной концентрацией и объемом. Наконец, образец пропускали через мембранный фильтр с размером пор 10 мкм для отделения капель масла большого размера. Фильтрат, представляющий собой готовую эмульсию, помещали в стеклянный флакон и хранили в холодильнике при температуре +4^{o}C.

Исследование высвобождения модельного вещества из микрогелей. 1 мл модельной среды (физиологический раствор 0,9% NaCl) добавляли к 1 мл эмульсии в пробирке Эппендорфа на 2 мл. Образцы помещали в термошейкер Drybath (Thermo Scientific, США) и инкубировали при комнатной температуре (22°C) и непрерывном встряхивании. В фиксированные моменты времени образцы центрифугировали при 12000 об/мин. С помощью иглы шприца из пробирки отбирали 1 мл водной фазы. После этого в пробирку с образцом добавляли 1 мл модельной среды, после чего систему перемешивали на вортексе до гомогенного состояния и возвращали в термошейкер.

Полученные пробы разбавляли 1 мл этанола (70%) для растворения остаточного масла и осаждения остаточного белка. Смесь центрифугировали при 12000 об/мин, после чего отделяли жидкую фазу и анализировали ее на спектрофотометре. Для каждой временной точки были исследованы три независимых образца.

Для определения количества высвобожденных модельных веществ ФИТЦ-ИСБ и ТРИТЦ были измерены спектры поглощения полученных растворов в диапазоне 200–1000 нм с помощью микропланшетного ридера CLARIO Star Plus (BMG Labtech, Великобритания) и 96-луночного планшета Costar® для определения концентраций высвобождаемого ФИТЦ-ИСБ и ТРИТЦ. Максимумы поглощения были зарегистрированы при 478 нм и 552 нм для ФИТЦ и ТРИТЦ соответственно. Количество ФИТЦ-ИСБ и ТРИТЦ в растворах определяли количественно с использованием соответствующих калибровочных кривых для этих красителей. Для получения калибровочных кривых измеряли спектры поглощения растворов с различной концентрацией красителя в физиологическом растворе 0,9% NaCl.

Характеризация образцов. Оптические изображения образцов были получены с помощью инвертированного микроскопа Olympus IX73 (Япония) с объективом 40×. Для расчета среднего размера капель эмульсии было проведено не менее 100 измерений на каждом изображении. Было проанализировано по 5 изображений для каждого образца. Анализ изображений был проведен с использованием программного обеспечения Image J (https://imagej.nih.gov/ij/). Средний размер капель был представлен как среднее значение ± стандартное отклонение.

Оптические флуоресцентные изображения образцов были получены с помощью инвертированного конфокального лазерного сканирующего микроскопа Leica TCS SP8 X (Leica Microsystems), оснащенного импульсным лазерным источником белого света (мощность лазера 1,5 мВт), что позволяет пользователям задавать любую длину волны возбуждения от 470 до 670 нм. сфокусированный через объектив с числовой апертурой 20×/0,70. Флуоресценцию ФИТЦ возбуждали лазером 488 нм, эмиссию регистрировали

на 500-540 нм. Флуоресценцию нильского красного возбуждали лазером 580 нм, эмиссию регистрировали на 600–700 нм.

ζ-потенциал частиц в микроэмульсии оценивали на приборе Zetasizer Nano ZS (Malvern Ins. Ltd, Великобритания).

Исследование мукоадгезивных свойств микрогелей. Изучение свойства адгезии к уротелию мочевого пузыря *ex vivo* проводили на мочевом пузыре свиньи с помощью инвертированного микроскопа Olympus IX73 с объективом 40× и микропланшетного ридера CLARIO Star Plus. Чтобы исключить автофлуоресценцию ткани мочевого пузыря, были также получены оптические флуоресцентные изображения интактных образцов.

В качестве объектов исследования использовались участки одного мочевого пузыря одинакового размера - 1x1 $см^2$. После регистрации автофлуорисценции, на образцы наносились эмульсии в объеме 100 мкл, затем по истечении 10 мин производили промывку раствором искусственной мочи, приготовленной согласно протоколу, описанному в [9]. Для промывки брали 6 мл искусственной мочи, всего было проведено 3 промывки. После каждой промывки были получены флуоресцентные изображения образцов мочевого пузыря. Для каждого измерения были использованы три идентичных образца мочевого пузыря.

В целях определения количества модельного вещества ФИТЦ, которое удалось адсорбировать на поверхности мочевого пузыря в ходе аппликации эмульсий, была проведена гомогенизация всех образцов мочевого пузыря после снятия с них оптических флуоресцентных изображений. Гомогенизацию проводили с помощью инкубации образцов мочевого пузыря в 1 мл раствора трипсина в Tris-HCl буфере (концентрация 0,5 мг/мл) в течение 60 мин при температуре 37ºC и непрерывном встряхивании на цифровой сухой встряхивающей ванне Thermo Scientific™. После этого, образцы центрифугировались для отделения осадка. Количество ФИТЦ было определено в полученной жидкой фазе с использованием спектрофотометрического метода на приборе CLARIO Star Plus.

Лабораторных животных лечили в соответствии с правилами Саратовского государственного медицинского университета (протокол Комитета по этике № 7 от 02.02.2021), Женевской конвенцией 1985 г. (Международные руководящие принципы проведения биомедицинских исследований с участием животных).

Для исследования адгезии микрогелей к уротерию *in vivo* использовались лабораторные мыши-самки линии Balb/c в возрасте 6-8 недель (вес 20-25 г), количеством 12 особей. Животные были поделены на 4 группы (по три особи в каждой): контрольная группа, и три экспериментальных группы («1 ч», «5 ч» и «24 ч»). Перед началом эксперимента была проведена анестезия животных с помощью (смесь золетила (40 мг/кг, 50 мкл, Virbac SA, Carros, Франция) и 2% рометара), (10 мкл и 10 мг/кг, Spofa, Чехия)) интрапеританиально.

Мышам проводили процедуру катетеризации мочевого пузыря с целью местной доставки физраствора (контрольная группа) или эмульсии (экспериментальные группы). Группы животных выводили передозировкой анестезии из эксперимента через соответствующие интервалы времени после завершения процедуры катетеризации (через 1 ч, 5 ч и 24 ч). Оценку способности к удержанию эмульсионного микрогеля в мочевом пузыре при естественных физиологических процессах производили путем оценки концентрации модельного вещества ФИТЦ в гомогенизатах мочевых пузырей с помощью метода, описанного выше.

Результаты и обсуждения

На изображении полученного эмульсионного микрогеля рис. 1А видна однородная гомогенная структура микрогеля, стабильная при комнатной температуре. При получении изображения с помощью оптической микроскопии (рис. 1б), видны частицы, обладающие сферической формой. Размер частиц, измеренный на основе оптических

изображений, составил 3,5 мкм. Дзета-потенциал составил -31 mV, что свидетельствует об образовании стабильных микроразмерных эмульсионных гелей.

На изображении на рис. 1В можно наблюдать масляное ядро, окрашенное гидрофобным красителем ТРИТЦ в красный цвет, и белковую оболочку на основе коньюгата ИСБ-ФИТЦ, имеющую зеленый цвет, тем самым подтверждая строение частиц микрогеля. Данное строение микрогелевых частиц позволяет осуществлять загрузку лекарственных препаратов как гидрофильной, так и гидрофобной структуры. Что может быть очень важным для осуществления различных схем терапевтического подхода к пациенту.

Кинетика высвобождения красителей ТРИТЦ и ФИТЦ в физрастворе (рис. 1Г и рис. 1Д) показывает, что выход красителя из масляного ядра составил 90%, выход на плато наблюдается в течении 24 часов, с другой стороны выход красителя из белковой оболочки до 60%, максимальная скорость достигалась в течении 24 часов. Продолжительность высвобождения красителя составила до 96 часов (*in vitro*), что демонстрирует потенциальную возможность использования частиц в качестве носителей лекарств с пролонгированным высвобождением.

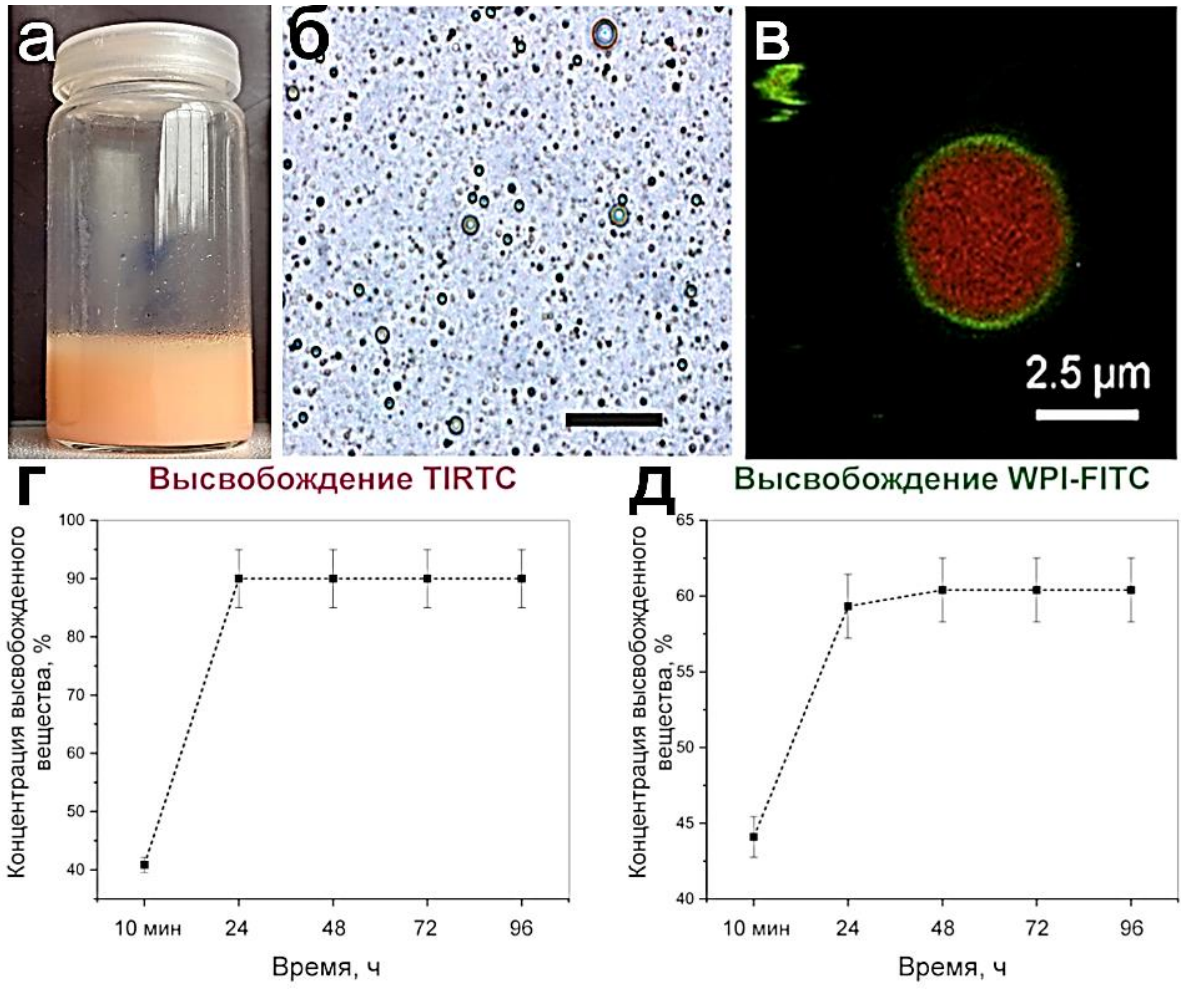


Рис. 1. А – фотография суспензии микрогеля, полученного при соотношении вода-масло 1-3. Б – оптическое изображение капель микрогеля. В – КЛСМ-изображение частицы микрогеля. Масляное ядро окрашено ТРИТЦ, водная оболочка - ФИТС конъюгатом ИСБ. Г– Профиль высвобождения красителя ТРИТЦ из микрогелей в течение 96 ч. Пределы погрешности представлены как стандартное отклонение. Д – Профиль высвобождения красителя ФИТЦ из микрогелей в течение 96 ч. Пределы погрешности представлены как стандартное отклонение

Мукоадгезивные свойства эмульсионного микрогеля, изученные на мочевом пузыре свиньи *ex vivo* с помощью флуоресцентной микроскопии, представлены на рис. 2А. На изображении представлено сравнение между полученным контрольным интактным образцом и образцами, обработанными эмульсионными микрогелями, с последующими смывками искусственной мочой. Можно заметить, что каждая последующая промывка лишь незначительно смывает часть адгезированных микроэмульсий. Наличие флоуресценции ткани указывает на адгезию частиц к уротелию после каждой последующей промывки.

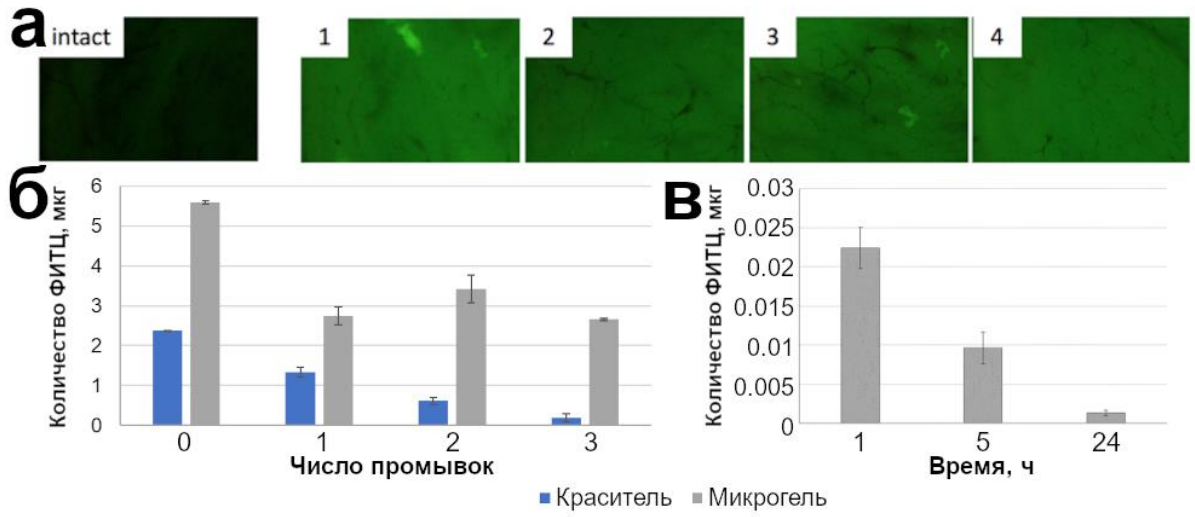


Рис. 2. А. Флуоресцентные изображения мочевых пузырей свиньи до/после инкубации с 100 мкл суспензии микрогеля. Б. Количество удержанного красителя ФИТЦ на поверхности уротелия мочевого пузыря свиньи в зависимости от количества промываний. Пределы погрешности представлены как стандартное отклонение. В. Количество удержанного красителя ФИТЦ на поверхности уротелия мочевого пузыря мыши в зависимости от времени. Пределы погрешности представлены как стандартное отклонение

На рис. 2Б продемонстрирован спектрофлоуметрический анализ данных, полученных с кусочков мочевого пузыря свиньи. Примерно половина красителя ФИТЦ в мкг удерживается на поверхности уротелия после применения разного количества смывок искусственной мочой, которые имитируют ток мочи в органе. Полученные данные могут свидетельствовать об проявлении адгезивных свойств микрогелевых частиц на поверхности уротелия. Спектр применения частиц может не ограничиваться только мочевым пузырем, известно, что слизистая, которая выстилается на внутренней поверхности мочевого пузыря, имеет свое продолжение в уретральном канале, а также имеется в мочеточниках и лоханках почек. Данные структуры в мочевой системе выстланы единой и непрерывной слизистой, попадание частиц в мочеточники и лоханки почек возможно при пузырно-мочеточниковом рефлюксе (ПМР) с током мочи, в уретральный канал при актах мочеиспускания. Таким образом, разработанные микрогелевые структуры имеют обширный спектр возможного применения, особенно актуальный при поверхностном раке мочевого пузыря, рецидив которого по одной из теорий связан с моноклональной транслокацией злокачественных клеток-потомков (микрометастазов) по поверхности слизистой оболочки, подслизистой и перемещения между слизистым и подслизистым слоем.

Результаты спектрофлоуметрии гомогенизатов мочевых пузырей мышей *in vivo* после инстилляции проиллюстрированы на рис. 2В, данные показывают количественную оценку накопления красителя ФИТЦ-ИСБ в мочевом пузыре мыши. Адгезия, вероятно, связана с молекулярной структурой белка ИСБ и способностью его к

образованию дисульфидных связей с муцином, находящимся в уротелии. Наблюдается тенденция к снижению количества красителя, что является следствием естественного физиологического процесса жизнедеятельности. При этом, через час после инстилляции в мочевом пузыре удерживается в среднем до 0.22 мкг красителя от вводимой дозы, через пять часов количество снижается до 0,01 мкг. Через 24 часа небольшое количество красителя все же остается в мочевом пузыре (0,001 мкг). Таким образом, можно говорить об удержании эмульсионных микрогелей в органе и пролонгированном высвобождении веществ из них на поверхности уротелия мочевого пузыря.

Выводы

Разработанные микроразмерные макромолекулярные носители могут быть использованы в лечении цистита, рака мочевого пузыря, заболеваний затрагивающие слизистую мочевыделительной системы, оказывая местное воздействие с пролонгированным высвобождением лекарственного средства. Эмульсионные микрогели позволяют осуществить иммобилизацию и доставку как гидрофобных, так и гидрофильных препаратов. Эмульсионные микрогели способны обеспечить пролонгированное высвобождение иммобилизованного препарата до 96 часов (*in vitro*). Эмульсионные микрогели проявляют свойства мукоадгезии к уротелию мочевого пузыря (*ex vivo*). Показано удержание в мочевом пузыре лабораторных мышей до 24 часов (*in vivo*).

Литература

1. Касымов А.Х. и др. Бактериальные неспецифические циститы и различные методы их лечения //Наука о жизни и здоровье. 2019. №. 3. С. 19-31.
2. Аполихин О.И. и др. Эпидемиологическое исследование распространенности цистита у женщин Воронежской области //Экспериментальная и клиническая урология. 2021. №. 1. С. 10-18.
3. Царева А.В. Острый и рецидивирующий цистит. Сложный пациент //Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение. 2021. Т. 5. №. 3. С. 130-133.
4. Перепанова Т.С. и др. Внутрипузырное восполнение гликозаминогликанов при ведении пациентов с циститами //Экспериментальная и клиническая урология. 2019. №. 3. С. 110-116.
5. Гутрова Е.И. и др. Системное и внутрипузырное лечение постлучевого цистита: место препаратов гиалуроновой кислоты //Медицинская наука и образование Урала. 2020. Т. 21. №. 3. С. 120-130.
6. Клинические рекомендации Минздрава РФ «Цистит у женщин»: утв. Минздравом РФ от 21.05.2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/14_2 (дата обращения: 13.04.2022).
7. Тетерина Т.А., Аполихина И.А., Иванова Е.А. Анатомо-функциональные особенности женской уретры: посткоитальный цистит //Медицинский оппонент. 2021. Т. 3. №. 15. С. 35.
8. Mayorova O.A. et al. Endovascular addressing improves the effectiveness of magnetic targeting of drug carrier. Comparison with the conventional administration method //Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine. 2020. Т. 28. С. 102184.
9. Chutipongtanate S., Thongboonkerd V. Systematic comparisons of artificial urine formulas for in vitro cellular study //Analytical biochemistry. 2010. Т. 402. №. 1. С. 110-112.

УДК 615.322

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ АНТОЦИАНОВ ИЗ ПЛОДОВ И ЖОМА ЯГОД VACCINUM MYRTILLUS

В.С. Фофанов[1,2], К.К. Мишин[1], Д.М. Кочура[1], Д.В. Криворотов[1]
Научный руководитель – к.х.н. Е.В. Попова[1,2]
1 – ФГУП НИИ гигиены, профпатологии
и экологии человека ФМБА России
2 – Университет ИТМО
fofanov.vasilii@gmail.com

Аннотация
В работе приводится методика выделения антоциановых пигментов из ягод черники, а также проводится сравнение ключевых этапов технологического процесса и выбора наиболее оптимальной с точки зрения выхода антоцианов с целью дальнейшего получения сухого экстракта, пригодного для включения в состав рецептуры БАД. Выбор ягод черники обоснован высоким содержанием в ней антоциановых пигментов.
Ключевые слова
Черника, антоциановый пигмент, экстракция, концентрирование, уф-спектрофотометрия, жидкостная хроматография, масс-спектрометрия.

Плоды *Vaccínium myrtíllus* (черника) широко известны в фармакологии своим богатым витаминным составом (например, В1 и Р), а также большим разнообразием макро- и микроэлементов. Например, в плодах черники в большом количестве содержатся дубильные вещества, оказывающие положительное действие на пищеварительную систему организма. Богата черника также сахарами, органическими кислотами (например, лимонной и яблочной), аскорбиновой кислотой и каротином. Известно, что пектины, входящие в состав ягоды способен связывать и выводить из организма радиоактивные элементы, токсины и тяжелые металлы. Однако, наибольший интерес к этой ягоде в последнее время вызван высоким содержанием в ней антоциановых пигментов.

Антоцианы – природные флавоноиды, являющиеся конечными веществами в цепи метаболизма фенилпропаноидных соединений в растениях, отвечающие за их красную и синюю окраску [1]. В современной биотехнологии и фармацевтической разработке эти вещества все чаще находят свое применение не только как природные колоранты для медицинской и пищевой промышленности, но и как самостоятельная субстанция. Так, например, антоцианы гибискуса могут быть использованы при лечении заболеваний печени и повышенном артериальном давлении. Антоцианы черешни могут использоваться при необходимости ингибирования образования пероксида липидов, вызывающего нарушения со стороны органов и систем организма. В работе [2] установлено, что данный класс соединений снижает скорость деления раковых клеток.

Класс антоциановых пигментов весьма разнообразен (рисунок) – тип их основ во многом определяется ферментами дигидрофлаванол-4-редуктазам, высокоспецифичными по отношению к соответствующим дигидрофлавонолам.

Выделение антоциановых методом экстракции является одним из наиболее перспективных методов. Данный метод позволяет в относительно мягких условиях выделять как свободные антоцианы, так и их гликозидные формы. Как правило, наиболее распространенным основным экстрагентом является этиловый спирт. Известна методика выделения антоцианов из черники, в которой в качестве экстрагента авторы предлагают подкислять 0,02%-ной фосфорной кислотой этиловый спирт [3]. В работе Gao Z. и

соавторов [4] показано, что экстракция антоцианов протекает наиболее эффективно при использовании объемной доли этилового спирта 60%, массовом соотношении измельченной черники к экстрагенту 1:10 (рисунок).

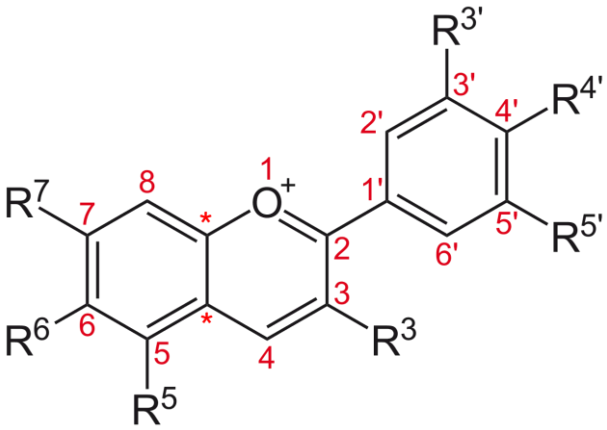


Рисунок. Структурная формула антоцианов

Экстракция многоатомными спиртами (например, этиленгликолем, глицерином) также является одним из возможным методов выделения антоцианов, которое, кроме того, позволяет повысить их стабильность [5].

Основные промежуточные стадии получения сухих экстрактов:

1. Сырье.
2. Первичный экстракт.
3. Обогащенная антоцианами фракция.
4. Сухой экстракт.

Целью данного исследования было разработать методику выделения антоциановых пигментов из ягод черники методом экстракции, а также определить их качественное и количественное содержание методами УФ-спектрофотометрии и хромато-масс-спектрометрии.

Методика подготовки сырья включала в себя гомогенизацию черничного сырья с разбавлением экстрагентом в соотношении 1:10 с использованием летучей уксусной кислоты и этилового спирта в качестве основных экстрагентов (этанол:дистиллированная вода:уксусная кислота в соотношении 137,72:59,02:1).

Содержание антоцианов в первичном экстракте, исследованное методом УФ-спектрофотометрии, оказалось крайне невелико. Поэтому, в дальнейшем раствор концентрировали на ионообменной полярной макроретикулярной смоле Amberlite XAD 7HP при постоянном перемешивании. Полученный вторичный экстракт элюировали с неподвижной фазы раствором экстрагента при помощи фильтра Шотта. Последующая отгонка спирта и кислоты осуществлялась на ротационном испарителе.

В ходе работы для получения сухих экстрактов сравнивали три способа сушки: лиофилизация, сушка на ротационном испарителе и сушка на распылительной сушилке Nano Spray Dryer B-90 (Buchi). Лиофильная сушка оказалась наиболее оптимальным с точки зрения выхода способом и была выбрана основным способом для дальнейшей работы. Наименее быстрым и удобным с точки зрения масштабирования метод - сушка на распылительной сушилке – показал наименьший выход готового продукта. Самый простой и бюджетный метод – сушка с помощью ротационного испарителя - отличается исключительной сложностью работы с полученным материалом и невозможностью автоматизирования процесса.

Качественный и количественный анализ состава полученного конечного продукта проводили методами спектрофотометрии и хромато-масс-спектрометрии. Кроме того, по стандартной методике была определена его насыпная плотность.

Определение качественного состава полученного сухого экстракта на конечной стадии проводили методом ВЭЖХ - МС (таблица).

Таблица

Результаты анализа хроматограм ВЭЖХ-МС антоцианов ягодного сырья

№ п/п	Масса/заряд (m/z)	Предполагаемая структура	Наличие
1	465	Дельфинидин-3-галактозид	Обнаружен
2	465	Дельфинидин-3-глюкозид	Обнаружен
3	449	Цианидин-3-галактозид	Обнаружен
4	435	Дельфинидин-3-арабинозид	Обнаружен
5	449	Цианидин-3-глюкозид	Обнаружен
6	479	Петундин-3-галактозид	Обнаружен
7	419	Цианидин-3-арабинозид	Обнаружен
8	479	Петунидин-3-глюкозид	Обнаружен
9	463	Пеонидин-3-глюкозид	Обнаружен
10	493	Мальвидин-3-гюкозид	Обнаружен

Количественное определение содержания антоцианов проводили методом УФ-спектрофотометрии на основании адаптированной японской методики определения антоцианов в ягодах.

Для этого точную навеску экстракта помещали в круглодонную колбу объемом 50 мл и растворяли в 30 мл 2% раствора HCl в метаноле. К колбе присоединяли обратный холодильник и кипятили на водяной бане в течение 30 мин, остужали до комнатной температуры, количественно переносили в мерную колбу на 100 мл, доводили объем раствора до метки 2% раствором HCl в метаноле и тщательно перемешивали. Полученные растворы помещали в кювету и измеряли оптическую плотность при длине волны 540 нм, в качестве образца сравнения (холостая проба) использовали 2% раствор HCl в метаноле.

$$A = (A_{510mn} - A_{700nm})_{pH1.0} - (A_{510mn} - A_{700nm})_{pH4.5},$$

где: A – поглощение

$$C_{\sum \text{ антоц,масс\%})} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot V}{\varepsilon \cdot l \cdot m} \cdot 100\%,$$

где: ε – коэффициент молярного поглощения антоцианина, используемого в качестве стандарта (для цианидин-3-глюкозида 26900), M – молекулярная масса антоцианина, используемого в качестве стандарта (для цианидин-3-глюкозида 449,2), F – разведение, V – объем, мл, l – длина кюветы, см, m – масса образца, мг.

В результате обработки данных спектрофотометрии было установлено, что процентное содержание антоциановых пигментов в сухом экстракте черники, полученном методом лиофильной сушки, составляет 28,9%, методом распылительной сушки – 12,4%, сушки на роторном испарителе – 20%.

Была разработана методика получения сухого экстракта черники, определено содержание в нем основных гликозидов, выбран наиболее перспективный способ сушки. В ходе работы была определена насыпная плотность данного продукта, которая составила 124,04 кг/м3, что позволило классифицировать его как легкий порошок.

На следующем этапе работы планируется усовершенствование методики путем использования депектинизирующих ферментов – пектиназы. Действие фермента обусловливает инактивацию имеющихся в сырье пектинов. В результате красящие и ароматические вещества выделяются из кожицы и мякоти в сок, что приводит к увеличению выхода антоцианов.

Также в настоящее время ведется работа по разработке регистрационного досье на планируемый БАД с целями его дальнейшей регистрации.

Литература

1. Полина С.А., Ефремов А.А. Состав антоцианов плодов черники обыкновенной, брусники обыкновенной и клюквы обыкновенной Красноярского края по данным ВЭЖХ // Химия растительного сырья. 2014. №2. С. 103-110.
2. Hou D-X. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins. // Current Molec. Med. 2003. V.3. P. 149-159.
3. Chorfa N. et al. An efficient method for high-purity anthocyanin isomers isolation from wild blueberries and their radical scavenging activity // Food Chemistry. 2015. V. 197. P. B. P. 1226-1234.
4. Gao Z. Extraction, Separation, and Purification of Blueberry Anthocyanin Using Ethyl Alcohol // Journal of Chemists and Chemical Engineers. 2017. V. 66. P. 655-659.
5. Саввин П.Н., Игнатова К.С., Ломакина А.Э. Особенности выделения антоцианов спиртами алифатического ряда // Вестник ВГУИТ. 2015. №2. С. 171-174.

ЭКОЛОГИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

УДК 504.064

ВЛИЯНИЕ НЕФИНАНСОВОЙ ОТЧЁТНОСТИ НА УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ AES CORPORATION

А. Афанасенкова[1], В.А. Захаров[1]
Научный руководитель – преподаватель А.Р. Волков[1,2]
1 – Университет ИТМО
2 – Институт экономики УрО РАН
e-mail: an.afanasenkova@gmail.com; zaharovslava19@yandex.ru; arvolkov@itmo.ru

Аннотация
В настоящее время, информация по раскрытию нефинансовой отчётности имеет большую значимость для предприятий промышленности. Это связано с неуклонным повышением внимания, как в бизнесе, так и в государственном управлении как фактор устойчивого развития. В данной работе анализируется использование рекомендаций TCFD (Task Force on Climate related Financial Disclosures) зарубежной, американской компанией AES Corporation по раскрытию нефинансовой информации. За основу анализа был взят стандарт GHG Protocol, а также информация по выбросам Scope 1, Scope 2 и Scope 3.
Ключевые слова
Нефинансовая отчетность, устойчивое развитие, TCFD, GHG Protocol, AES Corporation.

Проведение оценки рисков аналитиками в денежном эквиваленте – одно из важнейших и основных действий на финансовом рынке. Точечное проведение анализа, позволяет игрокам принимать верные и взвешенные решения. В наше время, когда вопросы, связанные с изменением климата, становятся проблемой повышенной важности, а оценка климатического риска набирает все большую популярность, появляются различные требования, законы и рекомендации, связанные с учетом данного риска предприятиями и его воздействием на окружающую среду. Инвесторам, которые вкладывают значительные ресурсы в организации, требуется объемная и полная информация о том, как они готовы справиться с подобным видом риска, а организации, имеющие данные стратегии минимизировать воздействие на биосферу, соответствующие различным требованиям и стандартам в области нефинансовой отчетности – получают конкурентные преимущества.

Государственное регулирование в области раскрытия нефинансовой информации, связанной с изменением климата планеты, стало формироваться совсем недавно. Сейчас, когда законодательная база несовершенна в этом вопросе, важнейшая роль отведена различным некоммерческим организациям, которые проектируют и создают стандарты раскрытия нефинансовой информации, связанной с изменением климата.

Примерами таких организаций являются: The Sustainability Accounting Standards Board (SASB) – совет по стандартам бухгалтерского учета в области устойчивого развития, Global Reporting Initiative (GRI) – международная организация по стандартизации, которая помогает предприятиям, правительствам и другим компаниям информировать о своем воздействии на изменение климата, права человека и коррупцию, Carbon Disclosure Project (CDP) – международная организация, которая помогает компаниям раскрывать свое воздействие на окружающую среду [1].

Одной из наиболее известных и авторитетных рабочих групп считается Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD). Данная рабочая группа связана с вопросами раскрытия финансовой информации относительно климатических изменений. TCFD создаёт рекомендации по добровольному раскрытию сведений о

денежных рисках компаний, которые возникают в связи с глобальным изменением климата. Эти указания существуют для того, чтобы сделать процесс управления рисками более простым и лёгким. Рекомендации предназначены как для внутренних, так и для и внешних заинтересованных сторон: инвесторов, различных государственных и общественных структур и для самой организации. Упрощение заключается в предоставлении этим заинтересованным сторонам полномасштабной, хорошо структурированной, достоверной информационной базы для принятия верных решений для процесса инвестирования и управления организацией. Таким образом, можно сделать вывод, что использование рекомендаций TCFD обеспечивает информацией участников финансового рынка, оказывает влияние на управление корпоративными финансами и на выстраивание стратегии развития компании, дает возможность применить экономические решения для изменения проблемы глобального потепления.

На данный момент около 3,100 организаций по всему миру выражают поддержку TCFD и ее целям, для сравнения, в конце 2017 года их было 800. Стабильный и устойчивый рост числа компаний и структур, которые выражают свою поддержку TCFD, говорит об растущем интересе бизнес-сообщества к контролю и управлению финансовыми рисками, связанными с изменением климата. Требования рабочей группы не являются обязательными, а также не имеют рамки по срокам выполнения, но несмотря на этот факт, различные компании, которые выразили поддержку TCFD, стремительно вводят ее указания в свои стратегии.

В процессе проведения анализа, можно выделить несколько основополагающих критериев почему число сторонников рекомендаций увеличивается. Первое – и как было упомянуто ранее, рекомендации TCFD влияют на управление определенными рисками, развивая корпоративные практики. Инструментарий TCFD дает возможность вести многоступенчатый анализ, выстраивать долгосрочное планирование. Иногда самые инновационные концепции по риск-менеджменту могут не включать в себя все составляющие климатических рисков, в то время как методология TCFD предоставляет возможность управления такими рисками. Второе – использование рекомендаций TCFD способствует повышению ESG-оценок компаний. Это связано с тем, что базовые принципы TCFD похожи на базовые принципы ESG рейтингов. Открытая поддержка TCFD, а именно в части финансовой и годовой отчетности, показывает стремление компании динамично управлять климатическими рисками, что конечно же, укрепляет её репутацию и имидж, а также показывает инвесторам эффективный способ управления [2].

Что касается отличий рекомендаций (указаний) TCFD от других основных инициатив в области раскрытия нефинансовой информации, то к ним относится следующие: сведения, которые раскрываются, согласно указаниям TCFD, рассматриваются в контексте денежных показателей организации и ее финансовой устойчивости. Это отличает TCFD от CDP, который по большей своей части рассматривает экологический и социальный аспекты. Также, в отличии от других инициатив, таких как SASB или GRI, рекомендации TCFD прежде всего завязываются на климатических рисках.

В отчете по TCFD AES Corporation была рассмотрена одна из самых актуальных проблем современности в области экологии и изменения климата – выброс углекислого газа. Для оценки выбросов компании AES был взят протокол Greenhouse Gas Protocol и его составляющие: Scope 1-3.

AES Corporation – американская энергетическая компания, осуществляющая деятельность в двух направлениях: генерация электроэнергии для коммунальных служб, промышленных предприятий, и второе – коммунальные услуги, оказываемые пользователям в жилом, коммерческом, промышленном и государственном секторах. За последние четыре десятилетия компания создала разнообразный портфель предприятия

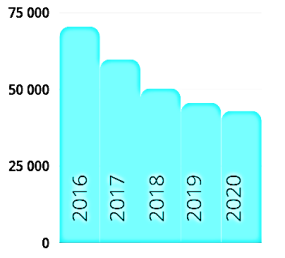
и работает над продвижением перехода к чистой энергии[1]. Компания AES является первым публично зарегистрированным в США бизнесом, который связан с энергетическим сектором и который раскрывает информацию, связанную с воздействием на окружающую среду в соответствии с принципами, установленными TCFD. Предприятие установило свой собственный набор целей по сокращению выбросов углекислого газа, который включает:

– достичь чистого нулевого выброса углерода в масштабах всего портфеля фирмы от продаж электроэнергии к 2040 году;

– обязательство сократить выработку электроэнергии на угольных электростанциях до уровня ниже 10% к 2025 году и увеличить рост возобновляемых источников энергии на 40% от 3 до 4 ГВт в год;

– снизить углеродоемкость на 50% к 2022 году и на 70% к 2030 году по сравнению с уровнями 2016 года [3].

Для оценки сокращения выбросов компании в атмосферу, были использованы данные по Scope 1-3 с GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol). Это протокол по парниковым газам (ПГ), а также набор отраслевых руководств и прочих инструментов для учета выбросов ПГ, с помощью которых становятся возможным их количественная оценка и последующее управление. К прямым выбросам ПГ относятся выбросы из источников, которые принадлежат или контролируются компанией – данные по Scope 1. Косвенные выбросы ПГ или Scope 2 – это выбросы, из сторонних источников, контролируемых иной компанией, но которые являются следствием деятельности организации. В Scope 3 или прочих косвенных выбросах ПГ учитываются выбросы, образованные в результате эксплуатации средств, не принадлежащих отчитывающейся компании или ею не контролируемых, но используемых для командировок сотрудников (в основном транспортные средства) [4].



Гистограмма 1- Total Scope 1 (тыс тонн)

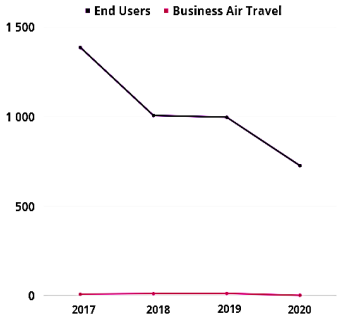
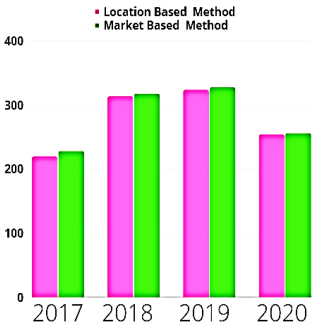


График 2 - Scope 3 (тыс тонн)



Гистограмма 2 - Scope 2 (тыс тонн)

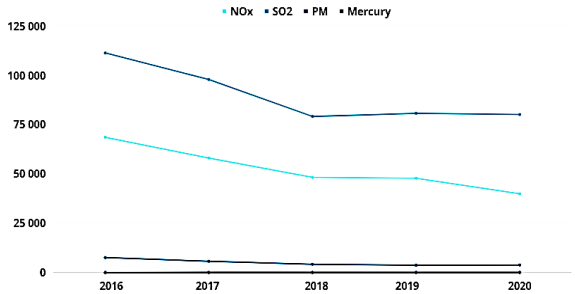


График 3- Выбросы NOx, SO2, PM, Mercury (тонн)

Рис. 1. Данные по Scope 1-3

[1] Чистая энергия – это возобновляемая, или регенеративная, «зелёная», энергия из энергетических ресурсов, которые являются возобновляемыми или неисчерпаемыми.

На рис. 1 можно проследить тенденцию снижения выбросов по всем Scope. За счет использования рекомендаций начиная с 2016 года компании удается снижать выбросы в атмосферу, трансформируя свой портфель фирмы для достижения поставленных целей. Трансформация портфеля связана с повышением доли ресурсосберегающих технологий. Компания вывела из эксплуатации или продала более 10 ГВт угольных электростанций до 2020 года. А также компания развивает бизнес в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая планы по подписанию 3-4 ГВт новых контрактов в год на ветряную, солнечную энергию. А к 2025 году предполагается, что большинство доходов будет поступать от проектов, связанных с ВИЭ. В течение 2020 года ни одно из предприятий AES не происходило выплат значительных штрафов или штрафных санкций, связанных с экологической составляющей.

Помимо трансформации портфеля компании, также удается сокращать интенсивность выбросов в атмосферу за счет использования комбинации конструкции установки для сжигания электроэнергии и оборудования для контроля воздуха, а также правильную эксплуатацию этих двух систем. Установка систем контроля качества воздуха в первую очередь диктуется местными законами и правилами в области охраны окружающей среды.

За счет использования рекомендаций TCFD компания может позволить себе каждый год выделять около 10 миллионов долларов на социальное инвестирование, в ее портфеле содержится более 100 программ по улучшению окружающей обстановки и социальному благополучию населения (программ по устойчивому развитию).

Если соотнести биржевые показатели с заявлениями, которые оглашала AES Corporation в области перехода к экологизации производства можно получить следующий результат.

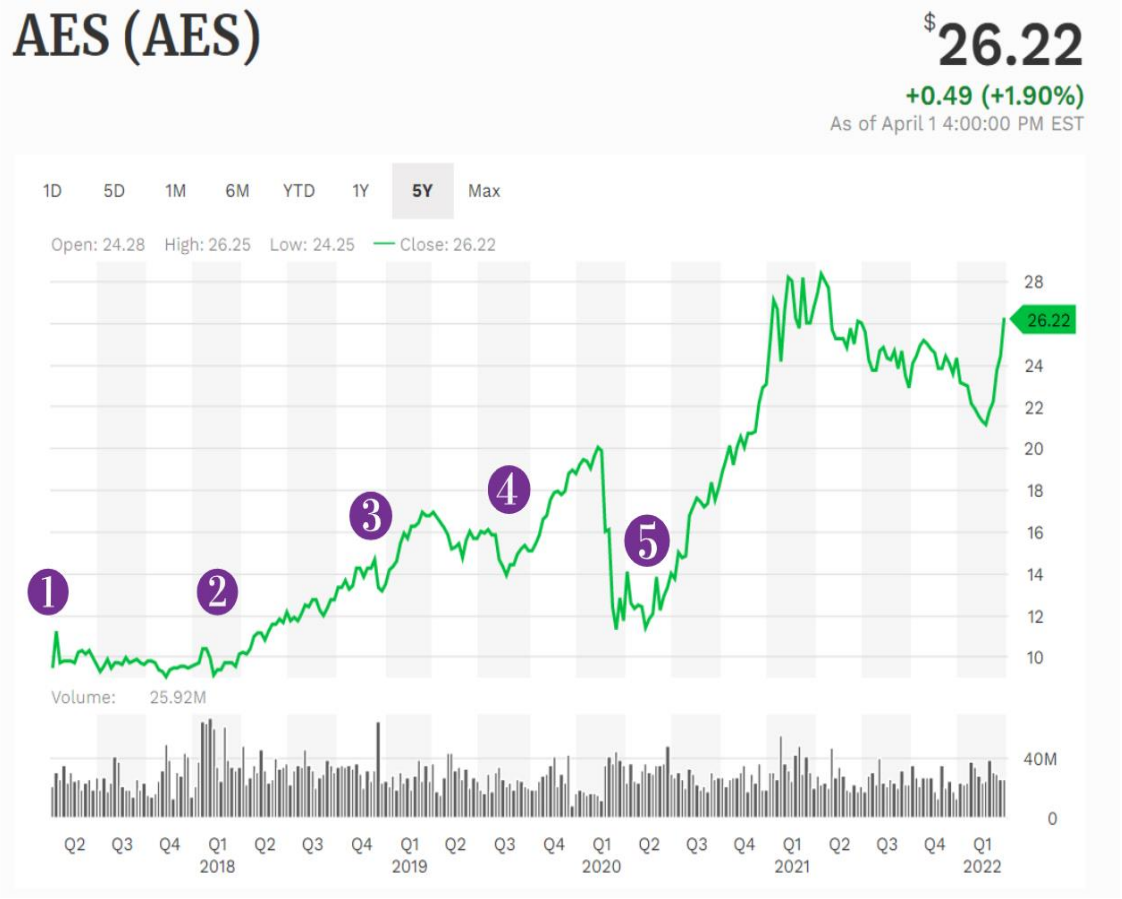


Рис. 2. Привязка заявлений AES к биржевым показателям [5]

Данные на рис. 2 соответствуют следующим заявлениям:

1. AES объявляет об инвестициях в накопление энергии.
2. AES объявляет об усилиях по сокращению затрат. Цель: снижение углеродоемкости на 50% к 2030 году.
3. AES обязуется принять рекомендации Целевой группы по раскрытию финансовой информации, связанной с изменением климата (TCFD).
4. AES меняет формулировку миссии (достичь чистого нулевого выброса углерода в масштабах всего портфеля фирмы от продаж электроэнергии к 2040 году).
5. AES увеличивает целевой показатель сокращения углеродоемкости до 50% к 2022 году и до 70% к 2030 году.

Сейчас, когда заинтересованные стороны придают большую значимость тому, как компании влияют на устойчивое развитие и сообщают о нём, востребованность в отчетности очень высока. Как можно заметить из рисунка 2 раскрытие нефинансовой информации о своей деятельности в области устойчивого развития положительно сказывается на финансовые показатели. Информирование об этом влиянии с помощью отчетности в области устойчивого развития дает обширные сведения большому количеству заинтересованных сторон. Они, в свою очередь, могут использовать её для всестороннего анализа, оценки и для принятия дальнейших решений. Так как информация очень важна, и спрос на нее только растет, стандарты приобретают всё большую значимость для организаций.

По результатам исследования было определено, что соблюдение рекомендаций помогает не только улучшать окружающую обстановку, но и финансовые показатели компании. После своих заявлений, обновление изменений векторов, AES стала привлекать новые умы и таланты, удалось повысить производительность труда. Также, компанией было получено общественное, политическое и бизнес признание от внешних сторон за свои труды в отчетности. Важно отметить, что изменилось отношение отечественных и иностранных акционеров, что повлекло к притоку новых инвестиций, которых не было ранее из-за значительного использования AES угля. Открылся новый финансовый, инвестиционный поток, который позволяет компании инвестировать не только в мероприятия по достижению своих целей, но также использовать средства для достижения целей устойчивого развития.

Литература

1. Морозова Е.В. Нефинансовая отчетность как источник информации о деятельности компании //Международный бухгалтерский учет. 2014. №. 22 (316). С. 25-37.
2. O'Dwyer B., Unerman J. Shifting the focus of sustainability accounting from impacts to risks and dependencies: Researching the transformative potential of TCFD reporting //Accounting, Auditing & Accountability Journal. 2020. DOI: https://doi.org/10.1108/AAAJ-02-2020-4445.
3. AES. Sustainability reports. 2020 Performance indicators. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.aes.com/sustainability-resources (дата обращения: 17.02.2022).
4. AES. Sustainability reports. 2021 AES Climate Scenario Report. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.aes.com/sustainability-resources (дата обращения: 17.02.2022).
5. Forbs. AES. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.forbes.com/companies/aes/?sh=405f64593ecb (дата обращения: 29.03.2022).

УДК 349.6+504.38

УЧЕТ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ

П.Ф. Барбанэль
Научный руководитель – к.т.н., доцент П.Ф. Агаханянц
Университет ИТМО
e-mail: 307774@niuitmo.ru

Аннотация
В работе рассмотрено текущее законодательство по учету выбросов парниковых газов от объектов обращения с отходами. Развивающаяся система по мониторингу выбросов и составлению документации содержит пробелы, которые не позволяют на данный момент вести эффективный учет выбросов в секторе по обращению с отходами: отсутствие необходимых методик в обязательном к исполнению Приказе Минприроды № 300, отсутствие национальных значений коэффициентов выбросов и параметров для расчета, отсутствие стандартизированных методик для определения значений коэффициентов выбросов и параметров для расчета.
Ключевые слова
Парниковые газы, отходы, захоронение, компостирование, сжигание.

В России активно развивается климатическая повестка, одним из направлений которой является учёт выбросов парниковых газов.

Сектор по обращению с отходами приводит к выбросам 1,6 Гт CO_2-эквивалента парниковых газов, что составляет 4% от всех выбросов парниковых газов на территории Российской Федерации [1].

На данный момент разрабатываются нормативно-правовые акты, которые будут регламентировать правила предоставления отчётности, а также форму отчётов о выбросах парниковых газов:

1. Проект Постановления «Об утверждении Правил представления отчетов региональных регулируемых организаций о выбросах парниковых газов и формы отчета региональных регулируемых организаций о выбросах парниковых газов.
2. Проект Постановления Правительства РФ «Об утверждении Правил представления и проверки отчетов о выбросах парниковых газов, формы отчетов о выбросах парниковых газов, Правил создания и ведения реестра выбросов парниковых газов и внесении изменений в Правила создания государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и условий для ее функционирования».

Оба законопроекта содержат требования к включению выбросов парниковых газов от отходного сектора в статистическую отчётность, согласно документам должны учитываться выбросы от процесса компостирования, анаэробного разложения, сжигания и захоронения отходов [2].

Для оценки объема выбросов на территории Российской Федерации действует три нормативно-правовых документа выпущенные Минприроды:

1. Приказ Минприроды России от 30.06.2015 № 300 «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации» регламентирует учёт прямых вопросов парниковых газов [3].
2. Приказ Минприроды России от 29.06.2017 № 330 «Об утверждении

методических указаний по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов» регламентируют учёт косвенных выбросов от использования энергии в технологических процессах [4].

3. Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 № 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации» является переводом руководящих принципов Межправительственной группы экспертов по изменению климата по учёту выбросов от четырёх секторов экономики [5].

Распоряжение № 15-р не является обязательным, в то время как Приказ № 300 должен использоваться для оценки объема выбросов парниковых газов регулируемыми организациями, то есть теми, кто согласно Федеральному Закону от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» должен будет предоставлять обязательную отчетность [6].

Распоряжение № 15-р в свою очередь является переводом Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата) 2006 года [7].

Из типичных процессов, реализуемых на объектах обращения с отходами (транспортировка и перемещение, сортировка и отбор вторичного сырья, предварительная механическая обработка, биологическая обработка (компостирование, анаэробное разложение), захоронение, сжигание отходов) оценку выбросов можно провести для транспортировки, методики для учета выбросов парниковых газов от транспорта представлены в проекте приказа, который готовится на замену Приказу №300 [8]. Методики по основным технологическим процессам на данный момент отсутствуют в приказе № 300 и в проекте на его замену. Тем не менее, переводы международных методик для захоронения, биологической обработки и сжигания есть в Распоряжении 15-р, там же есть и международные методики для учета выбросов от транспорта.

Помимо разночтений в законодательстве, проблематика учёта выбросов заключается в определении коэффициентов или параметров, которые используются в моделях. В таблице ниже представлено сравнение коэффициентов.

Таблица

Сравнение коэффициентов выбросов, представленных в Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК (2006) [9] и Проекте приказа «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации» [8]

Вид топлива	Коэффициент выбросов (EF), Проект Приказа Минприроды			Вид топлива	Коэффициент выбросов (EF), МГЭИК, Мобильное сжигание, 2006 год
	т CO_2/т (тыс.$м^3$)	кг/ТДж	кг/т.у.т.		кг/ТДж
Бензин А-76 (АИ-80) Бензин АИ-92 Бензин АИ-93 Бензин АИ-95 Бензин АИ-98	3,026	69 300	2 031	Автомобильный бензин	69 300

продолжение таблицы

Вид топлива	Коэффициент выбросов (EF), Проект Приказа Минприроды			Вид топлива	Коэффициент выбросов (EF), МГЭИК, Мобильное сжигание, 2006 год
	т CO_2/т (тыс.$м^3$)	кг/ТДж	кг/т.у.т.		кг/ТДж
Дизельное топливо летнее, зимнее, арктическое	3,149	74 100	2 172	Дизельное топливо	74 100
Сжиженный нефтяной газ (СНГ) (пропан, изобутан, н-бутан)	2,903	63 100	1 849	Сжиженный нефтяной газ	63 100
Компримированный природный газ (КПГ)	1,840	54 400	1 594	-	-
Сжиженный природный газ (СПГ)	2,710	54 400	1 594	Сжиженный природный газ	56 100
Смазочные материалы	2,95	-	-	Смазочные материалы	73 300

Коэффициенты выбросов, как видно из таблицы, во многом взяты из руководящих принципов МГЭИК. При этом в самих Руководящих принципах указывается, что наиболее эффективной практикой для учёта выбросов является разработка собственных коэффициентов.

Кроме того, что многие значения заимствованы из руководящих принципов, т.е. значения, которые отличаются, не имеют ссылок на стандарты или исследования, благодаря которым значения были получены.

Если в случае учета выбросов от использования топлива в транспортных средствах заимствование коэффициентов можно объяснить унифицированными требованиями к качеству и составу топлива (Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» или ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) «Межгосударственный стандарт. Топливо дизельное евро. Технические условия»), то использование коэффициентов для основных технологических процессов (захоронение, биологическая обработка, сжигание) вызывает сомнение.

Для расчета выбросов от процесса захоронения используется ряд параметров:

- DOC (способный к разложению органический углерод);
- DOC_f (разложившийся способный к разложению органический углерод);
- MCF (поправочный коэффициент на метан);
- k (или $t_{1/2}$) (константа скорости образования метана или период полураспада);
- OX (коэффициент окисления метана);
- R (количество рекуперированного метана).

Значения данных параметров по умолчанию представлены в Руководящих принципах МГЭИК и в Распоряжении Минприроды НОМЕР 15-р [5, 1010]. Все эти величины при составлении национального кадастра были взяты по умолчанию из Руководящих принципов или рассчитаны через данные значения. При этом, многие параметры (OX, k, MCF, DOC_f) зависят от климатических условий и технологии, применяемой на полигоне [10]. Для всех указанных параметров значение в

распоряжении Минприроды заимствованы из руководящих принципов 2006-го года или более ранних версий. Исходя из этого, невозможно сказать, что использование данных коэффициентов и параметров позволит с должной точностью привести учёт выбросов парниковых газов.

Так как именно захоронение является наиболее распространенной технологией утилизации отходов в Российской Федерации, корректный учет выбросов от захоронения необходим во избежание переоценки выбросов или наоборот занижения значений.

Недавний проект документа, описывающего систему мониторинга климатически активных газов [11] содержит в себе такие ключевые направления как «совершенствование статистического инструментария и уточнение статистических данных, в том числе за счет из верификации с помощью прямых измерений» и «получение новых и (или) уточнение имеющихся национальных конверсионных коэффициентов и расчетных методик и моделей за счет выполнения репрезентативных научных исследований на основе наземных и дистанционных измерений».

Более того, ввиду обширности территории Российской Федерации и зависимости многих параметров от климата, то есть температуры, продолжительности и количеств осадков, структуры полигона и других условий, для России целесообразно проводить исследования для определения значений коэффициентов с разбивкой страны на различные зоны в зависимости от упомянутых факторов. То есть будет не одно значение параметра на всю страну.

Для определения выбросов метана от процессов биологической обработки используются коэффициенты выбросов. В Приказе № 300 данная методика отсутствует, а в распоряжении № 15 представлены коэффициенты по умолчанию из Руководящих принципов МГЭИК [5]. То есть отсутствуют данные характерные для России, тем более с разбивкой по регионам.

Для расчета выбросов от сжигания используются данные о содержании ископаемого углерода. В Распоряжении № 15 представлены данные из Руководящих принципов по умолчанию 2006 года, а специфические значения параметров взяты также из Методических указаний МГЭИК, только 1996 года, то есть более, чем 20-летней давности.

Для расчета выбросов закиси азота от процесса сжигания также используются коэффициент выбросов, значения по которому также взяты из Руководящих принципов МГЭИК, то есть по умолчанию.

Таким образом проблематика учёта выбросов парниковых газов от сектора обращения с отходами заключается в следующих фактах:

1. Отсутствие необходимых методик в российском законодательстве и противоречии в нормативно-правовых актах (требование учета выбросов от сектора обращения с отходами и отсутствие методик для расчета в необходимых нормативно-правовых актах).
2. При рассмотрении методик, которые не включены непосредственно в приказ Минприроды № 300, то есть использовать распоряжение Минприроды № 15 или руководящие принципы МГЭИК для нашей страны и тем более для отдельных регионов отсутствуют параметры необходимые для учёта выбросов.
3. Отсутствие утвержденных методов получения значений необходимых коэффициентов и параметров встает на пути обновления устаревших и не характерных для нашей страны данных.

Литература

1. Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет. Российские и немецкие ученые оценили возможности сокращения выбросов

парниковых газов в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pstu.ru/news/2021/12/09/12105/ (дата обращения: 03.02.2022).
2. Федеральный портал проектов нормативных правовых актов. «Об утверждении Правил представления отчетов региональных регулируемых организаций о выбросах парниковых газов и формы отчета региональных регулируемых организаций о выбросах газов» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://regulation.gov.ru/projects#npa=125370. (дата обращения: 19.02.2020).
3. КонсультантПлюс. Приказ Минприроды России от 30.06.2015 № 300 «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www. consultant.ru/ document/ cons_doc_LAW_190838/ (дата обращения: 27.02.2020).
4. КонсультантПлюс. Приказ Минприроды России от 29.06.2017 № 330 «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_281212/ (дата обращения: 10.03.2020).
5. КонсультантПлюс. Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 № 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/ document/cons_doc_LAW_256422/.
6. Официальный интернет-портал правовой информации. Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://publication. pravo. gov.ru/ Document/ View/ 0001202107020031 (дата обращения: 19.03.2020).
7. Intergovernmental panel on climate change. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html (дата обращения: 23.03.2020).
8. Федеральный портал проектов нормативных правовых актов. «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://regulation.gov.ru/projects#npa=122768 (дата обращения: 23.03.2020).
9. Intergovernmental panel on climate change. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Мобильное сжигание топлива [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/ public/2006gl/ russian/pdf/2_ Volume2/ V2_3_Ch3_ Mobile_ Combustion.pdf (дата обращения: 23.03.2020).
10. Intergovernmental panel on climate change. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Удаление твердых отходов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/ 2006gl/russian/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf (дата обращения: 23.03.2020).
11. Зеленый Змий. «Концепцию важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»» во исполнение поручения Президента от 02.05.2021 № Пр-753 (абзац 4 пп. «в» п. 3 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://t.me/greenserpent/14325 (дата обращения: 23.03.2020).

УДК 504.054

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОБЕРЕЖИЙ АРХИПЕЛАГОВ НОВАЯ ЗЕМЛЯ И ЗЕМЛИ ФРАНЦА-ИОСИФА МОРСКИМ МУСОРОМ

Е.Р. Воротниченко, А.А. Ершова
Научный руководитель – к.геогр.н., доцент А.А. Ершова
Российский государственный гидрометеорологический университет
email: katyshenka23@gmail.com

Аннотация
В данной работе рассматривается проблема загрязнения морским мусором побережий архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа за 2019, 2020 и 2021 гг. Показано, что побережья архипелагов значительно загрязнены отходами антропогенного происхождения, и пластиковый мусор превалирует над другими категориями и составляет 78% от всех собранных отходов. Самым загрязненным местом по данным исследований является пляж со стороны Баренцева моря на мысе Желания. По результатам классификации морского мусора по источникам предложено пересмотреть систему обращения с отходами в портовых городах и на судах.
Ключевые слова
Морской мусор, Баренцево море, Национальный парк «Русская Арктика», загрязнение пластиком, Арктика.

Загрязнение водных объектов морским мусором является глобальной проблемой даже в самых отдаленных местах планеты, например в окраинных морях Северного Ледовитого океана. В прошлом столетии Арктика подверглась сильной антропогенной нагрузке во время ее интенсивного освоения. После того как ученые и военные покинули Арктику, они оставили огромное количество сооружений и предметов, которые по сей день наносят вред окружающей среде. Только в 2012 году Россия приступила к ликвидации данного экологического ущерба. Всего за время очистки Арктики было вывезено 7740 тонн различных отходов производства и потребления и горюче-смазочных материалов [1]. Но недостаточно убрать местное загрязнение, ведь течения постоянно приносят мусор с материков или судов. Актуальной целью является определение основных источников загрязнения Арктики. Для этого необходимо проводить мониторинг аккумуляции морского мусора и следить за его динамикой.

Моря Арктики являются районом интенсивного рыбного промысла и нефтедобычи, а также регионом дислокации военно-морского флота, в том числе атомных подводных лодок. Из-за изменения климата местная фауна находятся под угрозой исчезновения, а загрязнение территории только увеличивает шансы на сокращение популяций, так как некоторые животные могут принимать разноцветные пластиковые и текстильные отходы за еду. Также, когда пластиковые предметы долгое время находятся в определенных условиях, они разрушаются и превращаются в микропластик, который далее по пищевой цепочке оказывается в нашем организме. Это может оказывать негативное влияние на здоровье человека. Сейчас исследование только набирает обороты, туристов привлекают к уборке побережья, и проводится все больше экспедиций в арктическую зону. Но массовое производство и слабо регулируемое обращение с отходами ускоряют темпы загрязнения Арктики морским мусором, а труднодоступность региона и сезонность работ замедляют старания по его ликвидации.

Регионом исследования выбраны архипелаги Новая Земля и Земля-Франца Иосифа. Новая Земля – архипелаг, омываемый Баренцевым и Карским морями. Он состоит из двух

островов Северного и Южного, разделенных узким проливом [1]. В северной части архипелага на мысе Желания располагается Национальный парк «Русская Арктика» и метеорологическая станция «Новая Земля», которая входит в сеть станций и постов Северного УГМС [2]. Мыс Желания является местом слияния двух морей. Баренцево море омывает мыс с запада, и под влиянием теплого Северо-Атлантического течения полностью не замерзает. Карское море омывает мыс на востоке и покрыто льдом большую часть года. Южная часть архипелага является местом дислокации военных объектов. Земля Франца-Иосифа – архипелаг в Баренцевом море, состоит из 192 островов и является самым северным участком суши Евразии. Несмотря на большую площадь оледенения и суровый климат, архипелаг является домом для многих животных, в том числе белого медведя. Из-за нехватки еды, он вынужден искать новые источники пищи, а яркие пластиковые предметы привлекают его внимание. Национальный парк «Русская Арктика» располагается на северной оконечности острова Северный группы островов Новая Земля (национальный парк «Русская Арктика») и архипелаге «Земля Франца-Иосифа» (заказник «Земля Франца-Иосифа»). Штат учреждения и административное здание расположены в г. Архангельск. Основная цель Национального парка «Русская Арктика» состоит в сохранении природных комплексов и объектов, имеющих особую экологическую, историческую и эстетическую ценность [1].

Программа по окружающей среде ООН (UNEP) определяет морской мусор как «любой стойкий, изготовленный или обработанный твердый материал, который брошен, утилизирован или оставлен в морской и прибрежной среде» [3]. Факторами попадания мусора в моря и океаны могут являться судоходство, неправильное обращение с отходами в портовых городах и занятие рыболовством. Долгое время арктические воды считались последними нетронутыми экосистемами на Земле. Однако недавние исследования показывают, что полярные воды загрязнены пластиковыми отходами в большей степени, чем считалось ранее с тенденцией к увеличению. Кроме того, к югу от Шпицбергена и в северной части Баренцева моря недавно была выявлена зона накопления плавающего мусора, потенциально происходящего из европейских вод [4].

В регионах исследования с 2012 года реализуется экспедиция «Арктический Плавучий университет» – это уникальная научно-образовательная морская экспедиция на борту НИС «Профессор Молчанов» НЭС «Михаил Сомов», во время которой молодые ученые получают знания и навыки в реальных условиях северных морей. В данной работе использовались данные, полученные в 2021 году в ходе экспедиции «Арктический плавучий университет – 2021», а также данные за 2019 и 2020 гг., предоставленные Национальным парком «Русская Арктика». Точки, где проводился сбор мусора в 2019 –2021 гг., представлены на рис. 1.

Для берегов Русской Арктики сотрудниками национального парка «Русская Арктика», была разработана специальная методика мониторинга морского мусора. Она объединяет две действующие методики: 1) OSPAR, широко используемая при мониторинге морского мусора на берегах Норвегии, в том числе и архипелага Шпицберген, территории во многом схожей с территориями Национального парка; 2) MSFD, применяемая в европейских морях и на их побережьях. На репрезентативном пляже закладываются пробные площадки длиной 100 м и шириной 5 м от уреза воды. Затем с выделенного участка пляжа собрали и идентифицировали все предметы морского мусора крупнее 2,5 см. Все эти предметы были зафиксированы в соответствующем разделе листов исследования и удалены с пляжа [5].

В таблице представлены идентификационные номера, которые присваивались местам отбора мусора, и их описание.

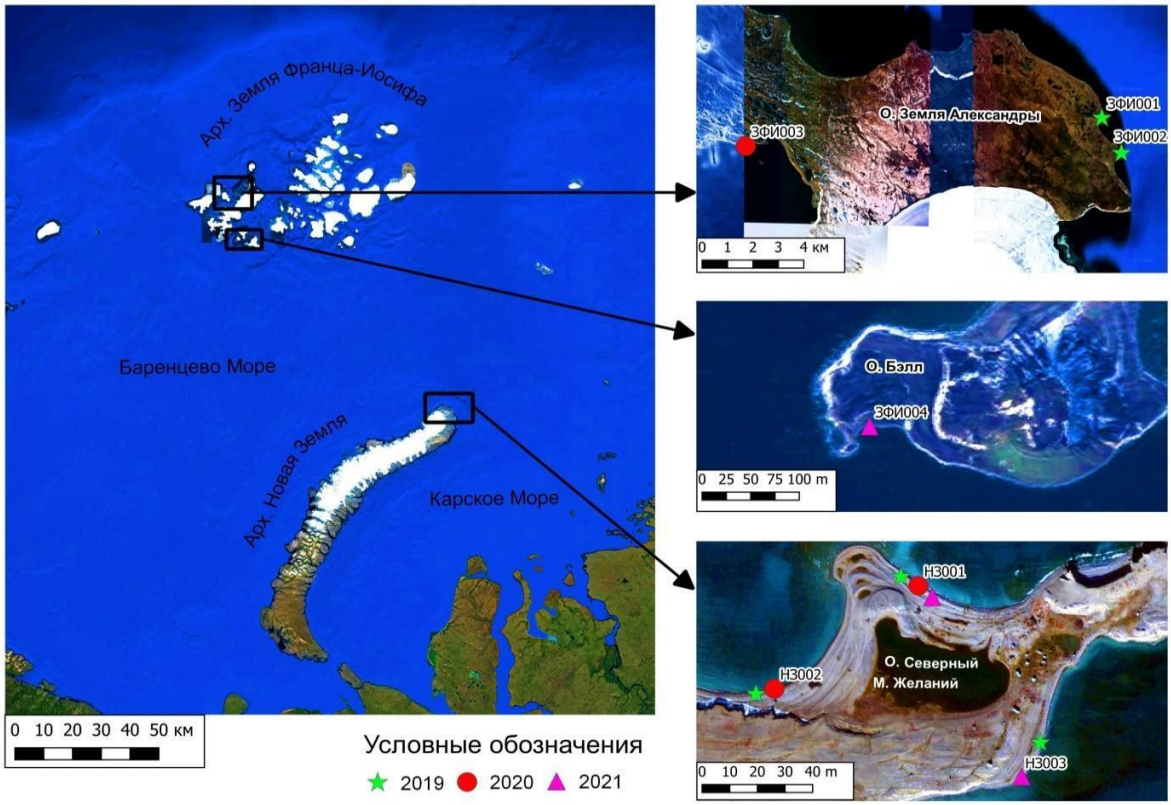


Рис. 1. Карта расположения пробных площадок на Архипелагах Новая Земля и Земля Франца-Иосифа за 2019-2021 гг.

Таблица

Идентификационные номера, место и его описание

ID пляжа	Остров	Описание места нахождения пляжа
НЗ001	м. Желания (о. Северный арх. Новая Земля)	побережье Баренцева моря к западу от м. Желания
НЗ002	м. Желания (о. Северный арх. Новая Земля)	побережье Баренцева моря между м. Желания и м. Маврикия
НЗ003	м. Желания (о. Северный арх. Новая Земля)	побережье Карского моря рядом с полевой базой
ЗФИ001	о. Земля Александры	у м. Бердовского
ЗФИ002	о. Земля Александры	у безымянного мыса между м. Бердовского и м. Заманчивым
ЗФИ003	о. Земля Александры	бухта Северная
ЗФИ004	о. Белл	южное побережье

В 2019 году сбор мусора проводился туристами и сотрудниками Национального парка «Русская Арктика». Отбор проводился на 5 пляжах: 3 на мысе Желания и 2 на о. Земля Александры. Всего было найдено 38 кг морского мусора. Из них 89% составляет пластик. Остальное приходится на стекло, металл и резину. На Земле Франца-Иосифа большую часть пластика составляют сети, это означает, что основной источник

загрязнения – рыболовство. На Новой Земле пластиковая тара преобладает среди пластикового мусора, т.к. ее приносят течения с материков [5].

В 2020 году мониторинг морского мусора проводился научными сотрудниками Национального парка «Русская Арктика» на мысе Желания – Захарьиным В.С. и Вальковым О.В., на о. Земля Александры – Моревым А.С. С трех площадок было собрано 37,4 кг морского мусора. Процентное соотношение представлено на рис. 2. На нем видно, что пластик составляет 68 %, из них большая часть веревки и сети с мыса Желания. На о. Александры сетей обнаружено не было, а только 2 канистры и немного мелкого пластикового мусора. Дерево, а именно ящичные доски с о. Земля Александры, составляют 20%, остальное приходится на металл и резину [6].

В 2021 году сбор морского мусора проходил в рамках экспедиции «Арктический плавучий университет» под руководством заведующей лабораторией РГГМУ А.А. Ершовой. Было заложено 3 точки отбора проб: на мысе Желания со стороны Баренцева и Карского моря и впервые на о. Бэлл архипелага ЗФИ. Всего было собрано 1377 предметов общим весом 126,76 кг. Большая часть мусора была найдена на м. Желания со стороны Баренцева моря. Прошлая уборка на этом пляже проводилась в 2020 году, весь мусор накопился за год. Видовой состав указывает на то, что в основном привнесен он течениями Баренцева моря. Со стороны Карского моря видовой состав и количество найденного мусора сильно отличается. Равную часть составляют металлические предметы и пластик, что говорит также и о местном загрязнении. На о. Бэлл был найден только пластиковый мусор, т.к. никакой хозяйственной деятельности на острове не идет, можно утверждать, что весь пластик принесен течениями Баренцева моря. Соответственно соотношение категорий морского мусора на всех пробных площадках представлено на рис. 2.

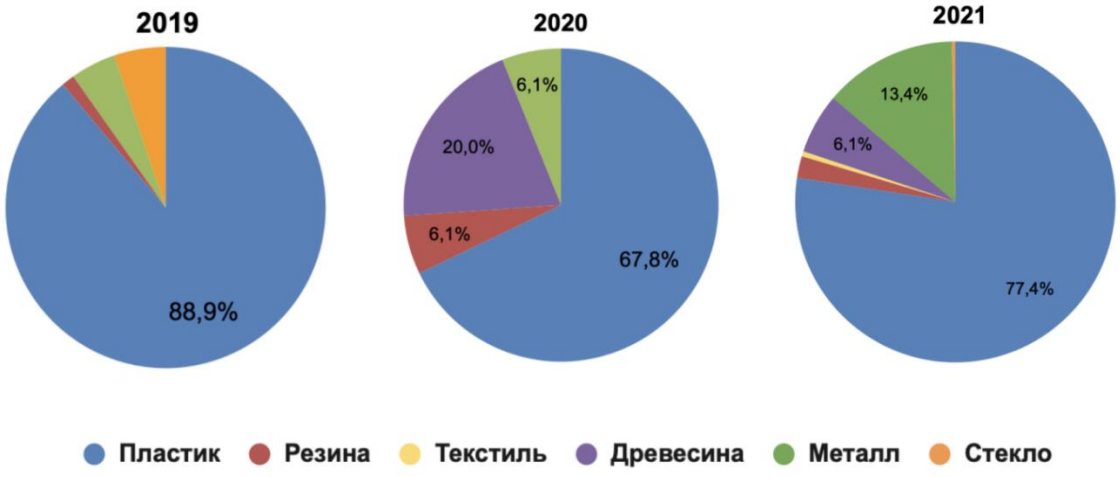


Рис. 2. Процентное соотношение категорий морского мусора за разные годы

Таким образом, соотношение категорий морского мусора найденного за все года составляет: пластик – 78%, металл – 12%, дерево – 7%, резина – 2% , стекло и текстиль менее 1%. Загрязнение от отрасли рыболовства на архипелагах Баренцева моря составило – 40%, в основном это сети и их части, поплавки от сетей, деревянные ящики и пластиковые ведра. Остальные 60 % от собранного мусора составляют бытовые отходы: пластиковые бутылки, жестяные банки, тюбики от косметических средств, пакеты и упаковка. Внешний вид некоторого бытового мусора указывает, что он находился в водной среде продолжительное количество времени, а значит, вполне мог приплыть с удаленных частей суши.

Благодаря исследованиям, которые проводятся на регулярной основе, мы можем проследить динамику аккумуляции морского мусора на мысе Желания. На рис. 3 видно, что в 2021 году было найдено большее количество мусора и большее его разнообразие. Это вероятно связано с увеличением производства.

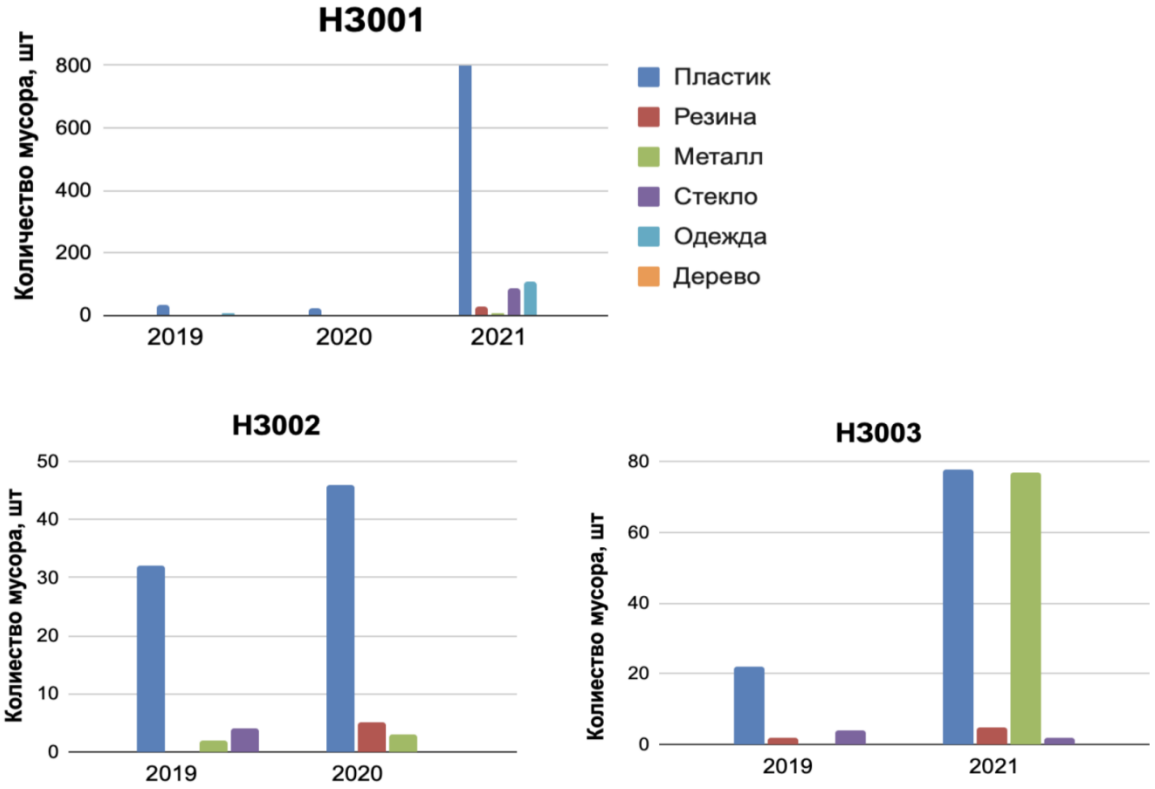


Рис. 3. Изменение количества мусора на трех площадках мыса Желания в разные годы

Для того чтобы предотвратить загрязнение морским мусором необходимо знать его источники. Для этого необходимо более детальное изучение проблемы, выявления источников загрязнения посредством детальной классификации предметов. Можно с уверенностью заявить, что рыболовство является одним из основных источников загрязнения, т.к. 40% найденного мусора относится к данной отрасли. С 1983 года Россия присоединилась в к «Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененной Протоколом 1978 года (МАРПОЛ 73/78)». Приложение V «Правила предотвращения загрязнения мусором с судов» запрещает сброс любого мусора, в особенности любых пластмасс и сетей [7]. Можно сделать вывод, что большую часть отходов оставляют недобросовестные рыбаки в Баренцевом море, а пластиковые предметы хозяйственного назначения (упаковка и бутылки) вероятно, приносят течения с берегов западной Европы и России.

Для предотвращения загрязнения необходимо строже регулировать выбросы отходов с судов и в портовых городах, а также отслеживать рыбаков-любителей в северных морях. Для комплексной работы необходимо сотрудничать с Европейскими государствами и организациями, которые занимаются загрязнением океана и Арктики, и безусловно создавать большее количество своих волонтерских программ, финансировать ликвидацию загрязнения морским мусором побережья и поддерживать хрупкую экосистему Арктики.

Литература

1. ФГБУ «Национальный парк «Русская Арктика» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rus-arc.ru/ (дата обращения: 23.04.2022).

2. ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.sevmeteo.ru (дата обращения: 23.04.2022).
3. Морской мусор | UNEP - UN Environment Programme » [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. unep.org/ru/ issleduyte-temy /okeany-i-morya/ nasha-deyatelnost/ rabota-po-regionalnym-moryam/morskoy-musor (дата обращения: 23.04.2022).
4. Bergmann M., Lutz B., Tekman M.B., Gutow L. Citizen scientists reveal: marine litter pollutes Arctic beaches and affects wildlife // Marine Pollution Bulletin. 2017. V. 125 (1–2). P. 535–540.
5. Нецветаева О.П. Отчет о НИР «Результаты мониторинга морского мусора в 2019 г на побережье островов, входящих в состав национального парка «Русская Арктика»». 2019 г.
6. Нецветаева О.П. Отчет о НИР «Мониторинг морского мусора на территории национального парка «Русская Арктика». 2019 г.
7. Приложение V (пересмотренное) к «Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененной протоколом 1978 года к ней (МАРПОЛ 73/78)» «Правила предотвращения загрязнения мусором с судов» Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/ document/ 499014541? section=status (дата обращения: 23.04.2022).

УДК 504.06

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕПРИЯТНО ПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

К.В. Гнатенко, А.В. Твердая
Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко
Университет ИТМО
e-mail: kristina_lagan@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №620148 «Развитие методологии экологического мониторинга на основе внедрения технологий Интернета вещей».

Аннотация
В статье рассмотрен один из инструментальных методов измерения неприятно пахнущих веществ (НПВ), обеспечивающий непрерывный мониторинг выбросов в атмосферу в реальном времени. В целях достоверности данных измерения концентраций веществ, был предложен комплексный подход, основанный на сочетании методов измерения. Такое дополнение как использование сенсорных систем, динамическая ольфактометрия и математические моды обработки информации позволяют достичь максимально точного результата в оценке ситуации и в прогнозировании выбросов НПВ.
Ключевые слова
Неприятно пахнущие вещества, электронный нос, мониторинг, беспроводные сенсорные системы, ольфактометрия.

В настоящее время, в окружающей нас среде содержится бесчисленное множество соединений и смесей веществ в газообразной форме, способных влиять на физиологическое и психологическое состояния людей, как и в положительном аспекте, так и в негативном. Последнее может проявляться в виде угрозы качеству жизни здоровья населения, особенно для тех, кто проживает рядом с источниками выбросов неприятно пахнущих веществ.

Область контроля и измерения выбросов НПВ начала разрабатываться исследователями уже в 1990-е годы. В 2002 году был утвержден CEN (Европейским комитетом по стандартизации) европейский стандарт EN 13725 «Качество воздуха – Определение концентрации запаха методом динамической ольфактометрии» [1]. В последующие годы, в документ неоднократно вводили поправки по улучшениям системы.

В России на основе европейского стандарта был выпущен ГОСТ 58578 «Правила установления нормативов и контроля выбросов запаха в атмосферу» в 2014. Данный документ был обновлен в 2020 году [2].

Кроме того, ряд стран Евросоюза, США и часть Азиатских стран предпринимают ряд мер в области модернизации контроля НПВ посредством разработки все большего масштаба исследований, создания устройств и мобильного приложения для оперативной помощи в контроле со стороны граждан.

Исследователями было изучено и разработано несколько методов мониторинга запахов окружающей среды, как на уровне выбросов, так и на уровне рецепторов, однако необходимо учитывать условия их применимости и ограничения.

Таким образом, можно выделить четыре категории методов определения дурнопахнущих веществ в зависимости от нескольких аспектов:

– сенсорный (чувственный);

– инструментальный: используется человеческий нос в качестве рецептора;
– методы, применяемые на уровне источника выбросов;
– методы, применяемые на уровне рецепторов, т.е. там, где непосредственно проживает население [1].

На рис. 1 схематически представлены существующие методы оценки воздействия запаха в соответствии с описанной выше классификацией.

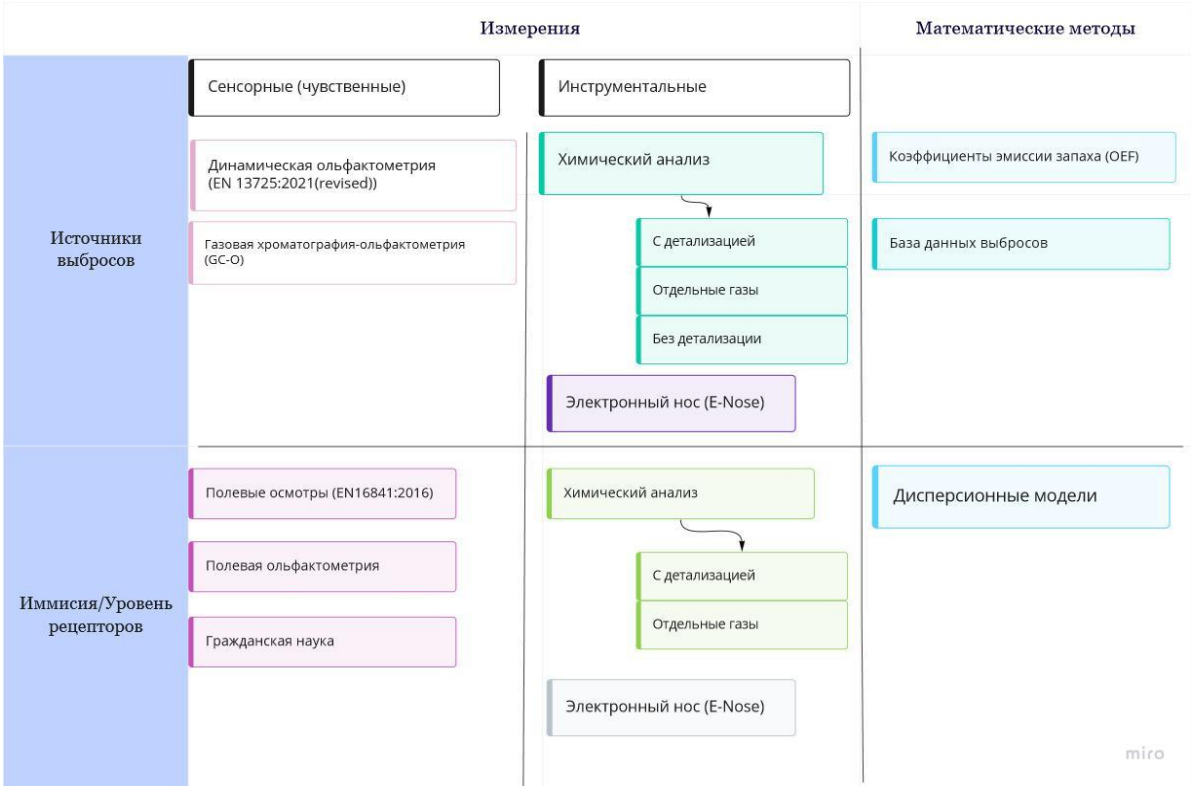


Рис. 1. Обзор методов оценки воздействия запаха, как с точки зрения типа измерения, так и с точки зрения выделения или эммиссии (рецепторов)

Для выбора того или иного метода измерения запаха или их сочетания необходимо оценивать особенности применения и ограничения каждого метода, и особенно учитывать какую конкретную информацию можно получить. Во многих случаях комплексный подход, сочетающий различные методы, является лучшим решением для получения исчерпывающей и полной картины проблемы, а также для определения правильной стратегии для ее решения. Одними из самых эффективных способов измерения выбросов неприятно пахнущих веществ являются инструментальный метод электронного носа (E-Nose) и инструментально-сенсорный способ динамической ольфактометрии.

На основе серии испытаний был применен рассмотрен комплексный подход к измерению НПВ итальянскими исследователями из Университета им. Альдо Моро в Бари и Национального агентства Италии по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию [3].

В данном исследовании рассматриваются лабораторные и полевые испытания, проведенные для оценки характеристик нового модернизированного прибора. Главным образом, специалистами была изучена способность выделять, правильно классифицировать различные специфические пахучие соединения (чистые вещества, выбранные в качестве представителей типичных запахов окружающей среды) и измерять концентрацию данных соединений.

На севере Италии были проведены полевые измерительные испытания с помощью электронного носа (E-Nose) с целью выявления источника выбросов НПВ, где присутствуют три растения, выделяющих запах. Во время мониторинга четыре электронных носа EOS 507 (рис. 1) использовались вместе со «старым» электронным носом EOS 835 (рис. 2), чтобы сравнить характеристики инструментов и, таким образом, проверить эффективность инноваций и улучшений, внесенных в новый EOS 507 (рис. 3) [4].

Рис. 2. Электронный нос EOS 835 [4]

Рис. 3. Электронный нос EOS 507 [4]

Что касается этапа мониторинга, важным отличием является частота анализа: EOS 835 выполняет измерение каждые 15 минут, в то время как EOS 507 выполняет одну запись в секунду.

Для достоверности экспериментальных данных, полученных с помощью электронного носа (E-Nose) был дополнительно проведен сравнительный анализ с данными динамической ольфактометрии.

Одним из преимуществ использования EOS 507 является обучение работе с прибором, возможность анализа образцов при различных концентрациях с помощью системы автоматического разбавления EOS 507, которое значительно сокращает время подготовки образцов и поэтому очень полезна с точки зрения эксплуатации.

Что касается характеристик, которые необходимо извлечь из откликов датчиков, EOS 835 требует расчета нескольких характеристик и их выбора для оптимизации распознавания. Эта операция, которую должен выполнять оператор, делает весь процесс распознавания более сложным и зависит от решений оператора. Вместо этого EOS 507 вычисляет только одну характеристику для каждого датчика и непосредственно выполняет распознавание пробы воздуха, тем самым сокращая время, необходимое для обработки данных, и влияние выбора оператора на распознавание.

Результаты испытаний показывают очень хорошую корреляцию между значениями концентрации запаха, что дает среднюю процентную ошибку 6,1 % (максимум 15 %) для лимонена (рис. 4) и 4,7 % (максимум 11,5 %) для этанола (рис. 5) соответственно, и индексами корреляции (R2) в обоих случаях более 0,99 [4].

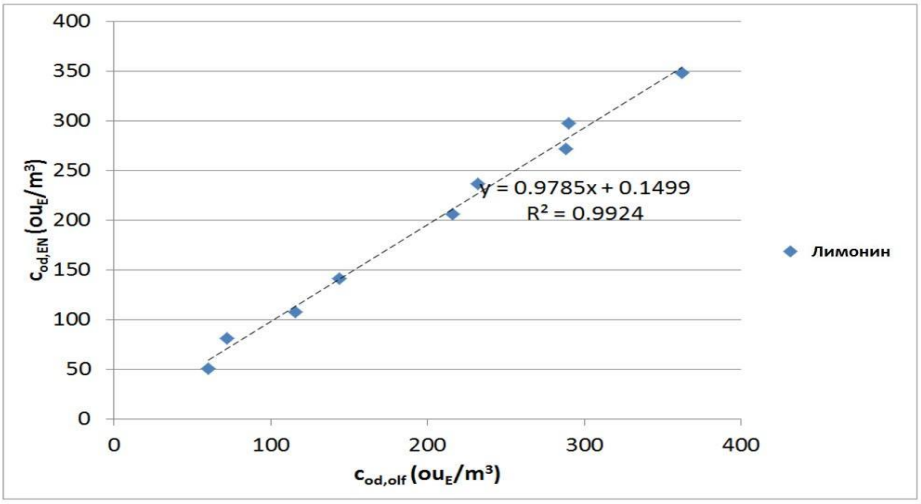


Рис. 4. График корреляции значений концентрации лимонена

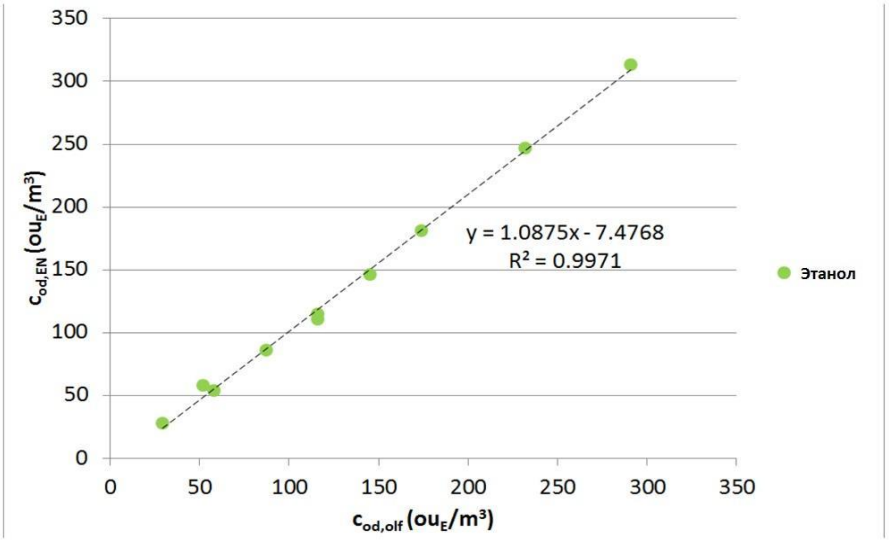


Рис. 5. График корреляции значений концентрации этанола

В результате исследования была обоснована эффективность комбинации методов измерения концентрации НПВ, учитывая их индивидуальные особенности, преимущества и недостатки.

В совокупности оба метода могут представить максимально наполненное необходимыми данными представление о ситуации, требующей максимальной детализации компонентов, которые на данный момент очень сложно распознать и измерить в сложных смесях веществ [5].

Кроме того, в лаборатории экологического мониторинга Университета ИТМО в целях модернизации систем измерения загрязняющих выбросов в атмосферу, в том числе НПВ, разрабатывается экспериментальный стенд. Определяются измеряемые параметры НПВ с учетом возможностей и ограничений испытательной лаборатории. Концентрации веществ будут измеряться испанским устройством непрерывного действия Libelium. В результате, данные пройдут структуризацию, обработку и послужат основой для проведения дальнейших исследований в полевых условиях на объектах выделения НПВ.

Литература

1. Bax C., Sironi S., Capelli L. «How Can Odors Be Measured? An Overview of Methods and Their Applications» // MDPI, Basel, Switzerland. 2020. P. 1-27.
2. Казьмина И.Г., Рязанцева Л.Т., Федянин В.И. Химические сенсоры в системе экологического мониторинга. Воронежский государственный технический университет. 2015. С. 3.
3. Rizky Pratama H., Fahmi N., Prayitno E., Rosmida, «Real-Time Monitoring for Environmental Through Wireless Sensor Network Technology» // Politeknik Negeri Bengkalis. 2018. P. 1–5.
4. Capelli L., Dentoni L., Sironi S., Elio Del Roso R. «Development of an Electronic Nose for Environmental Odor Monitoring» // MDPI, Basel, Switzerland .2012. P. 1-20.
5. Legin E., Zadorozhnaya O., Khaydukova. «Rapid Evaluation of Integral Quality and Safety of Surface and Wastewater s by a Multisensor System (Electronic Tongue)» // Sensors. 2019. P. 1–19.

УДК 504.03

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

А.И. Ермоченко, А. Федянина, В.В. Юплова, В.А. Савоскула
Научный руководитель – старший преподаватель В.А. Савоскула
Университет ИТМО
e-mail: ale-ermak97@mail.ru

Аннотация
Доклад представляет собой описание структуры возможного инструмента экологического просвещения населения, за счет реализации цифровой платформы агрегатора «ЭКОfor». Отмечено, что такой подход позволит улучшить знания людей в вопросах экологии, природопользования и защиты окружающей среды, так как структура платформы позволяет найти нужную, проверенную и актуальную информацию любому пользователю.

Ключевые слова
Экологическое просвещение, маркетинговые исследования, проект, агрегатор, цифровая платформа.

С развитием современных технологий и резким переходом еще большого числа людей в интернет-пространство в связи с пандемией порталы, сайты, цифровые платформы и приложения стали иметь необходимость в качественной и проверенной информации, которая туда поступает. Появляется важность получения достоверной экологической информации через Интернет.

Актуальность можно подтвердить, обращая внимание на Концепцию устойчивого развития [1]. Из 17 целей УР можно выделить 7 целей, имеющие наибольшую экологическую направленность. Статистические данные Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ) совместно с Фондом национальной энергетической безопасности (ФНЭБ) [2] подтверждают нужду экологического просвещения тем, что после появления вируса COVID-19 каждый четвертый россиянин стал больше задумываться об экологических вопросах.

После проведенного анализа экологического просвещения была подтверждена необходимость создания нового инструмента для пользователей, который позволит с нескольких сторон изучить тему экологии и получать доступные ресурсы. Также было выявлено, что в интернет-пространстве существует проблема некачественного контента, разрозненной, недостоверной и неподтвержденной информации в экологических вопросах. Пользователи не справляются с потоком данных, затрудняются в поиске, тратя на большое количество времени, и далее проявляют сомнение по поводу найденных источников. Это влияет на некачественное экологическое просвещение населения, которое требуется изменить.

В настоящее время в условиях глобального экологического кризиса жизнь человека сопровождается большими трудностями. Их устранение требует, прежде всего, повышения экологических знаний, что будет способствовать в дальнейшем преодолению экологического кризиса. Экологическое просвещение тесно взаимосвязано с понятиями: экологическая культура, экологическое образование и экологическое воспитание. Частями 1 и 2 статьи 74 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [3] определено, что экологическое просвещение осуществляется посредством распространения экологических знаний об экологической безопасности, информации о состоянии окружающей среды и об использовании

природных ресурсов в целях формирования экологической культуры в обществе, воспитания бережного отношения к природе, рационального использования природных ресурсов, информирования населения о законодательстве в области охраны окружающей среды и о законодательстве в области экологической безопасности.

Для решения проблемы некачественного контента и низкого уровня экологических знаний у населения, введено предложение, разработать новый инструмент экологического просвещения в виде цифровой платформы (сайта), на котором будет агрегирована вся доступная, достоверная и проверенная экспертами информация, ресурсы и материалы, в сфере экологии, природопользования, и защиты окружающей среды. Это позволит улучшить ситуацию, связанную с экологическим просвещением в России.

Для собственного исследования и определения заинтересованности населения, выявления волнующих тем, выделения удобных и популярных инструментов получения информации по экологии, природопользованию и охране окружающей среды было проведено маркетинговое исследование в формате опроса. На данном этапе респондентами стали 150 человек.

В результате опроса (рис. 1) выявлено, что 44,9 % респондентов проявляют активный интерес к экологии, охране окружающей среды и природопользованию; 29,9% опрошенных мало интересуются изучаемым предметом; 11,6 % работают в сфере экологии, природопользования и охраны окружающей среды; 9,5% являются или участвуют в деятельности общественных экологических организаций; а самую малочисленную группу составляют люди, не интересующиеся темами экологии, природопользования и охраны окружающей среды (4%).

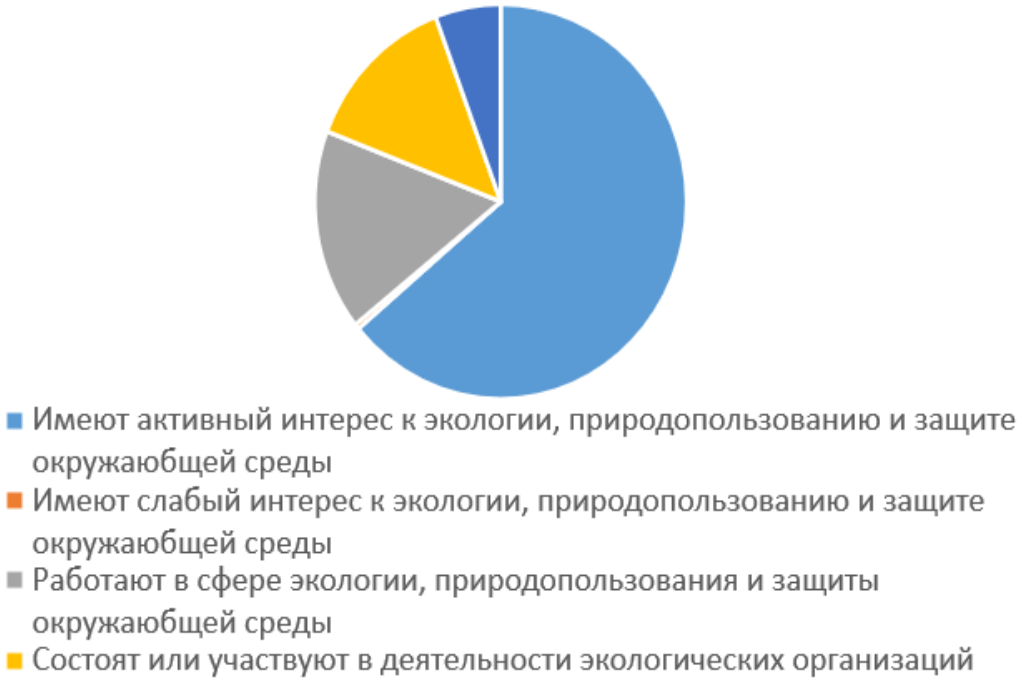


Рис. 1. Статистика заинтересованности респондентов к вопросам экологии, природопользования и защиты окружающей среды

На данном этапе исследования можно сделать вывод, что экологическая проблематика интересует достаточное количество людей, а интерес остальных необходимо повышать за счет экологического сознания и повышения экологической культуры и образования.

Для более качественной реализации проекта, направленного на экологическое просвещение, с помощью анкетирования были выявлены наиболее интересные для населения темы. Каждой предложенной теме респондент присваивал соответствующие баллы, где 5 баллов - эта тема очень интересна, а 0 баллов - эта тема совсем не интересна. При подсчете среднего балла данные показали, что наиболее волнующей темой является раздельный сбор отходов (3,9 балла), вопрос «Куда сдать вторичное сырье?» (3,8 балла) и места захоронения отходов (3,4 балла). Далее по значимости выделены темы экологического досуга и мест посещения (3,16 балла), посадка деревьев (3,16 балла); магазины с натуральным, сертифицированным товаром и товаром без упаковки (3,15 балла); экологические акции (2,95 балла) и общественные некоммерческие экологические организации (2,72 балла); субботники (2,19 балла).

На основании проанализированных результатов маркетинговых исследований, в ходе которых изучалась актуальность экологического образования, интерес пользователей к экологической тематике и выявление популярных ресурсов, были выделены четыре основных блока агрегатора: «Образование», «Просвещение», «Развлечение» и «Покупки» (рис. 2).

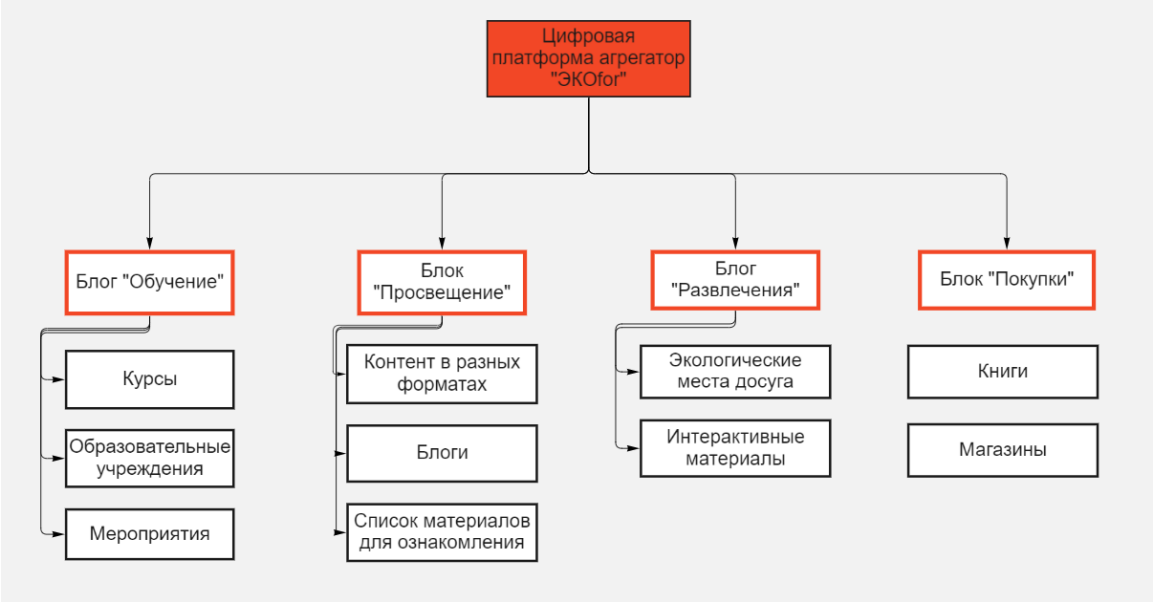


Рис. 2. Предлагаемая структура агрегатора для экологического просвещения «ЭКОfor»

В первом блоке будет доступна информация об образовательных курсах, высших учебных заведениях, повышениях квалификации, лекциях, воркшопах и форумах. Сектор «Просвещение» транслирует трендовый контент в формате видео, подкастов и новостей, блогов, а также дает возможность ознакомиться со списком законов, научных статей, периодических изданий и некоммерческих организаций, связанных с представленной тематикой. «Развлечения» дает доступ к просмотру экологических мест досуга: экотропы, музеи, выставки и экскурсии. В разделе «Покупки» можно найти информацию о магазинах, с экологичными товарами и товарами без упаковки, которые в последние годы набирают популярность, а также, ознакомиться с перечнем книг советских и современных авторов, которые доносят до читателей информацию об экологии, природопользовании и защите окружающей среды в доступном формате, и мотивируют на экологичный образ жизни. При переходе на один из секторов на странице будет представлен фильтр, который включает в себя пункты, под каждый запрашиваемый сектор.

Технология агрегатора представлена соприкосновением двух рыночных отношений – B2B и B2C (рис. 3).

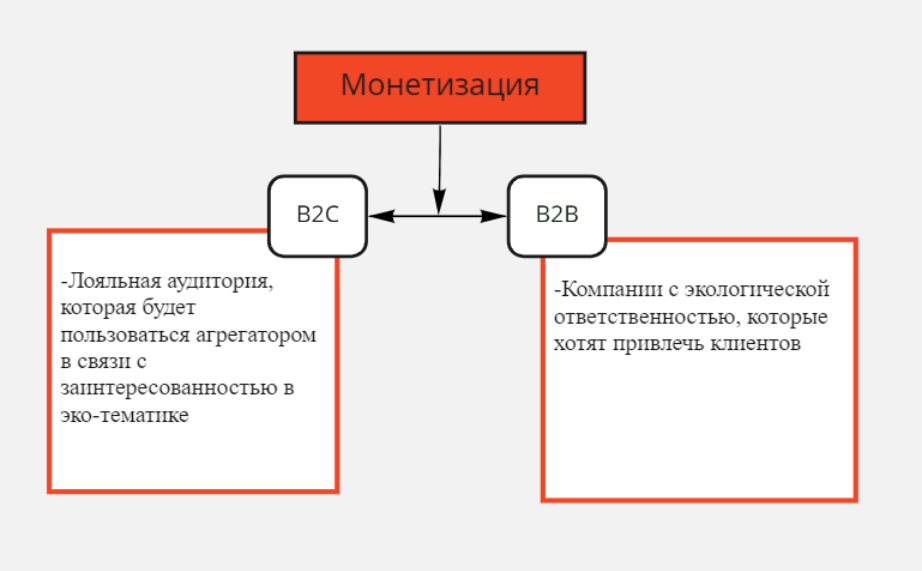


Рис. 3. Технология монетизации агрегатора

В данном контексте рынок B2C (Business-to-consumer) представлен в формате бизнес-отношений «агрегатор-лояльная аудитория». При реализации цифровой платформы, пользователям (людям, связанным с экологией и природопользованием посредством работы; людям с активной экологической позицией, интересующихся данной тематикой; и людям, которым требуется найти проверенные и качественные материалы и ресурсы, направленные на экологию, природопользование и защиту окружающей среды) будет доступна вся проверенная экспертами, достоверная информация, связанная с экологией, природопользованием и защитой окружающей среды.

Модель B2B (Business-to-Business) преподносится как взаимоотношение «агрегатор-другой бизнес». При работе цифровой платформы, на сайте будет размещаться реклама магазинов с экологическими товарами, предприятия с экологической ответственностью, прошедшие экспертизу администраторов агрегатора и др.

Отличительной чертой данного решения является агрегированный формат предоставления информации; подтвержденное экспертами в запрашиваемой области качество и правильность материалов; персонификация ресурса под запросы пользователя. Тем самым будет создано онлайн-сообщество людей, интересующихся экологией, а платформа поможет получить информацию как новичкам, так и продвинутым пользователям в экологической тематике.

Первоначальная разработанная структура агрегатора позволит составить техническое задание для разработчика, и реализовать проект экологического просвещения. Вариантами финансирования является научный краудфандинг и грантовая поддержка социальных проектов. Стоит отметить, что проект не имеет на рынке конкурентов и является инновационным решением.

Литература

1. Цели в области устойчивого развития / [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/ (дата обращения: 21.03.2021).
2. Агентство социальной информации: исследование ВЦИОМ / [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.asi.org.ru/news/2020/08/19/vtsiom-ekologiya/ (дата обращения: 21.03.2021).

3. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. 09.03.2021) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www. consultant.ru/ document/cons_doc_LAW_34823/. (дата обращения: 23.01.2022).

УДК 504.064.43

ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕРОДА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е.О. Ишутина
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова
Университет ИТМО
e-mail: katuha31-1997@mail.ru, marinakustikova@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

Аннотация
Технологии улавливания и хранения углерода являются одним из основных путей решения для снижения количества углекислого газа в атмосфере. В большинстве установок улавливания применяется растворитель – моноэтаноламин. Однако, существуют установки, использующие горячий карбонат калия в качестве растворителя. В данной работе был рассмотрен способ улавливания при помощи горячего карбонат калия, а также изучены перспективы использования данных технологий в Российской Федерации.
Ключевые слова
Диоксид углерода, Парижское соглашение, углеродная нейтральность, неорганический растворитель, горячий карбонат калия.

В настоящее время наблюдается глобальный энергетический переход и остро стоит внедрение практики регулирования выбросов парниковых газов. Высокое содержание CO_2 в атмосфере и изменение климата вследствие деятельности человека является основными причинами развития низкоуглеродной экономики.

Четвёртого ноября 2016 года вступило в силу Парижское соглашение, которое объединило страны в стремлении достичь общей цели – снижение выбросов парниковых газов и декарбонизация экономики. По оценкам МГЭИК, один из перспективных вариантов снижения количества углекислого газа в атмосфере – внедрение технологий улавливаний, хранения и использования диоксида углерода в производственный процесс [1].

Суть технологии улавливания диоксида углерода (CO_2) заключается в захвате CO_2 из общей доли выделяемых газов. Улавливать CO_2 можно до или после сжигания топлива для выработки энергии, на промышленных предприятиях и при очистке нефти или природного газа. Далее газ сжимают для транспортировки и дальнейшего хранения в пористых геологических формациях. Помимо хранения, захваченный газ можно использовать в качестве сырья [1].

Улавливание газа «после» сжигания топлива происходит следующим образом. При сжигании образуется дымовой газ, в котором при помощи растворителя захватывается CO_2. Доля захвата составляет 3–15 % по объему.

При улавливании «до» сжигания топливо смешивают с потоком воздуха или кислорода. Образуется смесь, состоящая из окиси углерода и водорода.

Современные установки для улавливания CO_2 «до» или «после» сжигания применяются на некоторых зарубежных энергетических станциях и могут улавливать до 95 % углекислого газа.

На промышленных производствах применятся сепарация CO_2 при помощи физических или химических растворителей, мембран, твердых сорбентов или криогенного разделения [1].

В установках улавливания после сжигания топлива можно использовать два вида растворителей: органический и неорганический. В качестве органического зачастую используется моноэтаноламин, неорганическим растворителем может выступать горячий карбонат калия. Существенными недостатками моноэтаноламина являются высокие потери растворителя в абсорбере и высокая энергозатратность на регенерацию растворителя во время отгонки. Несмотря на низкую стоимость растворителя, вышеперечисленные факты повышают стоимость улавливания на 30–75 %.

В связи с этим стоит необходимость использовать высококонцентрированные растворы, как например горячий карбонат калия. Его начали использовать в 1954 году в США при очистке синтез-газа («поташный метод очистки») [2].

Карбонат калия имеет ряд преимуществ перед растворителями на основе аминов [2]:

– абсорбция может происходить при высоких температурах, что делает процесс более экономным,

– низкая стоимость самого карбонат калия,

– менее подвержен деградации при высоких температурах и при добавлении кислорода и других газовых компонентов,

– имеет низкую степень токсичности.

Захваченный CO_2 и очищенный дымовой газ полностью свободны от разложившихся (потенциально канцерогенных) азотистых аминов и, следовательно, не представляют опасности для окружающей среды или людей. Это одно из самых сильных преимуществ использования карбоната калия вместо аминов в качестве абсорбента.

Использование горячего карбоната калия для улавливания CO_2 на электростанции было предложено в Норвегии в 2016 году. Суть технологии в том, что дымовой газ сжимают и охлаждают, а затем подают в абсорбер для улавливания углекислого газа. На рис. 1 изображена схема работы установки [2].

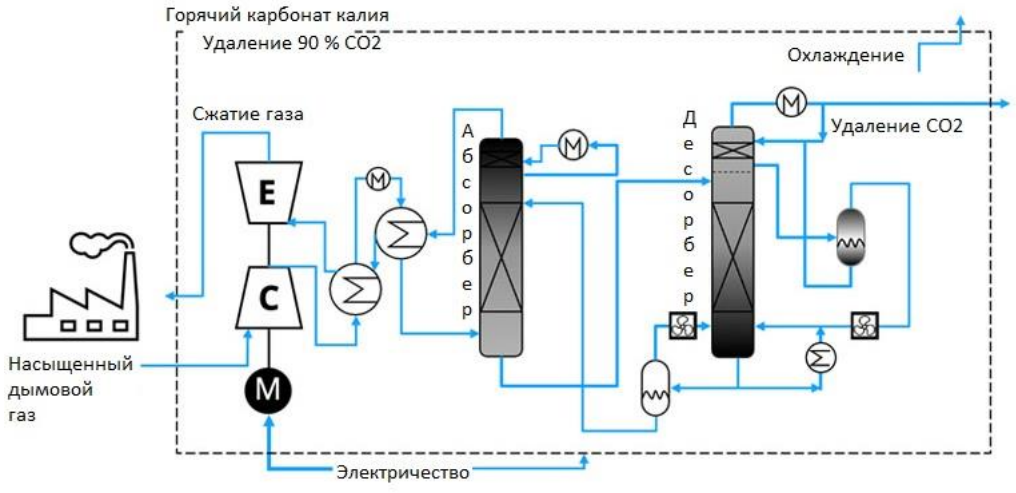


Рис. 1. Схема процессов улавливания углекислого газа при помощи горячего карбоната калия [2]

Дымовой газ, содержащий CO_2 подвергают сжатию и последующему охлаждению. Прежде, чем подать газ в абсорбер, его приводят в контакт с встречным потоком водного раствора абсорбента CO_2, чтобы получить обедненный в отношении CO_2 уходящий газ, который перекачивается из абсорбера и нагревается за счет поступающего сжатого уходящего газа. После газ расширяется и высвобождается в атмосферу, а водный

раствор абсорбента CO2 представляет собой водный раствор карбоната калия. Пар и CO_2, выпущенные из регенератора, охлаждаются в контактном охладителе за счет встречного потока охлаждающей воды. Получается газообразный поток охлажденного CO_2 и пара.

Пар забирается для сжатия и осушки CO_2, а поток жидкости, состоящий из охлаждающей воды и конденсированного пара, забирается и подвергается мгновенному испарению, чтобы получить охлажденную жидкую фазу, которую снова направляют в качестве охлаждающей воды в контактный охладитель для извлечения CO_2 и пара, и газообразную фазу, которую сжимают и, таким образом, нагревают, и подают в регенератор в качестве пара десорбции [2].

Использование горячего карбоната калия в качестве растворителя для улавливания используется на шведской электростанции «Stockholm Exergi», в финской энергетической компании «WOIMA» и в других европейских компаниях [3].

Далее захваченный CO_2 транспортируется к месту хранения или дальнейшего использования. Газ транспортируют в газообразном, жидком и твердом состояниях по трубопроводам или в цистернах при помощи авто/жд. Условие для транспортировки по трубопроводам: газ, сжатый до давления более 8 Мпа. Условия для перевозки в изолированных цистернах на судне или авто/жд транспортом: температура и давление в цистерне должны быть ниже, чем в окружающей среде [3].

Потенциальными местами для хранения CO_2 являются геологические пористые формации, которые удерживают или (как в случае выработанных нефтяных и газовых пластов) ранее удерживали жидкости, такие как природный газ, нефть или соляные растворы.

Главные условия для геологического резервуара – минимальная глубина 800 м, где температура и давление окружающей среды достаточно высоки, чтобы поддерживать CO_2 в жидком или сверхкритическом состоянии.

Общая схема процессов улавливания и хранения углекислого газа изображена на рис. 2 [3].

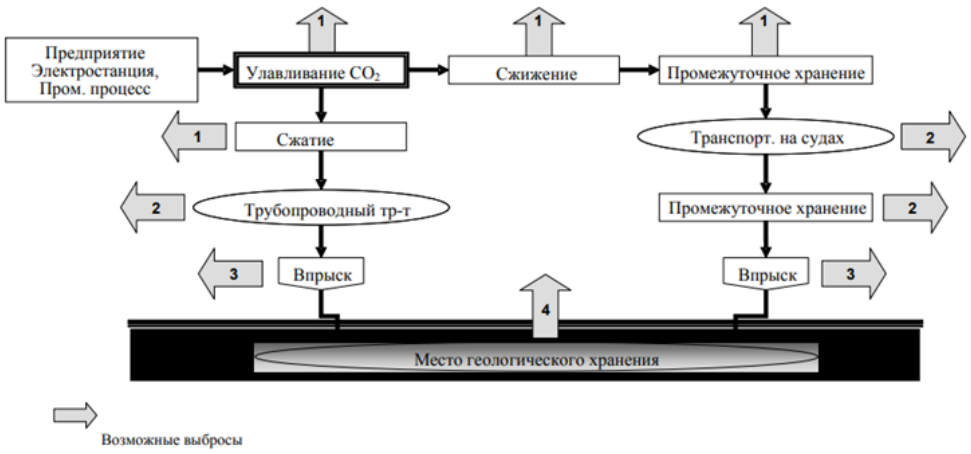


Рис. 2. общая схема процессов улавливания и хранения CO_2 [3]

Несмотря на отсутствие действующих проектов по улавливанию и хранению углекислого газа в России, с 2021 года наблюдается повышенный интерес к углеродо-нейтральным технологиям. Это связано с выходом Распоряжения Правительства РФ «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

Также одна из главных задач в Федеральной научно-технической программе в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений – разработка системы мониторинга парниковых газов и углеродного цикла. В связи с этим

введена обязательная углеродная отчетность для крупных промышленных предприятий с выбросами парниковых газов, эквивалентными более 150 тыс. т углекислого газа в год.

Потенциал развития технологий улавливания и хранения углекислого газа в России обусловлен следующим:

– развитая нефте- и газодобывающая и перерабатывающая промышленность позволяет внедрить установки для улавливания CO_2 и использовать существующие трубопроводы;

– суммарная емкость хранилищ в России составляет около 1173 Гт [1].

Осуществлять процесс транспортировки и хранения углекислого газа можно также на отработанных месторождениях.

В ходе данной работы был рассмотрен один из перспективных растворителей для захвата CO_2 – горячий карбонат калия. Были изучен абсорбирующий принцип работы растворителя, а также его преимущества перед аминами. Полученные сведения можно использовать при дальнейшем сравнении других наиболее распространенных сорбентов углекислого газа и при проектировании установки для улавливания CO_2.

Литература

1. Специальный доклад МГЭИК. Улавливание и хранение двуокиси углерода. 2005. 66 с.
2. Пат. EA035832B1, МПК BOID 53/18 (2006.01), BOID 53/62 (2006.01), BOID 53/78 (2006.01), F23J15/04 (2006.01), BOID 53/96 (2006.01). Способ и установка для улавливания CO_2/ Хамрин Стеллан; заявитель и патентообладатель КАПСОЛЬ-ЭОП АС. №201890535; заявл. 09.06.16; опубл. 18.08.20. 3с.
3. Установка с использованием горячего карбоната калия в качестве растворителя. 2020. [Электронный ресурс]ю Режим доступа: https://www.co2capsol.com/faq (дата обращения: 25.02.2022).

УДК 620.92

ЭНЕГРОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ НА БАЗЕ МЕТОДА СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ВОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ

А.Ф. Корнатовский
Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.А. Рахманов
Университет ИТМО
e-mail: akornatovskiy@niuito.ru, jarakhmanov@itmo.ru

Аннотация
Предлагается экологически безопасное обезвреживание опасных отходов (высокотоксичных пестицидов) на базе метода сверхкритического водного окисления. Метод основан на использовании сверхкритических свойствах воды при параметрах температуры ($t_{кр} \geq 373$ °C) и давления ($p_{кр} \geq 22{,}1$ МПа), в присутствии щелочных соединений и применении в качестве окислителя кислорода воздуха или перекиси водорода. В результате реакции, образовавшаяся парогазовая смесь, в состав которой входят H_2O, CO_2, O_2, N_2, может использоваться в качестве рабочего тела для производства тепловой и электрической энергии. В качестве твердых остатков выделяются соли NaCl. Выявлены основные факторы и технологические особенности, позволяющие реализовать энерготехнологический процесс сверхкритического водного окисления высокотоксичных веществ.

Ключевые слова
Сверхкритическое водное окисление, опасные отходы, пестициды, высокотоксичные вещества, технология обезвреживания.

С конца прошлого века началось широкое производство и применение химических средств защиты растений, которые резко усилили антропогенную нагрузку на окружающую среду, путем нарушения нормального функционирования различных экосистем и ландшафтов. По результатам исследования, проведенного несколько десятилетий спустя, большая часть пестицидов оказалась в списке запрещенных к применению. В итоге, в различных регионах России начали возникать склады хранения пришедших в негодность и запрещенных к применению пестицидов. Большинство химических соединений обладает высокой токсичностью, а условия их хранения не соответствуют санитарным требованиям и представляют серьезную угрозу экологической безопасности региона, а также здоровью людей [1].

В РФ реализовывалось более полуторы сотни ядохимикатов, относящихся к различным классам химических соединений: мышьякосодержащие препараты; хлорорганические (ДДТ, гексахлоран, полихлоркамфен и др.); фосфорорганические (метилмеркаптофос, хлорофос, осфамид и др.); сероорганические, алкалоиды и др. [2]. Наиболее распространенными и широко применяемыми классами пестицидов остаются хлор- и фосфорорганические соединения [3].

Главным недостатком существующих методов утилизации опасных отходов является многостадийность, необходимость дополнительной очистки образующихся газовых смесей, шламов и большая вероятность образования диоксинов и бензофуранов. Следовательно, существует необходимость в разработке надежных, энергоэффективных и экологически безопасных методов ликвидации непригодных и запрещенных к применению опасных веществ.

Обезвреживание высокотоксичных веществ на базе метода сверхкритического водного окисления (СКВО) лишено таких недостатков, как многостадийность и

доочистка образующихся газов [4, 5, 6]. Экспериментально подтверждена высокая эффективность и экологическая безопасность метода сверхкритического гидротермального окисления отходов 1-4 классов опасности [1, 7, 8].

Метод сверхкритического водного окисления представляет собой процесс обезвреживания исходной смеси в воде при критических параметрах и выше ($p_{кр} \geq 22{,}1$ МПа и $t_{кр} \geq 373$ °С). Продуктами реакции являются твердые остатки (при добавлении щелочных соединений) и парогазовая смесь (H_2O, O_2, N_2, CO_2). Время протекания СКВО высокотоксичных веществ может достигать 120 секунд, а полнота их окисления доходит до 99,9%. В качестве окислителей могут выступать кислород воздуха или перекись водорода.

На рис. 1 представлена принципиальная схема установки обезвреживания отходов методом сверхкритического водного окисления [9].

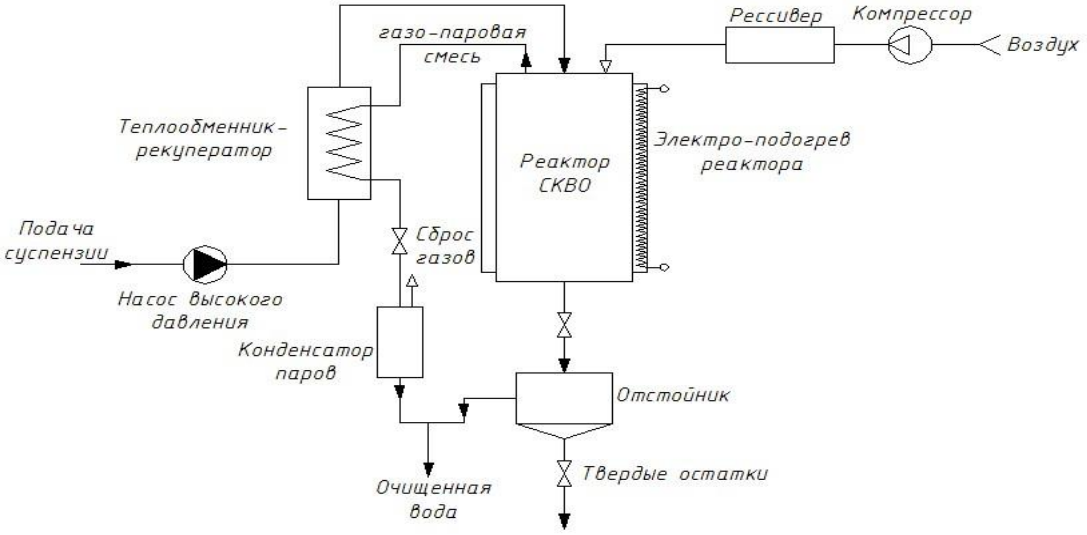


Рис. 1. Технологическая схема установки сверхкритического водного окисления [9]

Достоинством реакций в сверхкритической воде является замкнутость процесса, при котором отсутствуют вредные газовые выбросы в атмосферу и образование токсичных соединения (оксиды азота, серы, диоксины и прочее).

В РФ компанией ООО «ЭКОЭНЕРГОТЕХ» разработана установка СКГО-10-ЭЭТ для обезвреживания галогеноорганических отходов методом сверхкритического гидротермального окисления, блок-схема которой представлена на рис. 2 [8].

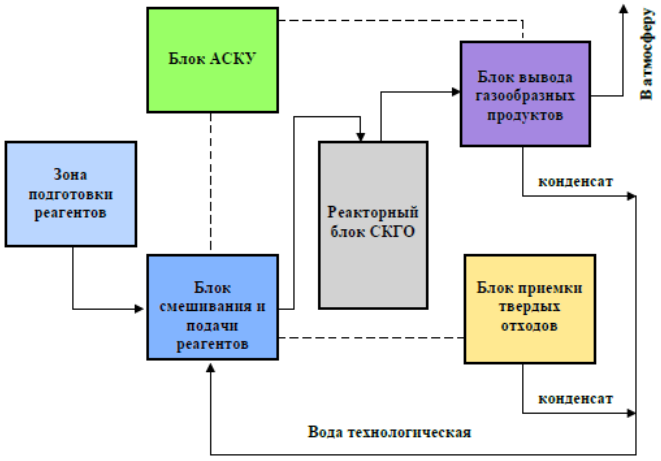


Рис. 2. Блок-схема технологического процесса уничтожения галогенорганических соединений [8]

В результате экологически безопасного способа обезвреживания опасных отходов образуется парогазовая смесь, которую можно полезно использовать в качестве рабочего тела для генерации тепловой и электрической энергии в теплоэнергетическом оборудовании.

Таким образом, на базе основных параметров и характеристик, представленных в технических условиях ТУ 4859-002-98513530-2012 [10], были проведены расчеты различных вариантов компоновок энергетического оборудования системы рекуперации парогазовой смеси, выходящей из реактора [11-14].

Основные расчеты по разработке энергоэффективных технологий обезвреживания вредных веществ в сверхкритической воде проводились, в качестве примера, на основе одного из наиболее стойких и токсичных представителей пестицидов – линдана.

Расчеты осуществлялись для следующих условий и допущений:

– реакция протекает при сверхкритических параметрах воды (t = 373-650 °C, p = 22,1 МПа);
– термодинамические свойства воды и пара выбирались согласно [15];
– окисляющий агент (кислород воздуха или перекись водорода);
– для нейтрализации кислотных остатков в смеситель подается растворенный в воде NaOH;
– производительность по перерабатываемому сырью до 1000 кг/сутки;
– размеры твердых частиц не более 100-200 мкм;
– диаметр капель не более 500 мкм;
– режим работы циклический или «непрерывный» с 2-мя реакторами;
– коэффициент использования окислителя (кислорода) в реакторе – 0,725;
– концентрация опасного отхода в исходной смеси – 10%;
– продолжительность одного цикла работы – до 120 секунд;
– типичные конечные продукты H_2O, CO_2, O_2, N_2 и неорганические соли.

Расчет стехиометрических коэффициентов полного окисления стойкого органического загрязнителя кислородом воздуха проводили на основании принятой схемы реакции:

$$C_6H_6Cl_6 + 6O_2 + 6NaOH \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 6NaCl. \quad (1)$$

В табл. 1 представлен материальный баланс обезвреживания линдана при производительности 1 т/сутки.

Таблица 1

Материальный баланс производительностью 1 т/сутки на примере линдана

Вход			Выход		
Состав исходных продуктов	кг	%	Состав продуктов переработки	кг	%
Линдан	1000	10	Углекислый газ	920	9,2
Вода	4200	42	Вода	4570	45,7
Кислород	920	9,2	Кислород	250	2,5
Азот	3050	30,5	Азот	3050	30,5
Гидроксид натрия	830	8,3	Хлорид натрия	1210	12,1
Итого	10000	100	Итого	10000	100

Рассмотрим различные варианты компоновок энергетического оборудования для использования парогазовой смеси, в качестве рабочего тела, с целью производства

электрической энергии. Для простоты расчета процессы расширения «сухих» газов и водяного пара в энергетическом оборудовании рассматривались отдельно.

1. Детандерные технологии рекуперации теплоты утилизации опасных отходов на базе метода гидротермальной обработки.

Характеристики парогазовой смеси на входе в поршневой детандер высокого давления Дт1 и на выходе из него:

$$– t_{1\text{пгс}} = 600\ ℃, p_{1\text{пгс}} = 20\ \text{МПа};$$
$$– t_{2\text{пгс}} = 161\ ℃, p_{2\text{пгс}} = 0{,}5\ \text{МПа}.$$

Характеристики парогазовой смеси на входе в турбодетандер низкого давления Дт2 и на выходе из него:

$$– t_{1\text{пгс}} = 161\ ℃, p_{1\text{пгс}} = 0{,}5\ \text{МПа};$$
$$– t_{2\text{пгс}} = 92{,}4\ ℃, p_{2\text{пгс}} = 0{,}12\ \text{МПа}.$$

Схема расширения парогазовой смеси в детандерах представлена на рис. 3.

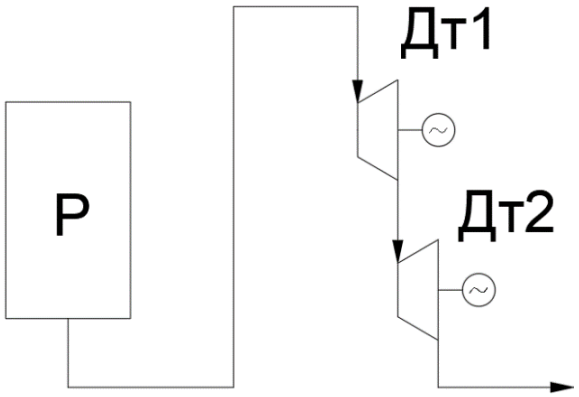


Рис. 3. Технология рекуперации парогазовой смеси в детандерах высокого и низкого давления: Р – реактор сверхкритического гидротермального окисления; Дт1 – поршневой детандер высокого давления; Дт2 – турбодетандер низкого давления

Электрическая мощность, получаемая в результате расширения парогазовой смеси в поршневом детандере высокого давления Дт1 и трубодетандере низкого давления Дт2:

$$N_{\text{э Дт1,2}} = N_{\text{эДт1}} + N_{\text{эДт2}}\,, \qquad (2)$$

где $N_{\text{эДт1}}$ – электрическая мощность развиваемая парогазовой смесью в поршневом детандере высокого давления в Дт1, кВт;
$N_{\text{эДт2}}$ – электрическая мощность развиваемая парогазовой смесью в турбодетандере низкого давления Дт2, кВт;

В результате суммарная мощность:

$$N_{\text{э Дт1,2}} = 51{,}63 + 7{,}7 = 59{,}33\ \text{кВт}.$$

2. Паросиловые технологии рекуперации теплоты утилизации опасных отходов на базе метода гидротермальной обработки.

Характеристики парогазовой смеси на входе в котел-утилизатор (КУ) и характеристики пара на выходе из него:

– $t_{1пгс} = 600$ ℃, $p_{1пгс} = 25$ МПа;
– $t_{2пгс} = 348$ ℃, $p_{2пгс} = 16{,}2$ МПа.

Характеристики пара на входе в паровую турбину Т и на выходе из нее:

– $t_{1п} = 158$ ℃, $p_{1п} = 0{,}6$ МПа;
– $t_2 = 99{,}61$ ℃, $p_2 = 0{,}1$ МПа.

Схема рекуперации парогазовой смеси в котле-утилизаторе и паровой турбине представлена на рис. 4.

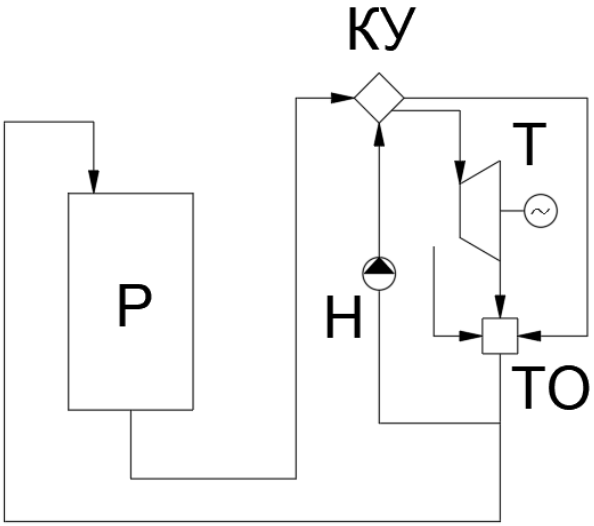


Рис. 4. Технология рекуперации парогазовой смеси в котле-утилизаторе и паровой турбине:
Р – реактор сверхкритического гидротермального окисления; КУ – котел-утилизатор;
Т – паровая турбина; ТО – теплообменник; Н – насос.

Тепловая мощность, получаемая в результате работы парогазовой смеси в котле-утилизаторе КУ:

$$Q_{\text{твд КУ}} = Q_{\text{твд сг}} + Q_{\text{твд } H_2O}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{твд сг}}$ – мощность развиваемая "сухими\" " газами в котле-утилизаторе *КУ*, кВт;
$Q_{\text{твд}}\,H_2O$ – мощность развиваемая "водяными парами" в котле-утилизаторе *КУ*, кВт.

В результате суммарная тепловая мощность составляет:

$$Q_{\text{твд КУ}} = 15{,}2 + 54{,}7 = 69{,}9 \text{ кВт}.$$

Электрическая мощность, получаемая в результате расширения пара в паровой турбине Т:

$$N_{\text{э Т}} = 5{,}92 \text{ кВт}. \quad (4)$$

3. Расчетные характеристики поршневого детандера высокого давления для рекуперации теплоты утилизации опасных отходов на базе метода гидротермальной обработки.

Характеристики парогазовой смеси на входе в поршневой детандер высокого давления Дт и на выходе из него:

– $t_{1пгс} = 600$ ℃, $p_{1пгс} = 22$ МПа;
– $t_{2пгс} = 34$ ℃, $p_{2пгс} = 0{,}12$ МПа.

Схема рекуперации парогазовой смеси в поршневом детандере высокого давления представлена на рис. 5.

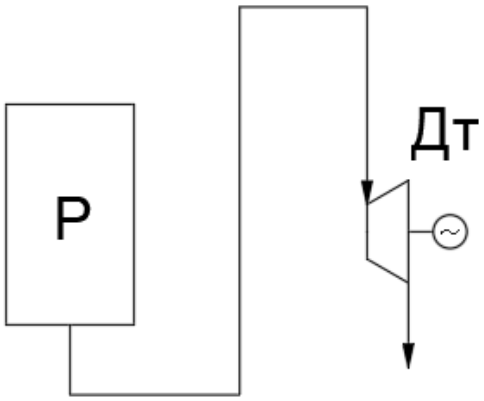


Рис. 5. Технология рекуперации парогазовой смеси в поршневом детандере высокого давления: Р – реактор сверхкритического гидротермального окисления; Д – поршневой детандер высокого давления

Электрическая мощность, получаемая в результате расширения пара в поршневом детандере высокого давления Дт:

$$N_{э\,Дт} = 50{,}84 \text{ кВт}. \quad (5)$$

Таким образом, полученные данные по различным технологиям рекуперации теплоты утилизации опасных отходов методом сверхкритического водного окисления занесены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов энергоэффективности технологий утилизации опасных отходов на базе метода сверхкритического водного окисления

№	Значение	Раз-мер-ность	Энергоэффективные технологии		
			Дт1 +Дт2	КУ + Т	Дт
1	Тепловая мощность развиваемая парогазовой смесью в теплоэнергетическом оборудовании	кВт	-	69,9	-
2	Электрическая мощность, получившаяся в результате расширения парогазовой смеси в энергетическом оборудовании, связанном с электрогенератором	кВт	59,33	5,9	50,84
3	Суммарная полезная мощность рекуперации	кВт	59,33	64	50,84

На основании предложенных энергоэффективных технологий были сделаны расчеты, дающие энергетическую оценку утилизации теплоты опасных отходов с применением гидротермального окисления и получением высокоэнтальпийной парогазовой смеси, пригодной для получения электрической энергии и тепла.

На основании расчета теплового баланса показано, что при концентрации опасных отходов 10% процесс сверхкритического водного окисления является термодостаточным, а образующая высокоэнтальпийная парогазовая смесь является

рабочим телом в теплоэнергетическом оборудовании для получения электрической и тепловой энергии.

Конденсат водяного пара, полученный при охлаждении парогазовой смеси, может быть повторно использован.

Литература

1. Крылова Т.Г., Григорьев В.С. Исследование процессов обезвреживания пестицидов в сверхкритической среде // Нива Поволжья. 2011. №1. С. 34-40.
2. Мельников Н.Н. Справочник по пестицидам / Мельников Н.Н., Новожилов П.К., Белан С.Р., Пылова Т.Н. М.: Химия. 1985. 352 с.
3. Каган Ю.С. Токсикология фосфорорганических пестицидов / Каган Ю.С. М.: Медицина. 1977. 296 с.
4. Мазалов Ю.А. Перспективы применения технологии сверхкритического водного окисления для уничтожения высокотоксичных веществ / Мазалов Ю.А., Соловьев Р.Ю., Сороковиков А.В. // МТС. 2004. № 5. 10 с.
5. Мазалов Ю.А. Экологическая безопасность и экотерроризм / Мазалов Ю.А., Григорьев В.С., Константиновская М.В., Крылова Т.Г. // МТС. 2010. № 3. С. 16-20.
6. Мазалов Ю.А., Передовые зеленые технологии – в сельское хозяйство / Мазалов Ю.А., Григорьев В.С., Ерофеев Д.В., Крылова Т.Г., Константиновская М.В. // МТС. 2010. № 2. С. 30-33.
7. Иконников В.К. Применение метода сверхкритического водного окисления в технологиях уничтожения вредных веществ 1-го и 2-го класса опасности / Иконников В.К., Егоянц П.А. // Физико-химические аспекты предельных состояний и структурных превращений в сплошных средах, материалах и технических системах / СПб НЦ РАН; Под общ. ред. Петрова Ю.В. Санкт-Петербург: Издательство "Политехника". 2018. С. 113-121.
8. Установка СКГО-10-ЭЭТ для обезвреживания органических отходов методом сверхкритического гидротермального окисления: разовый технологический регламент / ООО «Экоэнерготех». Москва. 2012. 25 с.
9. Емжина В.В. Очистка сточных вод от активных фармацевтических субстанций с помощью усовершенствованных окислительных методов: диссертация ... кандидата химических наук: 03.02.08 / Емжина Виктория Валерьевна. Москва. 2019. 146 с.
10. ТУ 4859-002-98513530-2012. Установка для уничтожения галогеноорганических соединений методом сверхкритического гидротермального окисления. 41 с.
11. Архаров А.М. и др. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов по специальности «Техника и физика низких температур»: В 2 т. Т.1. Основные теории и расчета / Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение. 1996. 576 с.
12. Архаров А.М. и др. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов по специальности «Техника и физика низких температур» и «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование»: В 2 т. Т.2. Основные теории и расчета / Архаров А.М., Архаров И.А., Беляков В.П. и др.; Под общ. Ред. Архарова А.М. и Смородина А.И. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение. 1999. 720 с.
13. Кудинов А.А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках. Ульяновск: УлГТУ. 2000. 139 с.
14. Воинов А.П., Зайцев В.А., Куперман Л.И., Сидельковский Л.Н. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты / Под ред. Сидельковского Л.Н. М.: Энергоатомиздат. 1989. 272 с.
15. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1984. 80 с. с ил.

УДК 504

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ БИОРАЗЛАГАЕМОСТИ СОГЛАСНО ISO 17556 И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА

А.П. Кузнецова
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Р. Молодкина
Университет ИТМО
e-mail: apkuznetcova@itmo.ru

Аннотация
Статья посвящена результатам заключительного этапа испытания на биоразложение по ISO 17556. Приведено описание визуальных изменений материала на протяжении шестимесячного срока проведения эксперимента. Сформулированы основные выводы и рекомендации по проведению испытаний, рассчитаны степень разложения для каждой повторности и средняя степень разложения исследуемого материала.
Ключевые слова
Биоразлагаемые материалы, биоразложение, компостирование, степень биоразложения, контролируемое компостирование.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации и компания «Российский экологический оператор» развивают направление борьбы с загрязнением пластиками в России. Как одно из решений, рассматривается использование биоразлагаемых материалов вместо некоторой одноразовой продукции из пластика [1]. Однако для экологичного использования нового типа материалов требуется не только создание инфраструктуры для раздельного сбора и переработки отходов, но и система проверки свойств биоразложения. В настоящий момент, в России отсутствует обязательная система сертификации биоразлагаемых материалов, а добровольная сертификация сталкивается с проблемой нехватки лабораторий, проводящих анализы на биоразложение. Кроме того, в системе государственных стандартов представлены не все международные методики для проведения анализов. Апробация международной методики ISO 17556, используемой для выдачи международных сертификатов качества биоразлагаемых материалов, способствует как развитию научных исследований биоразлагаемых материалов, так и дальнейшему развитию системы оценки качества таких материалов.

Стадии эксперимента включают в себя следующие этапы:

1. Подготовка смеси субстрата - Смесь субстрата была подготовлена согласно стандарту ISO 17556 и состояла из смеси проб почвы и зрелого компоста (25:1). Пробы были отобраны согласно стандартизированным методикам. Оба компонента до смешения были высушены и просеяны через сито с ячейкой 2 мм для придания однородности. Были определены влажность, влагоудерживающая способность почвы и ее pH.
2. Подготовка материала – измельчение материала на кусочки размером 1x1 см. В качестве эталона использовался кукурузный крахмал.
3. Начало эксперимента – получение смеси субстрата и материала и погружение его в емкости для проведения компостирования. Для улавливания выделяющегося в ходе биоразложения углекислого газа в каждую емкость была установлена абсорбционная ловушка.
4. Анализ выделяемого CO_2 – при помощи титрования соляной кислотой раствора KOH, выступающего в качестве абсорбционной ловушки.

5. Завершение эксперимента – проведение расчетов и формулирование выводов.

На протяжении всего эксперимента появлялись различные типы плесени и ростков, на рис. 1 представлены фото белой плесени и ростка, запечатленные после трёх месяцев от начала эксперимента.

Рис. 1. Слева: белая плесень; справа: росток после 3 месяцев от начала эксперимента

После 130 дня эксперимента практически невозможно было увидеть частицы материала в субстрате. Все эти факты указывают на то, что микроклимат поддерживался на протяжении всего эксперимента и процесс биодеградации не прекращался.

Завершение эксперимента было произведено 29.09.2021, по истечении 172 дней с начала эксперимента (максимальная длительность эксперимента 180 дней). Решение о завершении эксперимента было принято в связи с выходом на плато на графике биоразложения, который будет представлен и описан в следующей части работы. Для завершения эксперимента субстрат из банок с материалом был просеян через сито 2 мм для отделения неразложившегося материала. На рис. 2 представлен субстрат до просеивания, после просеивания.

Рис. 2. Слева: субстрат до просеивания; справа – субстрат после просеивания

При просеивании было заметно явное отделение неразложившихся кусочков материала. Сами кусочки сильно облеплены почвой, что повлияло на их вес, в связи с чем определение изменения массы по неразложившемся частичкам без предварительной ручной очистки от почвы невозможно. Фотография неразложившегося материала представлена на рис. 3.

Рис. 3. Слева: фотография неразложившихся кусочков материала,
справа: фотография очищенных неразложившихся кусочков материала

Частички, прошедшие через сито, считаются разложившемся материалом, их вкрапления хорошо видны на рис. 2, фотография справа. В качестве основного способа определения степени биоразложения, используется способ вычисления через разницу между теоретически возможным выделением количества углекислого газа и практически выделенным.

Очищенные частички материала представляли собой истлевший и поблекший, но все еще прочный материал, взятый для исследования. Вне зависимости от изначального цвета кусочка, конечный цвет близок к желтому. Визуальный анализ позволил заметить особенность остатков материала – сохраняя близкую к первоначальному виду форму, материал истончился и зрительно складывалось впечатление, что в процессе разложение произошло разрушение внешних слоев материала. Наблюдались следы образования плесени, в том числе, изменения общего цвета материала – наличие вкраплений серого и черного цвета. Также, учитывая значительное налипание земли на кусочки, можно предположить, что налипший слой субстрата ограничил доступ воздуха и влаги, в связи с чем разложение кусочков замедлилось.

Для измерения массы неразложившихся кусочков использовались аналитические весы, для каждой из трех емкостей, содержащих исследуемый материал, измерение происходило отдельно. Измерения представлены в таблице.

Таблица

Измерения массы неразложившегося материала

Показатель	Номер емкости		
	1	2	3
Масса, г	0,661	0,641	0,431

Представленные результаты демонстрируют небольшую вариацию значений между первыми двумя емкостями и третьей. Согласно наблюдениям, в течение эксперимента отмечалось, что в емкости под номером 3 присутствие различных видов плесени и ростков наблюдалось регулярно, что свидетельствует о создании оптимального микроклимата именно в емкости №3. Масса материала, подвергающегося биоразложению, изначально составляла 6,5 г.

Оценить степень разложения, согласно ГОСТ 57225-2016, можно с помощью следующего расчета [2]:

$$D = \frac{m_i - m_r}{m_i} \cdot 100\%,$$

где m_i – начальная сухая масса испытуемого материала, г; m_r – сухая масса испытуемого материала, который прошел через сита, г.

Однако, при рассмотрении формулы, обнаруживается противоречие, так как разность начальной массы испытуемого материала и прошедшего через сито материала составляет массу непрошедшего через сито материал. В таком случае, рассчитывается процент неразложившегося материала от массы изначальной пробы. В связи с подозрением на ошибку в переведенном стандарте, было принято решение обратиться к первоисточнику – тексту стандарта ISO 20200:2015. Текст стандарта включает в себя следующее описание формулы, переведенное автором на русский язык [3]:

«Пластиковый материал, извлеченный в результате процедуры просеивания, считается неразложившися материалом. Материал, прошедший через сита, считается разложившимся. Степень разложения D рассчитывается в процентах по уравнению:

$$D = \frac{m_i - m_r}{m_i} \cdot 100\%,$$

где m_i – изначальная сухая масса пробы материала; m_r – масса материала, непрошедшего через сито.»

Таким образом, m_r – масса оставшегося материала, непрошедшего сито, так как до этого неразложенный материал определяется как тот, что был «отделен в процессе просеивания» [3].

Таким образом, в результате сравнения с оригинальным текстом, можно однозначно утверждать об ошибке в описании формулы в действующем ГОСТ.

Расчет проведен согласно верной формуле, представленной в тексте англоязычного стандарта. Степень разложения вычисляют отдельно для каждой емкости. Так как на завершающей стадии проведения испытания была определена масса испытуемого материала, не прошедшего через сито, обозначенная как m_r, г, сразу перейдем к расчету. Изначальная масса испытуемого материала в каждой емкости составляла 6,5 г. Согласно измерениям массы, приведенным в первой главе работы в таблице 1.1, для каждой емкости получим:

$$D_1 = \frac{m_{p1}}{m_i} \cdot 100\% = \frac{6{,}5 - 0{,}661\ \text{г}}{6{,}5\ \text{г}} \cdot 100\% = 89{,}8\%,$$

$$D_2 = \frac{m_{p2}}{m_i} \cdot 100\% = \frac{6{,}5 - 0{,}641\ \text{г}}{6{,}5\ \text{г}} \cdot 100\% = 90{,}1\%,$$

$$D_3 = \frac{m_{p3}}{m_i} \cdot 100\% = \frac{6{,}5 - 0{,}431\ \text{г}}{6{,}5\ \text{г}} \cdot 100\% = 93{,}4\%,$$

Таким образом, средняя степень разложения составит:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3} = \frac{89{,}8 + 90{,}1 + 93{,}4}{3} = 91{,}1\%.$$

Следовательно, степень разложения материала составила 91,1% за 172 дня проведения экспериментов. Данный результат соответствует требованиям, предъявляемым к степени разложения материалов.

Стандартные методы испытаний на биоразложение пластика на биологической основе могут не оценить эффективность компостирования в реальных условиях компостирования [4]. Это в основном относится к испытаниям, в которых в качестве компонента субстрата используется только зрелый компост. Зрелый компост, однако, может влиять на активность микроорганизмов, ответственных за биоразложение пластмасс на биооснове, задерживая питательные вещества и влияя на pH [5]. Добавление органических отходов в субстрат (например, сырой пищи) может привести к лучшему моделированию реальных этапов процесса компостирования [4].

Кроме того, наблюдалось значительное налипание субстрата на кусочки материала, что также влияет на доступ питательных веществ, влаги и сказывается на скорости процесса биоразложения. В качестве решения данной проблемы предлагается изменение состава субстрата, а именно добавление свежих органических отходов в незначительном количестве для определения их влияния на процесс биоразложения. Дополнительно при следующих постановках метода планируется улучшить систему перемешивания, проводя его более тщательно для предупреждения комкования субстрата и налипания его на материал.

Для увеличения точности анализа к испытанию предлагается следующий метод. При титровании смеси гидроксида и карбоната натрия/калия кислотой в присутствии метилового оранжевого, устанавливают объем кислоты, эквивалентный содержанию обоих компонентов. Если анализируемый раствор обработать небольшим избытком хлорида бария, карбонат-ион осаждается, а оставшуюся в растворе щелочь можно оттитровать кислотой, не отфильтровывая осадка $BaCO_3$ [6].

В результате проведенных испытаний, степень разложения материала составила 91,1%, что описывает материал как разлагаемый в естественной среде практически полностью. Также отмечена критическая ошибка в методике расчета степени разложения в ГОСТ Р 57225-2016. Приведенная в тексте стандарта формула неправильно пояснена, что вводит в заблуждение и приводит к получению некорректных результатов, а именно вычислению степени неразложения материала. Целью дальнейших исследований является изучение влияния свойств субстрата, окружающей среды и таких параметров, как влажность и температура, на процесс биодеградации материала.

Литература

1. ППК РЭО. Российский Экологический Оператор [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://reo.ru/news (дата обращения: 03.04.2022).
2. ГОСТ Р 57225-2016. Пластмассы. Определение степени разложения пластмасс в имитированных условиях компостирования при лабораторных испытаниях. Введен 01.05.2017. М.: Стандартинформ. 2016. 10 с.
3. ISO 20200:2015 Plastics – determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory-scale test [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.iso.org/standard/63367.html (дата обращения: 10.09.2021).
4. Hottle T.A. Alkaline amendment for the enhancement of compost degradation for polylactic acid biopolymer products // Compost. 2016. V. 24. P. 159–173.
5. Briassoulis D., Pikasi A., Hiskakis M., Organic recycling of post-consumer /industrial bio-based plastics through industrial aerobic composting and anaerobic digestion - Techno-economic sustainability criteria and indicators // Polymer Degradation and Stability. 2021. V.190. P. 1–26.
6. Булатов А.В. Методические указания к практикуму «Химические методы анализа»: Учебное пособие. СПб.: ВВМ. 2010. 54 с.

УДК 631.95

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ПРОДУКТАМ ИЗ ЛИЧИНОК МУХ *HERMETIA ILLUCENS*

А.С. Лоскутова, К.Г. Кузнецова, П.К. Жустерова, А.В. Прокошева
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Р. Молодкина
Университет ИТМО
e-mail: loskutova.itmo@gmail.com

Аннотация
В данной работе представлен аналитический обзор научно-исследовательской литературы о методах получения и требований к белковому концентрату из личинки мух *Hermetia illucens*. Рассмотрен ряд исследований, направленных на изучение воздействия на окружающую среду переработки органических отходов личинок мух *Hermetia illucens*, а также методов получения белкового концентрата и определения качества продукта.

Ключевые слова
Органические отходы, переработка органических отходов, личинка мух *Hermetia illucens*, мука из насекомых, белковый концентрат.

Организация Объединенных Наций предсказала, что население мира увеличится с семи до девяти миллиардов человек к 2030 году, и ожидается, что при этом увеличении около 60% людей мигрируют и будут жить в городах [1]. Животный белок стоит дорого и становится недоступным для многих людей, особенно в развивающихся странах. Чтобы накормить это растущее население, сейчас больше, чем когда-либо, требуется изменение парадигмы в сторону производства устойчивых и рентабельных продуктов питания. Съедобные насекомые недавно были предложены в качестве источника пищи, который может решить экономические, экологические и медицинские проблемы по мере роста населения. В связи с растущим спросом на потребление съедобных насекомых промышленное выращивание съедобных насекомых, таких как личинки Черной львинки *Hermetia illucens*, расширяется благодаря своим стабильным поставкам, рентабельности и гигиеничности производства. В настоящее время съедобные насекомые в основном продаются в виде целых насекомых, измельченных паст или муки, белковых порошков и масляных фракций, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве ингредиентов в кормах животных и в пищевых продуктах для человека. Поэтому технология получения белка на основе биоконверсии органических отходов личинками мух Черная львинка *Hermetia illucens* рассматривается как одна из наиболее перспективных технологий переработки органических отходов.

Муха Черная львинка, компостная муха, принадлежащая к семейству солдатских мух. Предположительно родом из Южной Америки, но в настоящее время широко распространен в тропических и временных зонах по всему миру [2].

Беловатые личинки вырастают до 25 миллиметров в длину, проходят шесть возрастов, чтобы достичь стадии коричневой предкуколки. Предкуколки покидают влажную компостную среду в поисках сухого места для окукливания, что позволяет эффективно отделить личинок от субстрата. Личинки мухи Черная львинка (далее - ЧЛ) являются очень эффективными компостерами, способными переваривать целый ряд органических продуктов.

Вид растут в широком диапазоне условий окружающей среды и очень эффективны в массовой культуре, выдерживают высокую плотность популяции и способны завершить жизненный цикл в течение 3 недель [2].

Выращивание мухи Черная львинка на несъедобных для человека отходах и скармливание их более крупным пищевым животным может улучить качество питание этих животных и является более экологичным и эффективным вариантом кормления, чем выращивание зерновых или других кормов, при котором используются земля и ресурсы, которые в противном случае можно было бы использовать для выращивания продуктов питания для людей.

Из выращенных на отходах личинках мух Черная львинка получается ряд продуктов: мука из личинок, белковый концентрат, липиды, хитин, хитозан, ферменты и т.д.

Наибольшее распространение из продуктов, получаемых из личинок, приходится на муку из личинок. Содержание белка после обезвоживания личинок составляет примерно 40%. Аминокислотный состав белка определяет его качество как корма для животных. Оптимальный аминокислотный состав может различаться у разных видов из-за различных требований к корму, и некоторые аминокислоты могут потребоваться в виде добавок [3].

Белок из личинок мух ЧЛ можно получать в двух разных формах: мука из личинок, которая представляется из себя продукт, полученный при минимальном воздействии на нативную массу личинок (измельчение, удаление воды и жира), и белковый концентрат, получаемый чаще всего путем экстракции и который имеет улучшенные свойства по сравнению с мукой.

Методы, доступные для обработки нативной массы разработаны и представлены в законодательство ЕС о побочных продуктах животного происхождения: в Регламенте (ЕС) № 142/2011. Согласно Приложению IV, Главе III, побочные продукты животного происхождения, в состав которых входит личинки насекомых, должны быть представлены любому методов обработки с 1 по 5 [4].

Метод переработки 1 подразумевает под собой стерилизацию под давлением. Для этого метода требуется, чтобы размер частиц был не более 50 миллиметров. Побочные продукты животного происхождения должны прогреваться до внутренней температуры выше 133°C в течение 20 минут без перерыва при давлении (абсолютном) 3 бара. Давление должно создаваться путем откачки всего воздуха из стерилизационной камеры и замены воздуха паром («насыщенный пар»); термообработка может применяться как одиночный процесс или как предварительная, или заключительная фаза стерилизации [4].

Для метода переработки 2 необходимо, чтобы размер частиц составлял не более 150 миллиметров. После измельчения побочные продукты животного происхождения должны прогреваться таким образом, чтоб обеспечить внутреннюю температуру выше 100°C в течение 125 минут, внутреннюю температуру выше 110°C в течение 120 минут и внутреннюю температуру выше 120°C в течение 50 минут [4].

Для метода переработки 3 необходимо, чтобы размер частиц составлял не более 30 миллиметров. После измельчения побочные продукты животного происхождения необходимо нагреть таким образом, который гарантирует, что в толще продукта достигается температура более 100°C, которая сохраняется в течение не менее 95 минут; в толще продукта достигается температура более, чем 110°C, которая сохраняется в течение не менее 55 минут, и в толще продукта достигается температура более, чем 120°C, которая сохраняется в течение не менее 13 минут [4].

Для метода переработки 4 необходимо, чтобы размер частиц составлял не более 30 миллиметров. После измельчения побочные продукты животного происхождения необходимо поместить в сосуд с добавленным жиром и нагреть таким образом, который гарантирует, что в толще продукта достигается температура более 100°C, которая сохраняется в течение не менее 16 минут, в толще продукта достигается температура более 110°C, которая сохраняется в течение не менее 13 минут, в толще продукта достигается температура более 120°C, которая сохраняется в течение не менее восьми

минут, и в толще продукта достигается температура более 130°C, которая сохраняется в течение не менее трех минут [4].

Для метода переработки 5 необходимо, чтобы размер частиц составлял не более 20 миллиметров. После измельчения побочные продукты животного происхождения необходимо нагреть до их коагуляции, а затем подвергнуть прессованию до удаления жира и воды из белкового материала. Затем белковый материал нагревают таким образом, который гарантирует, что в толще продукта достигается температура более 80°C, которая сохраняется в течение не менее 120 минут и в толще продукта достигается температура более 100°C, которая сохраняется в течение не менее 60 минут [4].

Для определения выбора метода мною были выделены следующие критерии, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Критерии для выбора метода переработки побочных продуктов животного происхождения [4]

Номер метода	Размер, не более, мм	Давление при нагревании, бар	Температура нагревание, °C	Время продолжительности нагревания, мин
Метод 1	50	3	133	20
Метод 2	150	-	100 - 120	50 - 125
Метод 3	30	-	100 - 120	13 - 95
Метод 4	30	-	100 - 130	8 - 16
Метод 5	20	-	80 - 100	60 - 120

Согласно приложению X (Глава II, Раздел 5) Регламента (ЕС) № 142/2011, для переработки побочных продуктов нежвачного животного не определено конкретного метода. Поэтому как пример будет рассмотрена два вида экстракции: щелочное и кислотным осаждение, и щелочная экстракция [4].

Первый этапом получения белкового концентрата является приготовление муки из личинок. Предварительно подвергнутые голоданию Hermetia illucens на личиночной стадии сразу же бланшируют в кипящей воде в течение двух минут, чтобы предотвратить потемнение, и промывают холодной водой (рис. 1).

Для получения пасты чистые личинки замораживают при температуре -75 °C в камере шоковой заморозки, а затем измельчают. Эту пасту затем лиофилизировают для получения стабильного порошка. Просеянную личинку обезжиривают смесью гексана и изопропанола (3:2). Одну часть муки из насекомых и пять частей обезжиривающего растворителя перемешивают в магнитной мешалке в течение шести часов [3].

Вторым этапом является получение белков насекомых. В данной работе рассмотрены два метода, схемы которых представлены на рис. 2. Щелочное и кислотное осаждение проходит следующим образом: после обезжиривания муку смешивают с водой в соотношении 1:10 (по массе), а pH смеси доводится до pH 10 с помощью 1 M раствора NaOH. С помощью магнитной мешалки суспензию перемешивают в течение 30 мин (25 °C). Затем взвесь центрифугируют при 10 000 g в течение 20 мин (4 °C). Затем pH супернатанта доводится до 4,5 с помощью 1 M HCl и суспензию оставляют при 4 °C на ночь для осаждения белка. Центрифугирование при 10 000 g в течение 30 мин (4°C) используют для восстановления осажденных растворимых белков. Затем белковый концентрат лиофилизируют (0,094 мбар, -74,5 °C, 48 ч) и хранят в вакуумных пакетах при -20 °C [5].

Для получения белкового концентрата методом щелочной экстракции, белок экстрагируют путем смешивания обезжиренной муки с водой в соотношении 1:40, а pH смеси сначала доводят до pH 10 с помощью 1 M раствор NaOH. Затем взвесь перемешивают в течение 2 ч при 40°C. Периодически контролируют pH и поддерживают

на уровне 10 в течение всего периода перемешивания. Смесь центрифугируют при 10 000 g в течение 30 мин (4 °C). Супернатанты белкового концентрата лиофилизируют [5].

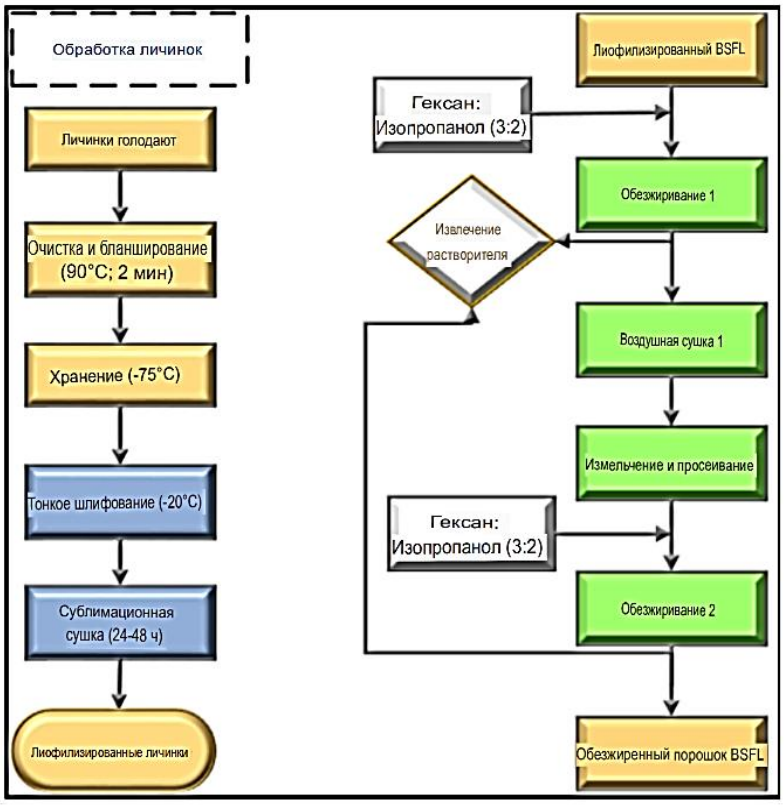


Рис. 1. Предварительная обработка и обезжиривание личинок [3]

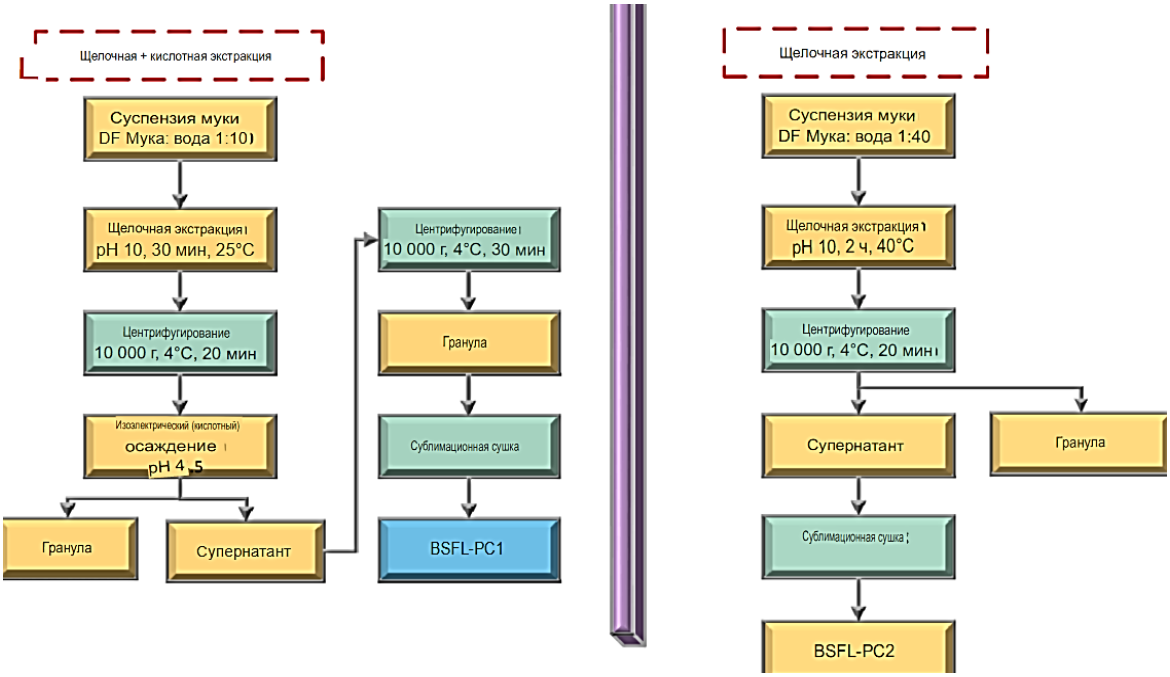


Рис. 2. Экстракция щелочным и кислотным осаждением (BSFL-PC1) и щелочная экстракция (BSFL-PC2) белковых концентратов [3]

Аминокислотный состав муки и белковых концентратов по сравнению с коровьим молоком, яйцами и рекомендациями Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (далее – FAO) по потреблению белка для взрослых

показан в табл. 2. Триптофан не был обнаружен, возможно, из-за того, что эта аминокислота разрушается при кислотном гидролизе или ее не было в исследуемых образцах. Содержание незаменимых аминокислот в муке и белковых концентратах было сравнимо или превышало рекомендованное FAO количество в качестве основной диетической потребности человека. Результаты подтверждают утверждения о том, что в целом съедобные насекомые являются хорошими источниками аминокислот [5].

Таблица 2

Аминокислотный состав (г, 100 г $^{-1}$) фракций муки и белковых концентратов по сравнению с коровьим молоком, яичным белком и требованиями FAO для потребления человеком [5]

Аминокислота	Мука из личинок	BSFL-PC1	BSFL-PC2	Коровье молоко	Яичный белок	FAO
Гистидин	3,84	3,64	2,48	2,70	2,40	1,50
Изолейцин	4,32	5,18	3,99	4,90	5,60	3,00
Лейцин	7,29	7,99	4,61	9,10	8,30	5,90
Лизин	6,79	9,16	5,37	7,40	6,30	4,50
Метионин	1,72	2,53	2,67	2,60	3,20	1,60
Фенилаланин	4,36	7,18	5,41	4,90	5,10	-
Треонин	4,09	4,95	4,65	4,40	5,10	2,30
Валин	5,8	5,61	5,09	6,60	7,60	3,90
Сумма	38,2	46,52	34,27	42,60	43,60	22,70
Аланин	5,95	4,66	5,41	3,60	5,40	-
Аргинин	4,85	4,57	5,72	3,60	6,10	-
Глицин	4,8	3,88	4,97	3,00	2,00	-
Глютаминовая кислота	13,62	12,13	12,4	12,00	20,60	-
Пролин	5,71	4,38	3,38	8,50	3,80	-
Серин	4,42	3,99	3,13	5,20	7,90	-
Тирозин	6,47	6,28	9,34	4,10	7,60	-
Сумма	56,21	52,45	53,98	55,30	56,50	-

Белковый концентрат лучше муки из личинок за счет своих питательных и функциональных свойств, а также в такой форме белок более привлекателен для людей в качестве продукта питания. Экстракция белковых концентратов щелочным и кислотным осаждением приводит к улучшению питательных и функциональных свойств. Это дает возможность промышленной переработки этих пищевых концентратов белка насекомых и их использования в подходящих коммерческих пищевых продуктах [3].

Учитывая, что изготовление муки из личинок является частью получения белкового концентрата из личинок мух, то внедрение может начинаться именно с получения муки и использовать полученную прибыль в качестве инвестиции для внедрения мероприятий по изготовлению белкового концентрата.

Литература

1. Gmuer A., Guth J.N. et al. Effects of the degree of processing of insect ingredients in snacks on expected emotional experiences and willingness to eat // Food Qual. Prefer. 2016. Vol.54. P.117–127.
2. IPIFF Guide on Good Hygiene Practices for European Union producers of insects as food and feed [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ipiff.org/wp-

content/uploads/2019/12/IPIFF-Guide-on-Good-Hygiene-Practices.pdf (дата обращения 10.04.2022).
3. Mshayisa V.V., Van Wyk J., Zozo B. Nutritional, Techno-Functional and Structural Properties of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae Flours and Protein Concentrates // Foods. 2022. Vol.11. № 5. P.724–736.
4. Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) Hermetia illucens, Stratiomyidae [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://uved-formationaquaculture.cirad.fr/content/download/4328/32130/version/3/file/BLACK+SOLDIER+Technical+Handbook.pdf (дата обращения 21.02.2022).
5. The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856419313062?via%3Dihub (дата обращения 13.04.2022).

УДК 533.12

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГАЗА

Н.А. Мальгинова
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова
Университет ИТМО
e-mail: malginova.natalya@yandex.ru

Работа выполнена в рамках НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

Аннотация
В рамках данного исследования проведен анализ существующих методов определения плотности газа. В результате данной работы предлагается применение метода гидростатического взвешивания для определения плотности газа с целью увеличения точности проводимых измерений.
Ключевые слова
Плотность, газ, гидростатическое взвешивание, пикнометрический метод, расчетный метод.

Актуальность исследования

Плотность газа является одной из важнейших его характеристик. Она необходима при определении чистоты моногаза. Значение плотности анализируемой смеси позволяет косвенным образом судить о наличии в ней дополнительных веществ помимо основного компонента.

Информация о плотности горючего газа используется при определении числа Воббе. Эта величина позволяет оценивать постоянство теплового потока, получаемого при сжигание исследуемого вещества.

Кроме того, значение плотности необходимо при приведении объемной теплоты сгорания газа к массовому базису. Решение данной задачи необходимо при проведении международных сличений эталонов удельной энергии сгорания.

В рамках работы над НИР № 620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов» представляется целесообразным провести исследования метода детектирования фреонов по значению их плотности.

Цели и задачи

При разработке методики определения плотности газов и газовых смесей с применением гидростатического взвешивания представляется необходимым изучить существующие, применяющиеся на практике методы определения плотности газа. В связи с поставленной целью были выявлены следующие задачи:

- проанализировать расчетный метод определения плотности газа (по известному компонентному составу);
- проанализировать экспериментальный (пикнометрический) метод определения плотности газа;
- описать предлагаемый метод определения плотности газа с применением гидростатического взвешивания.

Расчетный метод

Согласно ГОСТ 31369 Газ природный вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава определение плотности реального газа производится следующим образом [1].

Плотность реального газа при стандартных условиях измерений вычисляют по формуле 1.

$$D(t_2, p_2) = \frac{D^o_{(t_2,p_2)}}{Z_{(t_2,p_2)}}, \quad (1)$$

где $D^o(t_2, p_2)$ – плотность идеального газа при температуре t_2, и давлении p_2;
$Z(t_2, p_2)$ – коэффициент сжимаемости при температуре t_2, и давлении p_2.

Из формулы (1) видно, что определение плотности реального газа основывается на введении коэффициента сжимаемости.

Расчет коэффициента сжимаемости имеет ряд ограничений на состав анализируемой смеси (смесь не должна содержать в своем составе водород, гелий, неон, давление газа должно быть в диапазоне от 90 до 110 кПа).

Плотность идеального газа при температуре t_2, и давлении p_2 определяют по формуле (2):

$$D^o_{(t_2,p_2)} = \frac{M*p_2}{R*T_2}, \quad (2)$$

где M – молярная масса смеси; R – универсальная газовая постоянная; T_2 – температура газа; p_2 – давление газа.

Таким образом, для определения плотности газа расчетным методом (по известному компонентному составу) необходимо знать молярную массу исследуемого вещества, его коэффициент сжимаемости, температуру и давление, для которых необходимо определить плотность.

Погрешность данного метода в большей степени зависит от определения коэффициента сжимаемости.

Экспериментальный метод

В качестве экспериментального метода для анализа был выбран пикнометрический метод, так как он является наиболее популярным [2]. Сущность пикнометрического метода заключается в последовательном определении массы пикнометра известной вместимости с воздухом, а затем с исследуемым газом.

Вместимость V пикнометра вычисляют по формуле (3):

$$V = \frac{m - m_в}{\rho - 1{,}2047 * K}, \quad (3)$$

где m – масса пикнометра с дистиллированной водой;
$m_в$ – масса пикнометра с сухим воздухом;
ρ – плотность дистиллированной воды при температуре опыта;
1,2047 – плотность сухого воздуха при стандартных условиях;

K – коэффициент для приведения плотности при стандартных условиях к условиям опыта (t, p) определяют по формуле (4).

$$K = \frac{293 * P}{(273 + t) * 101{,}325}. \quad (4)$$

Далее плотность газа ρ_{20} при температуре 20 °С и давлении 101,325 кПа вычисляют по формуле (5).

$$\rho_{20} = \frac{m_г - m_в}{K * V} + 1{,}2047, \quad (5)$$

где $m_г$ – масса пикнометра с газом; $m_в$ – масса пикнометра с воздухом; V – внутренний объем пикнометра.

Погрешность применения данного метода зависит от погрешности определения внутреннего объема пикнометра, а также от метрологических характеристик используемого весового оборудования.

Применение гидростатического взвешивания

Было выявлено, что задачу снижения погрешности экспериментального определения плотности газа представляется возможным решить путем увеличения внутреннего объема емкости, заполняемой исследуемым газом, и применением весов с наименьшим значением погрешности. Было предложено использовать шарообразную емкость объемом 1 дм^3, весы с наибольшим пределом взвешивания 520 г и погрешностью 0,001 г. При взвешивании масса емкости, заполненной аргоном составила 490 г, что оказалось достаточно близко к наибольшему пределу взвешивания. В связи с этим было предложено использовать метод гидростатического взвешивания и увеличить объем взвешиваемой емкости до 5 дм^3. Сущность предлагаемого метода заключается в следующем.

Емкость, объем V которой предварительно определен с применением высокочистого аргона (объемная доля аргона не менее 99,993%), вакуумируется и взвешивается в дистиллированной воде m_0.

Далее емкость заполняется исследуемым газом и взвешивается в дистиллированной воде m_1.

Рассчитывается плотность ρ исследуемого вещества по следующей формуле 6:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{K * V}. \quad (6)$$

В результате решается задача увеличения внутреннего объема емкости, заполняемой исследуемым газом при использовании весов I класса точности по ГОСТ OIML R 76-1 [3].

Заключение

В ходе исследований были изучены расчетный и экспериментальный методы определения плотности газа. Было предложено использование системы гидростатического взвешивания для определения плотности газа.

Литература

1. ГОСТ 31369 Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава [Электронный ресурс]. https://docs.cntd.ru/document/1200068175 (дата обращения: 12.02.2022).
2. ГОСТ 17310. Газы. Пикнометрический метод определения плотности [Электронный ресурс]. https://docs.cntd.ru/document/1200031490 (дата обращения: 12.02.2022).
3. ГОСТ OIML R 76-1-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия Часть 1 Метрологические и технические требования. Испытания [Электронный ресурс]. https://docs.cntd.ru/document/1200096305 (дата обращения: 18.02.2022).

УДК 504.062, 678, 67.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ И СОСТАВУ МНОГОРАЗОВОЙ КОМПОСТИРУЕМОЙ ПОСУДЫ

А.П. Молодых, Е.М. Николаев
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Р. Молодкина
Университет ИТМО
email: apmol@niuitmo.ru

Аннотация
Среди актуальных экологических проблем все больше даёт о себе знать образование пластиковых отходов и их накопление в окружающей среде. Неразвитая культура вторичной переработки не позволяет эффективно утилизировать твердые бытовые отходы. Доступный вариант компостируемой многоразовой посуды – один из способов решения этой проблемы. В ходе работы были проанализированы литературные источники и составлены сводные таблицы рассмотренных свойств.
Ключевые слова
Литературный обзор, биокомпозит, биополимер, компостируемые материалы, нормативные требования.

Неразвитая культура вторичной переработки не позволяет эффективно утилизировать твердые бытовые отходы: 94 % отправляется на свалку, 2 % сжигается, и только 4 % отправляется на переработку [1]. Доступный вариант компостируемой многоразовой посуды – один из способов решения этой проблемы. По составу такая посуда может представлять собой смесь компостируемых биополимера и наполнителя – растительного волокна, которое в избытке образуется при обработке продуктов растениеводства.

Получению опытных образцов, а тем более массовому производству многоразовой компостируемой посуды должно предшествовать определение критериев её качества, а также подбор оптимального по свойствам и доступности сырья.

Для определения требований качества многоразовой компостируемой посуды, необходимо для начала определиться со свойствами, которые предстоит достичь. В целях определения требований были выделены два аспекта потенциального использования изделия: как сырья для компостирования и как предмета посуды.

В первую очередь, поскольку речь идёт о компостируемой посуде, требуется установить критерии компостируемости. Компостирование, согласно ГОСТ Р 54530–2011, это биологическое разложение органических веществ какого-либо материала с потреблением свободного кислорода или воздуха в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, продуктами которого являются биогенные вещества - нитраты, фосфаты и вода. Данный документ регулирует требования, критерии и схему утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения [2]. В соответствии с этим документом, все компоненты упаковочного материала должны быть идентифицированы, а их введение в состав – задокументировано. Оценка материала, как пригодного для биологического разложения включает 5 процедур:

- определение характеристик;
- выявление способности к биологическому разложению;
- осуществление разложения;
- оценка качества компоста;
- идентификация распознаваемости.

До начала проведения испытаний каждый образец должен быть идентифицирован и охарактеризован. Фиксируется информация о компонентах, определяется концентрация опасных веществ, содержание органического углерода, сухого вещества и летучей части взвешенных веществ.

Биологическое разложение характеризуется тем, что любая упаковка, ее составная часть, упаковочный материал или компонент упаковки разрушаются без заметного негативного влияния на процесс биологической обработки отходов. Потеря массы при пиролизе материала должна превышать 50 %, а содержание тяжелых металлов не превышать показатели, приведённые в табл. 1.

Таблица 1

Максимальное содержание элементов в материале [2]

Элемент	Содержание сухого вещества, мг/кг	Элемент	Содержание сухого вещества, мг/кг
Zn	150	Cr	50
Cu	50	Mo	1
Ni	25,0	Se	0,75
Cd	0,5	As	5
Pb	50	F	100
Hg	0,5		

Пригодность для компостирования определяется тем, оказывает ли материал в процессе биологического разложения на качество получаемого компоста.

Существует исключения, упрощающие идентификацию какого-либо изделия как компостируемого. Наиболее важным из них для рассматриваемой темы является тот факт, что химически неизмененные упаковочные материалы и их компоненты из материалов природного происхождения рассматриваются как биоразлагаемые без проведения испытаний, однако при этом по-прежнему необходимо установить их химический состав.

Другим важным аспектом производства многоразовой компостируемой посуды является определение требований к качеству изделия. Поскольку предполагается использование композитной смеси растительного волокна и биополимера, уместно рассмотреть требования к посуде из традиционных пластмасс, направленные на обеспечение её безопасности для окружающей среды и жизни человека и применить их к планируемому продукту, которые приводятся в ГОСТ Р 50962–96 [3]. Так, требования к внешнему виду изготавливаемых изделий, зависят от способа изготовления образца. При изготовлении методом литья не допускаются дефекты с наружной стороны изделия, описанные в ГОСТ 24105–80 [4], такие, как, например, вздутия на поверхности, пузыри или сколы, кроме того, глубина следов формующего инструмента с внутренней стороны изделия не должна превышать 0,5 мм. При изготовлении изделия формованием с внешней стороны изделия не допускаются царапины и следы по месту смыкания формы высотой более 0,3 мм и грат – прилив пластмассы в местах соединений пресс-формы – высотой более 1 мм. С внутренней стороны изделия не допустим грат более 1 мм – это относится к изготовлению как обычным формованием, так и выдувным формованием. Также, в случае выдувного формования с внешней стороны изделия не допускаются риски, царапины, следы по месту смыкания формы высотой более 0,3 мм, грат высотой более 1 мм. При экструзионном методе изготовления с внешней стороны изделия не допускаются подтеки, наличие запрессованных складок, проколов, трещин. Независимо от способа изготовления не допускается наличие у изделия острых кромок [7-9].

Существуют также требования к качеству. Изделие должно сохранять внешний вид, окраску, форму и не растрескиваться при температуре (70±5) °С. Не допускается миграция красителя. Существует требование по стойкости к воздействию кислот, мыльных и щелочных растворов. Изделие должно быть стойким к загрязнению. Регулируется множество гигиенических показателей: запах водной вытяжки не должен превышать 1 балла, не допускается наличие привкуса, изменение цвета и прозрачности водной вытяжки.

Применимые к компостируемой многоразовой посуде требования качества по ГОСТ Р 50962–96 [3] приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели качества многоразовой компостируемой посуды [3]

№	Показатель	Норма
1.	Стойкость к горячей воде	Изделие должно сохранять внешний вид и окраску, не деформироваться и не растрескиваться при температуре (70±5) °С
2.	Химическая стойкость	Изделие должно быть стойким к растворам кислот и действию мыльных щелочных растворов
3.	Стойкость к загрязнению	Изделие должно хорошо отмываться от загрязнений
4.	Запах водной вытяжки	Не более 1 балла
5.	Привкус водной вытяжки	Не допускается
6.	Изменение цвета и прозрачности водной вытяжки	Не допускается

Для испытаний отбирают изделия в количестве 1 % от размера партии, но не менее 5 шт. Внешний вид, цвет и форму изделий проверяют, визуально сравнивая с контрольным образцом. Размер изделия измеряют штангенциркулем, вместимость – наливая воду комнатной температуры из мерной посуды до перелива через край.

Стойкость к горячей воде – погружением и заполнением изделия водой, нагретой до (70±5) °С с последующим выдерживанием в течение 15 минут. После испытания изделие должно оставаться без видимых изменений по сравнению с контрольным образцом, а вода вне или внутри его не должна окрашиваться.

Стойкость к воздействию кислот, мыльных и щелочных растворов проверяют, погружая на 10 минут в случае с кислотой и на 20 – в случае со щелочным и мыльным раствором в 1 % раствор уксусной кислоты, питьевой соды или туалетного мыла соответственно, предварительно нагретые до температуры (60±5) °С. После испытаний не должна меняться окраска изделий, цвет раствора, изделие не должно набухать и трансформироваться.

Стойкость к загрязнениям нанесением на предварительно очищенную мыльным раствором поверхность примерно 5 г вещества-загрязнителя на 2–3 часа, после очистки на поверхности изделия не должно быть никаких изменений.

Для определения запаха, вкуса, цвета и прозрачности водной вытяжки, её готовят согласно инструкции по санитарно-химическому исследованию изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. В этом же документе описано проведение испытания на запах и привкус вытяжки. Цвет и прозрачность определяются визуально – сравнением с дистиллированной водой на белом фоне [3].

Выбор сырья для изготовления многоразовой компостируемой посуды должен основываться не только на свойствах исходных материалов, но и их доступности.

При всем многообразии биоразлагаемых полимеров, не все из них пригодны для компостирования. В числе наиболее распространённых биоразлагаемых полимеров полученные из природного сырья: полилактид (PLA), полигидроксиалканоаты (PHA), в частности полигидроксибутиратвалерат (PHBV), и крахмальные биопластики; и полученные из ископаемого сырья: полибутиленадипаттерефталат (PBAT), полибутиленсукцинат (PBS), поликапролактон (PCL), поливиниловый спирт (PVAL), полигликолид (PGA) и другие, более традиционные пластики с биоразлагающимися добавками или сополимеризованные с гидролитически нестойкими компонентами [5, 6]. Из них для компостирования пригодны только PBAT, PLA и все разновидности PHA.

Из числа традиционных пластиков для многоразового использования хорошо подходит полипропилен из-за своей прочности, термостойкости и безопасности для пищевого использования. По этой причине кроме свойств уже названных биополимеров, будут рассмотрены свойства и полипропилена – для сравнения.

Далее будут приведены некоторые наиболее часто рассматриваемые в литературных источниках физические свойства, такие как предел прочности, температура плавления (T_m), температура стеклования (T_g), удлинение при разрыве [11-13].

Свойства сравниваемых полимеров представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение свойств полимеров

Полимер	Предел прочности, МПа	Удлинение при разрыве, %	Температура стеклования (T_g), °C	Температура плавления (T_m), °C	Ссылка
PBAT	21	670	-	115–125	[7]
	-	-	-30	-	[8]
PHBV	20	50	-1	145	[9]
PLA	26,4	4	57–63	-	[10]
	-	3–30	50–80	130–180	[11]
PP	18-22	150	-	160–163	[12]
	33	150	-10	-	[13]

При выборе биополимера на основании его свойств необходимо учесть важный, поскольку планируется смешение с растительным волокном, момент – температуру плавления – она не должна превышать 200 °C, так как при температуре около 230 °C лигноцеллюлозные материалы начинают разлагаться [14]. Также нужно обратить внимание на температуру стеклования, выше которой наблюдается пластичное состояние полимера, ниже – твердое и хрупкое состояние. Среди представленных в табл. 3 полимеров выделяется PLA с температурой стеклования в 57–63 °C [10]. Данный показатель представляется скорее преимуществом, поскольку для многоразовой посуды более характерны твердость и неэластичность. Характерную для температур ниже температуры стеклования хрупкость снизит добавленное в смесь растительное волокно. Что касается прочности, PLA превосходит остальные рассмотренные полимеры. В то же время наблюдается меньшая величина удлинения при разрыве относительно остальных полимеров, что может рассматриваться как недостаток материала.

В связи с относительно высокой прочностью, температурой плавления, не превышающей температуру разложения лигноцеллюлозных материалов и достаточно высокой температурой стеклования в качестве полимерной матрицы разрабатываемого биокомпозита будет рассматриваться PLA.

Литература

1. Доклад Greenpeace «Что делать с мусором в России?». 2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2019/10/report-RUSSIA-GARBAGE.pdf (дата обращения 21.03.2022).
2. ГОСТ Р 54530–2011 Ресурсосбережение. Упаковка. Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200098733 (дата обращения 22.03.2022).
3. ГОСТ Р 50962–96. Посуда и изделия хозяйственного назначения из пластмасс. Общие технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200000027 (дата обращения 22.03.2022).
4. ГОСТ 24105–80. Изделия из пластмасс. Термины и определения дефектов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200018625 (дата обращения 22.03.2022).
5. ИХТЦ Химические технологии: статья «Все о биоразлагаемых пластиках. Мировой рынок биополимеров – 2019». 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ect-center.com/blog/biodegradable-polymers (дата обращения 23.03.2022).
6. Tokiwa Y. [и др.]. Biodegradability of plastics // International Journal of Molecular Sciences. 2009. V. 10. № 9. P. 3722–3742.
7. Jian J., Xiangbin Z., Xianbo H. An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate) – PBAT // Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. 2020. № 3. P. 19–26.
8. Deng Y., Yu C., Wongwiwattana P., L. Thomas N. Optimising Ductility of Poly(Lactic Acid)/Poly(Butylene Adipate-co-Terephthalate) Blends Through Co-continuous Phase Morphology // Journal of Polymers and the Environment. 2018. № 26. P. 3802-3816.
9. Sudesh K., Doi Y., Magistrali P., Gesti Garcia S. Polyhydroxyalkanoates // Handbook of Biodegradable Polymers. 2020. P. 183-216.
10. Polylactic acid. Technical Data Sheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.sd3d.com/ wp-content/ uploads/2017/06/ MaterialTDS-PLA_01.pdf (дата обращения 24.03.2022).
11. Castro-Aguirre E. [и др.]. Poly(lactic acid) – Mass production, processing, industrial applications, and end of life // Advanced Drug Delivery Reviews. 2016. V. 107. C. 333–366.
12. Polymer properties database. Polypropylene. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://polymerdatabase.com/ Commercial%20Polymers/PP.html (дата обращения 24.03.2022).
13. Tripathi D. Practical guide to polypropylene. – Rapra Technology Limited. 2002. 104 p.
14. Miao C., Y. Hamad W. Cellulose reinforced polymer composites and nanocomposites a critical review // Cellulose. 2013. V. 20. P. 2221-2262.

УДК 504.06

ЗЕЛЁНАЯ ЗВЕЗДА MICHELIN: УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЯ ГАСТРОНОМИИ

Н.А. Монзуль
Научный руководитель – к.э.н., доцент А.С. Павлова
Университет ИТМО
e-mail: nataly14monz@gmail.com

Аннотация
Работа посвящена изучению понятий «устойчивое питание» и «устойчивое развитие», тенденций развития систем устойчивого питания и устойчивого развития, а также взаимосвязи системы питания и защиты окружающей среды на примере официальных документов. Кроме того, рассмотрено внедрение принципов устойчивости на примере зелёной звезды Michelin.

Ключевые слова
Устойчивое питание, устойчивое развитие, пищевая промышленность, места общественного питания, зелёная звезда Michelin, критерии для гастрономических заведений.

В современном мире такие обширные сферы деятельности, как продукты питания и экология, становятся взаимопроникающими и дополняющими друг друга, что является актуальным способом развития общества.

Устойчивое питание — это питание с низким воздействием на окружающую среду, которое способствует продовольственной безопасности и здоровому образу жизни. Во многих аспектах понятия «устойчивое питание» и «устойчивое развитие» при рассмотрении сектора пищевой промышленности являются синонимичными и взаимозаменяемыми терминами [1].

Согласно данным международных организаций и РФ [2], понятие «рациональности» и «устойчивости» находятся в непосредственной близости и дополняют друг друга, а агропродовольственные системы играют важную роль в достижении и других целей в области устойчивого развития.

Важное место в питании населения занимают места общественного питания. Существует мнение, что в будущем востребованы будут локальные рестораны как исполнители принципов устойчивого питания. Данную позицию поддерживает и всемирно известный гид Michelin. В начале своего развития компания Michelin организовала выпуск путеводителей по гастрономическим заведениям. В настоящее время звёзды Michelin подчеркивают статус и высшее качество кухни ресторанов. Как указывается в ресторанном гиде, наличие одной звезды у заведения показывает отличительное качество ресторана в своей категории; две звезды указывают на то, что ради посещения этого ресторана гостю можно отклониться от намеченного маршрута; три звезды сообщают посетителю, что в данном заведении исключительная кухня, ради которой можно совершить отдельное путешествие.

В 2020 году впервые была представлена Зелёная Звезда Michelin. Данная награда служит для выделения ресторанов, которые отличаются особо тщательным следованием принципам устойчивому развитию. В России три заведения в Москве являются обладателями Зелёной Звезды: «Бьёрн», «Biologie», «Twins Garden». Так как критерии присуждения звёзд Michelin являются конфиденциальными, точного опубликованного списка показателей для получения Зелёной Звезды не существует. Однако на основе имеющегося опыта ресторанов, получивших Зелёную Звезду, возможна разработка

системы показателей для гастрономических заведений, которые позволят выделить организации, следующие устойчивому развитию.

Деятельность ресторана «Twins Garden» направлена на сохранение окружающей среды с помощью использования сезонных ингредиентов. В заведении есть собственная ферма, откуда поставляется большинство продуктов. В «Biologie» также придерживаются принципа сезонности продуктов и опираются на заказы у местных фермеров и использование продукции из собственного сада заведения. Особенностью ресторана «Бьёрн» является привлечение внимания к вопросу устойчивости путём организации «Диких ужинов» на природе для придания значимости современных экологических проблем [3].

Помимо желания ресторанов стремиться к более устойчивому характеру работы, одним из основных факторов выбора критериев является тенденция на увеличение интереса населения к устойчивости в общественном питании (рис. 1).

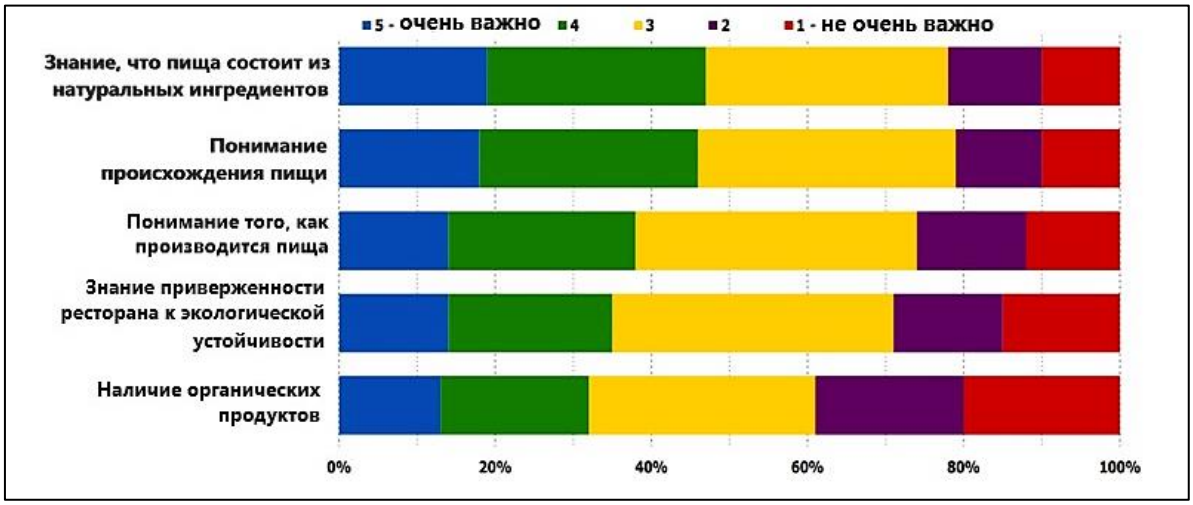


Рис. 1. Факторы выбора заведения общественного питания для населения [4]

В результате обзора информации выделено 4 основных группы критериев:

1. Условия для продукции:
- сезонность;
- использование продукции от местных производителей;
- разнообразие блюд из растительной пищи;
- понимание происхождения всех продуктов в составе блюд;
- наличие своего хозяйства.

2. Условия для облика заведения и процессов:
- изменение в режиме уборки;
- качественное техническое оснащение;
- контроль потребления воды и электроэнергии;
- вторичное использование декора.

3. Условия по обращению с отходами:
- сокращение количества образуемых отходов;
- отказы от использования одноразовых материалов, насколько это возможно;
- разработка и использование программы утилизации отходов.

4. Условие повышения статуса заведения:
- реклама и освещение мероприятий, посвященных развитию принципов устойчивости.

Особенно важно в настоящее время исполнение четвёртого условия, так как даже заинтересованные в устойчивом развитии потребители далеко не всегда знают о существовании таких мест без дополнительного стимулирования со стороны ресторанов.

Так как критерии составлены на основе существующей практики ресторанов, необходимо отразить опыт внедрения принципов устойчивости в заведении. Примером в Санкт-Петербурге являются рестораны группы «Duo Band». Данные заведения отказались от множества одноразовых предметов и внедрили разделение отходов. Кроме того, была пересмотрена система дизайна в ресторанах в сторону использования натуральных долговечных материалов. В ресторане «Harvest» были разработаны рекомендации по переходу к устойчивым принципам работы для других заведений (рис. 2).

Рис. 2. Пример схемы движения отходов ресторана, рекомендованных группой «Duo Band» [5]

По итогам внутреннего исследования в заведениях, в долгосрочной перспективе данная система функционирования ресторана является более выгодной с финансовой точки зрения, чем привычная.

Таким образом, тема устойчивого развития в гастрономии как никогда перспективна в настоящее время. Ее поддерживают как государственные организации, так и кулинарные гиды. Необходимо сохранять и улучшать качество производимой продукции для поддержания здоровья населения, и учитывать воздействие на окружающую среду, так как сферы являются взаимопроникающими. Существует такое перспективное направление в исследовании, как разработка системы показателей, аналогичных закрытым критериям Michelin, но общедоступных и применимых для заведений общественного питания. Разработанные в данной работе группы критериев основаны на рекомендациях открытых документов, в том числе государственных и независимых инициатив и исследований, и желании потребителей. Следовательно, данные показатели могут послужить ценной основой для устойчивого развития гастрономических заведений. На сегодняшний день рестораны уже заинтересованы в развитии принципов устойчивой работы. Это способствует укреплению имиджа и росту популярности заведения, причём один из главных двигателей тренда на устойчивость в гастрономии – собственная реклама заведений и дополнительное привлечение внимания общества к теме устойчивого питания.

Литература

1. Burlingame B, Dernini S, Nutrition and Consumer Protection Division, editor. Proceedings of the International Scientific Symposium: Biodiversity and Sustainable diets united against hunger 3–5 November 2010. Sustainable diets and biodiversity directions and solutions for policy, research, and action. Rome: FAO; 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.fao.org/docrep/016/i3004e/i3004e.pdf (дата обращения: 19.12.2021).
2. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 01.04.1996 №440. 7 стр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://pravo.gov.ru/ proxy/ips/? docbody= &firstDoc= 1&lastDoc=1&nd=102040449 (дата обращения: 13.12.2021).
3. Медиацентр Michelin. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://media.michelin.ru/ (дата обращения: 15.02.2022).
4. International Food Information Council. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://foodinsight.org/ (дата обращения: 03.03.2022).
5. Как минимизировать вред ресторана окружающей среде (Duo Band). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://harvestduo.ru/assets/images/Zerowaste.pdf (дата обращения: 04.03.2022).

УДК 504.062; 678; 67.08

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯБЛОЧНОГО ЖМЫХА В ПОЛУЧЕНИИ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.М. Николаев
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Р. Молодкина
Университет ИТМО
e-mail: emnikolaev@itmo.ru

Аннотация
В условиях увеличения производства и потребления пластика растет и количество его отходов. Рассматривается возможность эффективной и полезной переработки яблочного жмыха для использования в получении биоразлагаемых материалов и изделий из них. Яблочный жмых, полученный после отжима из яблок сока, является ценным ресурсом, который представляет большой интерес для его дальнейшего использования в получении продуктов с добавленной стоимостью. В ходе работы была изучена возможность использования яблочного жмыха в получении биоразлагаемых материалов.

Ключевые слова
Растениеводческие отходы, переработка отходов, яблочных жмых, технология получения, биоразлагаемые материалы, биополимер, биокомпозит, экономика замкнутого цикла.

Ежегодно в мире образуется большое количество яблочного жмыха, но утилизация этих отходов все ещё вызывает много споров. Только в странах Европейского Союза ежегодно производится в качестве отхода 500000 тонн яблочного жмыха. Без дальнейшей обработки, учитывая кислый характер яблок с высоким содержанием углеводов и низким содержанием белка, что представлено на рис. 1 [1], жмых становится непригодным для захоронения на полигоне и в качестве сырья для корма животных. Однако дальнейшая переработка, как правило, экономически нецелесообразна. Данное исследование решает эту проблему, рассматривая новый подход к переработке яблочного жмыха для производства экологически чистых биоразлагаемых материалов, учитывая состав отходов [2].

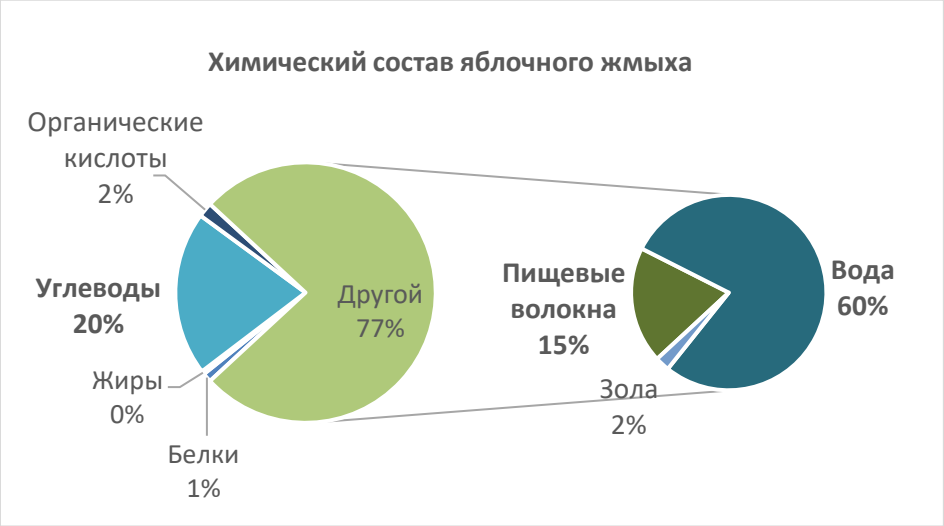


Рис. 1. Химический состав яблочного жмыха

В сложившейся на сегодняшний день ситуации на рынке сырья, наблюдается смещение внимания в сторону экономики замкнутого цикла, в которой необходимо пересмотреть модели управления энергией, ресурсами, производством и потреблением в связи с ростом населения развитых стран, чрезмерным потреблением пластмасс, их негативным воздействием на окружающую среду, а также увеличением количества отходов пластмасс и растениеводства.

В условиях глобального кризиса, вызванного чрезмерным и необходимым устойчивым использованием синтетического полимерного сырья, происходит переоценка производства товаров из-за текущего состояния окружающей среды и большого количества неиспользуемых отходов сельского хозяйства, что противоречит концепции устойчивого развития. Общество начинает уделять больше внимания привычным вещам, в том числе товарам из пластика и замене их на биоразлагаемые, производство которых позволило бы использовать меньше сырья и энергии, продлевая свой жизненный цикл.

Исходя из необходимости полагаться на стабильное сырье, меньше зависеть от ископаемых ресурсов и сокращать выбросы углекислого газа, биоматериалы и биопластики попали в центр внимания в качестве альтернативы обычным пластмассам из нефтепродуктов.

В ответ на экологические проблемы, вызванные загрязнением отходами пластмасс мирового океана, ведутся исследования и разработки новых биокомпозитов.

Пластмассовые изделия на основе биополимеров обладают двумя основными преимуществами: они экономят ископаемые ресурсы, используя возобновляемую биомассу, и обеспечивают крайне необходимый потенциал нейтрализации выбросов углерода. Кроме того, биопластики поддаются биологическому разложению [3].

В сложившейся ситуации стало известно, что к 2024 году Правительство России введет окончательный запрет на производство товаров из пластика, что дополнительно стимулирует производство биоразлагаемых материалов и изделий из них [4].

Целью исследований является изучение возможности использования яблочного жмыха в получении биоразлагаемых материалов. Достижение данной цели позволит сформулировать точку зрения на выбранную тему и наметить направление дальнейшего исследования, а также аккумулировать необходимую информацию для дальнейших лабораторных исследований. Объектом исследования является яблочных жмых.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать состав сырья;
- подобрать технологию получения биоразлагаемых материалов;
- провести лабораторные исследования.

В результате изучения состава яблочного жмыха было выявлено большое содержание углеводов, в том числе структурных природных полимеров, что представлено на рис. 2 и рис. 3 соответственно. Это позволило рассматривать яблочных жмых с точки зрения его прочностных свойств и характеристик, а также качестве потенциального сырья для получения биоразлагаемых материалов при высоких температурах [1].

Для получения биоразлагаемых материалов было необходимо подобрать подходящую технологию. В процессе исследования данной темы была подобрана представленная технология, представленная на рис. 4, которая включала подготовку яблочного жмыха, добавление крахмала и глицерина, их смешивание, полимеризацию полученной смеси и её термопрессование.

В процессе проведения лабораторных исследований проводился подбор оптимального состава смеси и технологических режимов процесса получения биоразлагаемых материалов, результаты представлены в табл. 1. Влажность жмыха составила 75,5%, содержание яблочного жмыха в смеси составляло от 75 до 80% (мас.), содержание глицерина составило 0% и 7,5% (мас.), время полимеризации составляло 0 и

30 секунд, время термопрессования составляло от 3 до 5 минут и осуществлялось при температуре 120 °С. Потери влаги образцов при полимеризации составили от 9,03% до 15,86%, при термопрессовании от 44,03% до 58,66%, а после термопрессования при н.у. от 9,13% до 35,84%.

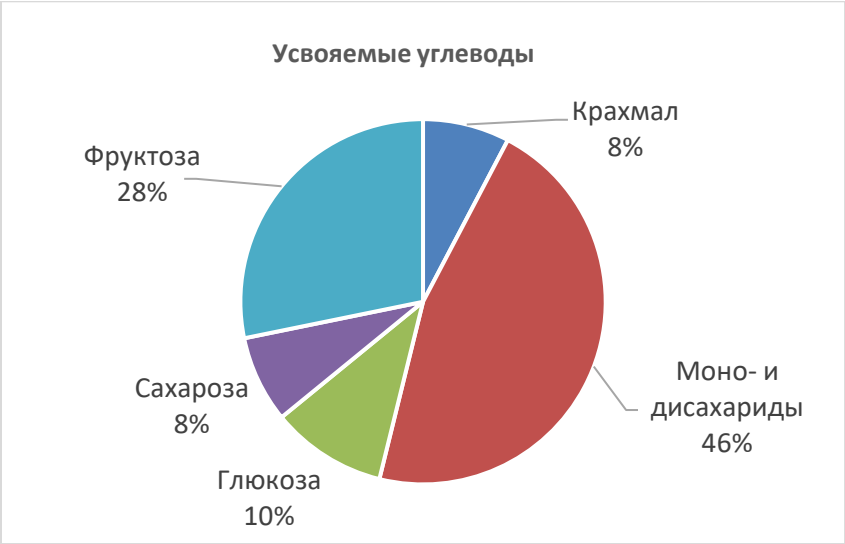


Рис. 2. Усвояемые углеводы в составе яблочного жмыха

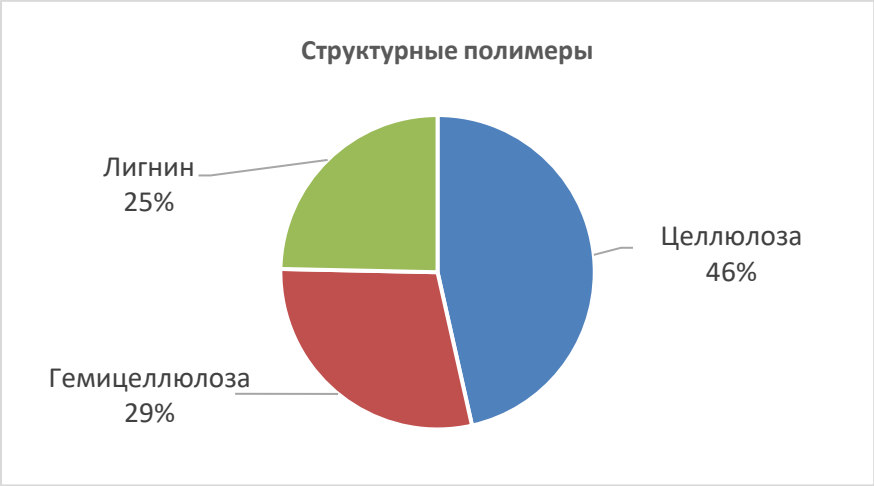


Рис. 3. Структурные полимеры в составе яблочного жмыха

Рис. 4. Технология получения биоразлагаемых материалов из яблочного жмыха

Оптимально стабильные результаты были получены и представлены образцами 5 и 6, время полимеризации которых составляло 30 секунд, а время термопрессования составляло 5 минут. В дальнейшем исследования были продолжены и результаты были повторно воспроизведены для улучшения свойств и характеристик полученных биоразлагаемых материалов из яблочного жмыха

Таблица 1

Результаты лабораторных исследований яблочного жмыха

№ образца	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Яблочный жмых, г	20,16	20,25	20,79	20,31	20,66	20,85	20,28	20,51	20,56
Крахмал, г	5,09	5,02	5,11	5,1	5,09	5,03	5,09	5,08	5,11
Глицерин, г	0		2	0	2,02	0	2,05	0	2,03
Полимеризация, сек	0	30	0	30					
Масса полученной смеси, г	25,25	21,26	27,9	21,85	24,56	22,93	24,43	23,25	25,2
Потери влаги образца после полимеризации, %	-	15,86	-	14,01	11,56	11,40	10,90	9,14	9,03
Время термопрессования, мин	3			4		5			
Масса образца после термопрессования (120 °С), г	14,12	11,17	15,26	12,23	12,73	9,48	11,61	9,76	12,07
Потери влаги образца после термопрессования, %	44,07	47,46	45,3	44,03	48,17	58,66	52,48	58,02	52,1
Масса образца после 19 ч. при н.у., г	9,06	8,84	10,92	10,68	10,8	8,95	10,55	12,45	12,87
Потери влаги после 19 ч. при н.у., %	35,84	20,86	28,44	12,67	15,16	5,59	9,13	9,59	12,08

В ходе анализа полученных результатов было определено, что полученные образцы с использованием глицерина обладали большей упругостью и гибкостью, что представлено на рис. 5, и гигроскопичностью. Также глицерин препятствовал испарению влаги из смеси в процессе термопрессования, что не отвечало ожидаемым результатам. В ходе дальнейших лабораторных исследований добавление глицерина в смесь не осуществлялось.

Рис. 5. Образец №5 с содержанием глицерина

Полученная термопрессованием в процессе исследований пластина из жмыха без глицерина обладала меньшей упругостью и прочностью на изгиб, что видно на рис. 6, из-за меньшего содержания влаги. В результате, был подобран оптимальный состав смеси и режимы получения биоразлагаемого материала из жмыха.

Рис. 6. Образец №5 с содержанием глицерина

Для увеличения влагостойких и термобарьерных функций, а также прочностных характеристик материала, был использован биоразлагаемый полимер с подтвержденными характеристиками – полилактида (PLA), результаты лабораторных исследований которого представлены в табл. 2. Температура плавления полилактида составляет 170 – 180 °С, получение пластины полилактида термопрессованием, которая изображена на рис. 7, осуществлялось при температуре 200 °С в течение 1 минуты, при этом потери влаги образцов PLA не наблюдалось. После, полученные пластины из яблочного жмыха и полилактида сплавляли воедино, как это представлено на рис. 8, при температуре 200 °С в течение 1 минуты. Образец полилактида №1 был сплавлен термопрессованием с образцом пластины из яблочного жмыха №7, а образец полилактида №2 с образцов пластины из жмыха №8.

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований полилактида

№ образца	1	2
Масса PLA, г	4	2,5
Масса образца после сплавления с PLA (200 °С), г	12,44	12,81
Потеря влаги образца пластины после сплавления с PLA, %	13,52	14,58
Общая потеря влаги образца, %	71,55	66,68

Рис. 7. Образец PLA №2

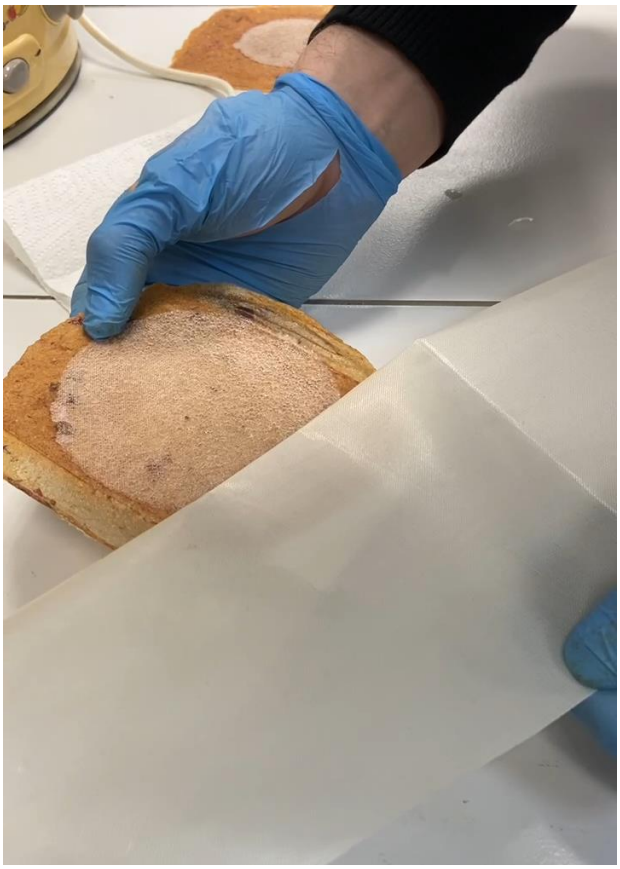


Рис. 8. Сплавленный образец из жмыха №7 с образцом PLA №1

Сплавленные между собой пластины образовывали гидрофобный, термостойкий и биоразлагаемый материал. В дальнейшем планируется развитие выбранной темы и изучение способов придания формы полученным материалам. На рис. 9 представлены образцы, полученные в ходе лабораторных исследований.

Рис. 9. Образцы, полученные в ходе лабораторных исследований

В результате проведенных исследований был проанализирован состав яблочного жмыха и определена оптимальная технология получения биоразлагаемых материалов с использованием метода горячего прессования. Также были проведены лабораторные исследования, в ходе которых была подобрана оптимальная рецептура и режимы получения биоразлагаемых материалов из яблочного жмыха, а также были получены пластины с различным количеством глицерина в качестве пластификатора. Было определено, что условия прессования, размер частиц и состав смеси сильно влияют на механические свойства полученных материалов.

Возможность использования яблочного жмыха в получении биоразлагаемых материалов оценена как положительная. В дальнейшем планируется изучение других видов отходов растениеводства и сельского хозяйства в целом для определения возможности получения из них биоразалагаемых материалов с последующим формованием, например, для получения биоразлагаемой одноразовой посуды и упаковки. Такое применение имеет большой потенциал для использования отходов растениеводства, чтобы заменить некоторые материалы на основе нефти и, в то же время, решить проблему утилизации отходов.

Литература

1. Химический состав и анализ пищевой ценности яблочного жмыха [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://health-diet.ru/table_calorie_users/442083/ (дата обращения: 22.04.2022).
2. Gustafsson J., Landberg M. Production of bio-plastic materials from apple pomace: A new application for the waste material. 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. diva-portal.org/ smash/get/ diva2: 1327184/FULLTEXT01.pdf (дата обращения: 22.04.2022).
3. Ma X.F., Yu J.G., Wang N. Fly ash-reinforced thermoplastic starch composites // Carbohydrate polymers. 2007. Т. 67. №. 1. С. 32-39.
4. ТАСС. Окончательный запрет на производство товаров из пластика планируют ввести в 2024 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tass.ru/ekonomika/12283125/ (дата обращения: 22.04.2022).

УДК 628.477.6

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Л.В. Подледнева
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова
Университет ИТМО
e-mail: podledneva3012@mail.ru

Аннотация
В работе рассмотрены современные методы идентификации пластиковых отходов, в которых применяется машинное обучение и искусственный интеллект для идентификации пластиковых отходов. В настоящее время существует много продуктивных портативных и стационарных систем, позволяющих идентифицировать различные типы и смеси пластиковых отходов достаточно точно.

Ключевые слова
Пластиковые отходы, идентификация отходов, инфракрасная спектроскопия, рамановская спектроскопия.

Пластиковые отходы в настоящее время являются наиболее значимыми среди общего объема отходов. Согласно данным ЮНЕП 2021 года, общий объём производимого пластика в мире составляет 438 млн. тонн, а общий объём пластиковых отходов составляет 291 млн. тонн [1].

Целью данного исследования является анализ современных методов, в которых применяется машинное обучение и искусственный интеллект для идентификации пластиковых отходов.

Существует несколько способов обращения с пластиковыми отходами: захоронение на свалках, сжигание, переработка. Попадая на полигоны и свалки, пластик не разлагается, здесь происходит его деструкция на более мелкие части и уже они попадают в окружающую среду. При сжигании пластика в атмосферу выбрасываются загрязняющие вещества (окись углерода, закись азота, твердые частицы, диоксины и другие вещества), оказывающие канцерогенное воздействие.

С точки зрения переработки, о пластике можно говорить, как о ценном ресурсе, пригодном для вторичного использования, однако, не все виды пластика подходят для дальнейшего использования. В зависимости от назначения, пластики разделяют по видам, физико-механическим и физико- химическим свойствам.

Существуют несколько методов идентификации пластиковых отходов: инструментальный и визуальный. Часто возникает потребность определить тип пластика при сортировке перед вторичной переработкой, чтобы убедиться, что весь отсортированный пластик однородный. Именно для утилизации и существуют обозначения пластмасс. Визуальный способ – это определение типа пластика по соответствующему коду маркировки, расположенному на упаковке. Каждый человек может самостоятельно сортировать пластиковые отходы в своём доме таким методом.

К инструментальным методам идентификации относятся химические (например, термическая деструкция), физико-химические методы (масс-спектрометрия и инфракрасная спектроскопия) [2].

Рассмотрим более подробно физико-химические методы идентификации пластиковых отходов. В ходе исследования был проведён поиск самых эффективных систем идентификации пластиковых отходов с применением машинного обучения. Так,

по результатам изучения ряда работ зарубежных авторов, были выделены наиболее интересные и перспективные.

Немецкая компания GUT разработала несколько моделей анализатора. Наиболее эффективными являются такие модели как MIRoGun 2.0 и SIRoGran.

MIRoGun 2.0 – это портативный, точный спектрометр для определения разных видов пластика. Принцип измерения – инфракрасная спектроскопия. Данный прибор прост в эксплуатации, он работает на литий-ионном аккумуляторе. Пригоден для идентификации пластиковых отходов на открытых площадках компаний по утилизации, на транспортных средствах или в производственных цехах. Образцами измерения могут быть как крупные твердые предметы, пленки и фольги, так и гранулы, волокна или пены [3]. MIRoGun 2.0 показан на рис. 1.

Рис. 1. MIRoGun 2.0 [3]

SIRoGran – это стационарный, точный спектрометр для автоматического измерения пластиковых гранул, хлопьев и измельченного материала всех видов. Принцип измерения – инфракрасная спектроскопия. Данный анализатор адаптируется к структуре и размеру частиц и дает точный статистический состав [3]. SIRoGran показан на рис. 2.

Рис. 2. SIRoGran [3]

В США компания TSI также разработали анализатор пластмасс - PolyMax. PolyMax – это портативный спектрометр, который идентифицирует светлую и темную пластмассу с высокой точностью. Принцип измерения – Рамановская спектрометрия.

Данный прибор подходит для поставщиков пластмасс и заводов по переработке для точной идентификации пластика [4]. PolyMax представлен на рис. 3.

Рис. 3. PolyMax [4]

Интересным предложением среди изученных работ, оказалась работа химического концерна BASF – trinamiX GmbH. Разработчиками было предложено мобильное приложение для облегчения сортировки и переработки пластика. Данная методика позволяет идентифицировать компоненты, которые входят в состав того или иного пластического объекта. В основе представленной разработки лежит метод инфракрасной спектроскопии, позволяющий по матрице данных путём сравнения оптических характеристик выявить показатели, характерные для конкретного вида пластика. Данная разработка подойдёт для небольших компаний, самостоятельно занимающихся переработкой пластиковых отходов [5].

Также интересна разработка, системы идентификации пластиковых отходов с помощью искусственного интеллекта, выполненная в Орхусском университете (Дания), авторы Мартин Л. Хенриксен, Селин Б. Карлсен, Пернилле Кларсков, Могенс Хинж. Ученые использовали данные гиперспектральной съёмки в инфракрасном диапазоне с машинным обучением по маске. Анализ фотографий был выполнен системой на основе данных по отклику различных видов пластика. Данная система будет способна осуществлять идентификацию сразу нескольких объектов разного размера и структуры, например, пластиковых отходов, движущихся по конвейерной ленте. В области переработки, это решение будет полезно крупным компаниям, например, в области автомобилестроения, газовой, нефтяной промышленности [6].

По результатам обзора эффективных современных систем идентификации была составлена сравнительная характеристика, представленная в таблице.

Таблица

Сравнительная характеристика систем идентификации пластика

Прибор	Принцип действия	Удаленное использование	Вид материала	Библиотека спектров
1) MIRoGun 2.0 2) trinamiX	ИК-спектроскопия	есть	Твердые предметы, пленки и фольги, гранулы, волокна или пены	22
sIRoGran	ИК-спектроскопия	нет	Гранулы, хлопья и измельченный материал	22
PolyMax	Рамановская спектрометрия	есть	Крупногабаритные твердые предметы, гранулы, тонкая плёнка	45
Система Орхусского университета	ИК-спектроскопия	нет	Твердые предметы	13

В таблице видно, что некоторые приборы можно использовать удалённо: MIRoGun 2.0, trinamiX, PolyMax, некоторые нет: sIRoGran, система Орхусского университета.

Следующее отличие заключается в принципе измерения. В приборах MIRoGun 2.0, trinamiX, sIRoGran, система Орхусского университета принцип измерения – инфракрасная спектроскопия. В системе PolyMax – Рамановская спектрометрия.

Ещё некоторые системы идентифицируют разные виды материала. Например, MIRoGun 2.0, trinamiX, PolyMax могут анализировать крупногабаритные твердые предметы, гранулы, тонкую плёнку. Работа sIRoGran направлена исключительно на измельчённые материалы (гранулы, хлопья). Система Орхусского университета ещё проводит эксперименты, пока известно, что система способна идентифицировать твердый материал.

Следующее отличие – библиотека спектров. Некоторые системы способны различать большее количество видов пластмасс, смешанных и нет. Например, PolyMax, способный идентифицировать 45 видов пластмасс.

В работе проведен анализ современных методов идентификации пластиковых отходов с использованием искусственного интеллекта и машинного обучения. В настоящее время существует много продуктивных портативных и стационарных систем, позволяющих идентифицировать различные типы и смеси пластиковых отходов достаточно точно. К таким системам относятся: mIRoGun 2.0, scanNIR, trinamiX GmbH, PolyMax. Данные системы можно использовать на перерабатывающих площадках и крупных заводах, а также будет полезно компаниям, самостоятельно организующим сортировку пластиковых отходов.

Таким образом, использование инфракрасной и Рамановской спектроскопии совместно с машинным обучением для сортировки пластиковых отходов является эффективным, так как позволяют с высокой точностью идентифицировать большой спектр пластмасс разного размера и структуры.

Литература

1. Доклад «От загрязнения к решению: всемирная оценка проблемы морского и пластикового мусора» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. unep.org/ru/ resources/ ot-zagryazneniya-k- resheniyu-vsemirnaya-ocenka-problemy-morskogo-i-plastikovogo-musora (дата обращения: 07.02.2022).
2. Тартанов А.А. Физико-химические методы оценки свойств полимеров // Лабораторный практикум. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС. 2018. 56 с.
3. Анализаторы пластика [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ndt-innovations.ru/ katalog/analizatory- metallov/ intellektyalnj-bik- spektrometr-s-besprovodnoj- svjazu-mirogun/ (дата обращения: 09.02.2022).
4. Анализатор пластмасс PolyMax [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tsi-russia.ru/product/parent/12/products_id/124 (дата обращения: 09.02.2022).
5. Пресс-служба BASF в России «Мобильное приложение от дочерней компании BASF упрощает процесс сортировки пластика» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.basf.com/ru/ru/media/news-releases/2020/07/trinamiX_plastic_sorting.html (Дата обращения: 18.02.2022).
6. Martin L. Henriksen, Celine B. Karlsen, Pernille Klarskov, Mogens. «Hinge Plastic classification via in-line hyperspectral camera analysis and unsupervised machine learning» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. sciencedirect. com/science/article/pii/S0924203121001247 (Дата обращения: 18.02.2022).

УДК 606

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ *PLEUROTUS OSTREATUS* ПРИ ТВЕРДОФАЗНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ

К.Р. Рахманова
Научные руководители – к.т.н., доцент Н.Р. Молодкина;
к.т.н., преподаватель А.А. Орипова
Университет ИТМО
e-mail: karina.rakhmanova@itmo.ru

Аннотация
Проведено твердофазное культивирование мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* с целью получения биокомпозитного органического материала, выступающего в качестве конкурентоспособного и экологически устойчивого аналога синтетическим полимерам. Подобраны оптимальные технологические параметры ведения твердофазного культивирования, рассмотрены основные критерии подбора субстратов.

Ключевые слова
Биокомпозитные материалы, мицелий, *Pleurotus ostreatus*, твердофазное культивирование, технология.

Возросший спрос в сельском хозяйстве, индустриализации и ускоренный рост населения привели к большому количеству отходов и загрязнению окружающей среды. Поскольку население планеты ускоренно увеличивается, и антропогенная нагрузка на окружающую среду зависит от данного фактора пропорционально, отходов производства и потребления станет только больше. Согласно прогнозу Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), если не будут приняты меры по сдерживанию производства и использования пластика, то его количество в мировом океане к 2040 году утроится, что приведет к «тройному кризису планетарного масштаба»: изменению климата, потере биоразнообразия и загрязнению [1]. Глобальная стратегия устойчивого развития направлена на снижение потребления не возобновляемых природных материалов путем замены их биологическими стабильными материалами. В связи с мировыми тенденциями, направленными на экологическое просвещение и сокращение воздействия на окружающую среду, многие производства делают упор на устойчивость и принимают меры по введению чистых и цикличных технологий и стадий в производство. В настоящее время получение биокомпозитных материалов из мицелия грибов и отходов растительного происхождения привлекает большое внимание тем, что данный продукт может выступать в качестве конкурентоспособного инновационного аналога многим синтетическим материалам. Такие качества как универсальность применения, низкое энергопотребление во время производства данных материалов и широкий спектр функциональности, выступают неотъемлемым фактором для создаваемых биокомпозитов. Для внедрения данных альтернативных материалов, необходимо развитие технологий, их адаптация к рынку и признание таких продуктов. Следовательно, поиск альтернативных подходов, которые являются экологически чистыми материалами, может привести к более устойчивому будущему. Именно биокомпозитный материал на основе мицелия выступает перспективным решением в области устойчивых материалов. Мицелий является быстрорастущей вегетативной частью гриба, состоящая из тонких разветвленных нитей. Биокомпозиты – это материалы из возобновляемых природных ресурсов. В частности, биокомпозиты из мицелия – это

материалы, где волокна мицелия выступают в качестве матрицы с адгезивными свойствами [2].

При переходе к циклической экономике ключевыми элементами выступает минимизация отходов и их вторичное применение. Именно культивирование мицелия грибов представляет собой экономически рентабельный биотехнологический процесс переработки отходов растительных остатков из лесов и сельского хозяйства, при культивировании мицелия в качестве сырьевых ресурсов используются отходы растительного происхождения. Таким образом, биокомпозиты обладают потенциалом для фактического поглощения потоков отходов и преобразования их в материалы многократного использования.

Разработанная технологическая схема представлена на рис. 1. Подробное описание стадий и технологические параметры представлены в тексте работы.

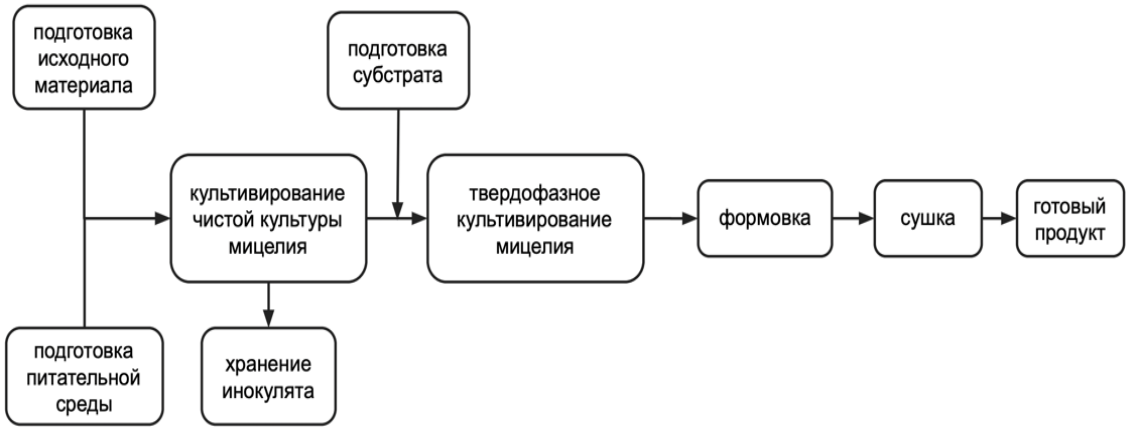


Рис. 1. Технологическая схема получения биокомпозитов из мицелия

В качестве начальных стадий выступают получение чистой культуры, подготовка стандартного посевного материала, субстрата и определение условий, необходимых для роста. Классический способ получения мицелия – это развитие мицелия из плодовых тел. Исходный материал - пластины плодового тела гриба. Питательная среда - стандартный картофельно-декстрозный агар. На стадии подготовки посевного материала последовательно проведены следующие действия: из свежего гриба стерильными щипцами извлечены его пластинки, промыты дистиллированной водой. Питательная среда подвергнута стерилизации в автоклаве при температуре 121°С и давлении 1 атм. в течение 20 минут. Процесс первичной инокуляции: подготовленные пластины гриба стерильными щипцами внесены на поверхность твердой питательной среды чашки Петри. Инкубация проводилась в термостате при 25±1°С в течение 14 суток. Далее пучок чистого мицелия перенесен в пробирки с питательной средой. Данный процесс осуществляется не только для определения культуры видовой принадлежности, но и для последующего хранения полученной культуры на длительный срок для дальнейших исследований. Таким образом, получена чистая культура мицелия грибов *Pleurotus ostreatus*. Все вышеперечисленные манипуляции проведены в стерильных условиях в ламинарном шкафу. Следующая стадия – это подготовка субстрата для культивирования мицелия и твердофазное культивирование. В ходе работы были определены основные критерии подбора субстратов, в качестве которых выступают питательная ценность, влажность, аэрируемость и доступность. Для оптимального роста и развития мицелия требуется источник углерода как основной компонент питания. Следовательно, субстрат должен иметь значительное количество высокомолекулярных углеводов, а именно целлюлозы, лигнина, гемицеллюлозы и лигноцеллюлозы. Это определяется тем, что

грибы обладают экстраклеточным типом пищеварения, при котором мицелий выделяет ферменты, такие как лакказы и целлюлазы. Они в свою очередь расщепляют сложные органические соединения на мономеры и таким образом получают питание. Также важен источник азота, поскольку с углеродным питанием тесно связан азотный обмен. Оптимальной влажностью готового субстрата является 65–80%. Также у грибов *Pleurotus ostreatus* аэробный тип обмена веществ, в котором генератором энергии выступает процесс дыхания, поэтому в субстрате должна осуществляться диффузия газов. Для этого используемый субстрат должен иметь пористую структуру, которая, в свою очередь, зависит от плотности набивки, степени дисперсности и влажности исходных материалов [3]. Также субстрат должен быть доступен на местном уровне для экономической рентабельности и легкости в логистике [2]. Таким образом, были подобраны субстраты из зерна овса, просо. Полученная чистая культура мицелия *Pleurotus ostreatus* инокулирована в пакеты с предварительно простерилизованными субстратами (121°С, 1 атм., 15 мин.). Твердофазное культивирование является основной стадией технологического процесса. Данная стадия проводилась 21 сутки при 23±1°С. Сущность твердофазного культивирования заключается в том, что вегетативный мицелий колонизирует субстрат, мицелиальные сети прорастают и пронизывают его во всем объеме и поверхности, далее субстрат частично заменяется грибковой биомассой, и в результате получается биокомпозитный материал, который подвергается формовке при стерильных условиях в ламинарном шкафу. Как только достигается требуемая плотность и структура, комплекс мицелия с субстратом подвергается обезвоживанию в термостате при 50±1°С в течение 2 суток. На рис. 2 представлены результаты получения чистой культуры мицелия *Pleurotus ostreatus*, твердофазного культивирования мицелия на соломе и зернах просо и овса.

Рис. 2. Чистая культура мицелия *Pleurotus ostreatus,* биокомпозиты из мицелия на соломе и зернах просо, овса

Практическая значимость результатов работы заключается в определении и проведении технологического процесса с оптимальными параметрами и факторами ведения твердофазного культивирования мицелия грибов *Pleurotus ostreatus* для получения биокомпозитных материалов. В ходе работы достигнута возможность получения биокомпозитных материалов, что характеризуется однородностью прорастания мицелия в субстрате. Также были рассмотрены различные степени дисперсности частиц субстратов в сравнении соломы, зерен овса и просо. Таким образом, разработка и получение биокомпозитных материалов посредством твердофазного культивирования мицелия грибов *Pleurotus ostreatus* является перспективным направлением решения актуальных задач, как сокращение использования пластика и других синтетических полимеров, а также использование вторичных продуктов и отходов агропромышленных производств в качестве сырьевых источников для культивирования мицелия, что является возможностью для осуществления модели экономики замкнутого цикла.

Литература

1. Новости ООН. Пластик – тройная угроза планетарного масштаба [Электронный ресурс] URL: https://news.un.org/ru/story/2021/09/1409292 (дата обращения: 20.03.2022).
2. Lelivelt R. J. J. The mechanical possibilities of mycelium materials //Eindhoven university of technology (TU/e). 2015. 682 p.
3. Критерии выбора сырья для выращивания вешенки [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://griboland.ru/kriterii-vybora-syrya-dlya-vyrashhivaniya-veshenki/.(дата обращения: 13.04.2022).

УДК 378.147

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ

Р.С. Туганова, Р.Ф. Юльметова
Научный руководитель – к.х.н., доцент Юльметова Р.Ф.
Университет ИТМО

Аннотация
В работе исследовано применение таких современных информационных технологий, как виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность, в образовательных программах высших учебных заведений. Проанализировано состояние современного рынка VR- и AR-технологий в России и мире. Разработаны первые 3D-модели промышленных установок автоматического мусоросортировочного комплекса и сконструирован сайт для студентов экологических специальностей университета ИТМО.
Ключевые слова
Современные информационные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность, реализация экологических дисциплин, современное образование, смешанное обучение.

Актуальность темы исследования обусловливается возрастающей ролью применения современных информационных технологий в образовательном процессе. Начиная с 2020 года, система образования активно внедряет современные информационные технологии (ИТ) в реализацию различных компонентов образовательных программ. В настоящее время в обучении студентов все чаще используются онлайн-технологии, так как принцип доступности высшего образования на сегодняшний день является основополагающим. Благодаря современным ИТ появилась возможность обучаться быстро и качественно, а главное, такой процесс усвоения учебных материалов может быть по-настоящему эффективным.

Особенности применения современных ИТ в образовании вузов было рассмотрено в работах ученых В.В. Гриншкуна, Г.А. Краснова, Е. Новак, П.Д. Рабиновича, С. Висдом. Доказано, что такой стремительный переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным средствам определяет новые условия подготовки высококвалифицированных специалистов [1, 2].

Рынок VR/AR-технологий предлагает большие возможности для использования данных методов изучения дисциплин в образовательной деятельности вузов. VR-отрасль растет быстрыми темпами, при этом прогнозируется, что размер мирового рынка виртуальной реальности увеличится с менее чем 5 млрд $ USD в 2021 году до более чем 12 млрд $ USD к 2024 году [3]. Прогнозируемый размер мирового рынка дополненной и виртуальной реальности в 2020 и 2025 годах по сегментам представлен на рис. 1.

Согласно исследованию THEAPPSOLUTIONS, 41% из 1058 опрошенных хотят видеть внедрение VR-технологий в образовательных процесс [5]. На рис. 2 представлены результаты опроса.

Однако, несмотря на высокие темпы развития VR- и AR-технологий, а также их активное внедрение в процесс обучения, экологическая сфера остается непопулярной для применения новых методов изучения дисциплин. Следовательно, проблема заключается в отсутствии на российском рынке качественных программ, реализованных для применения виртуальной и дополненной реальности в образовательных программах экологического профиля.

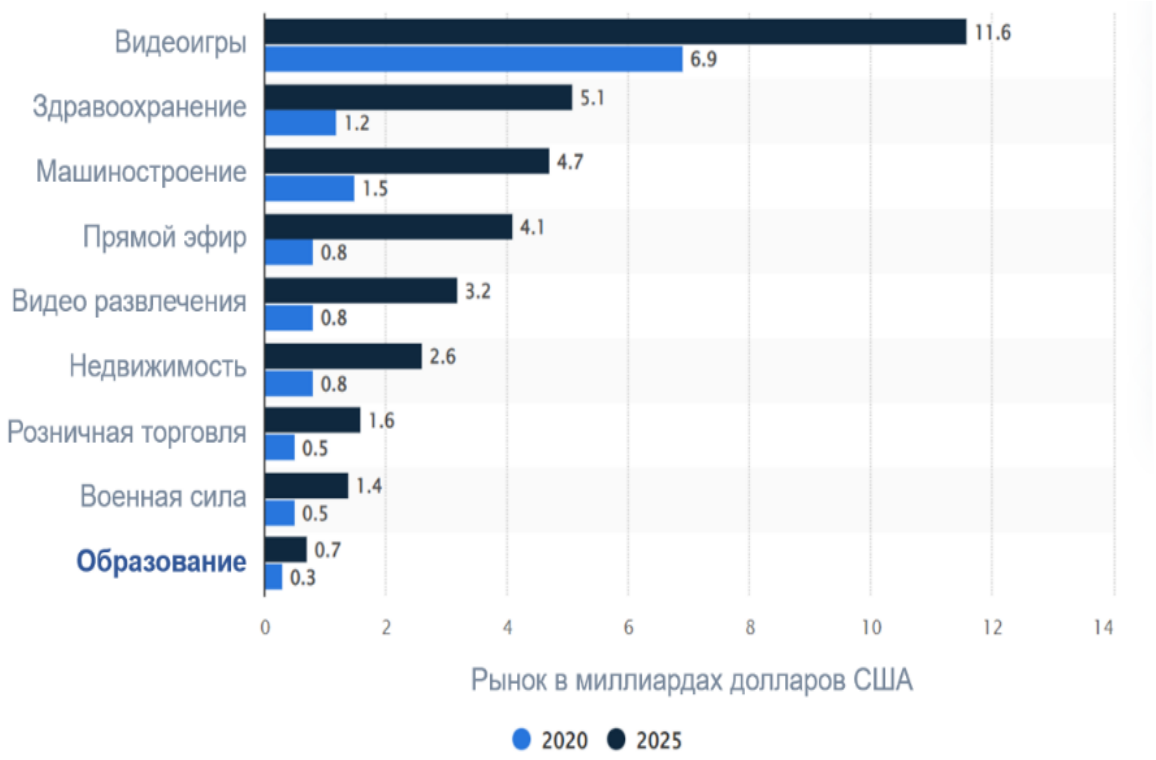


Рис. 1. Прогнозируемый размер рынка VR- и AR-технологий [4]

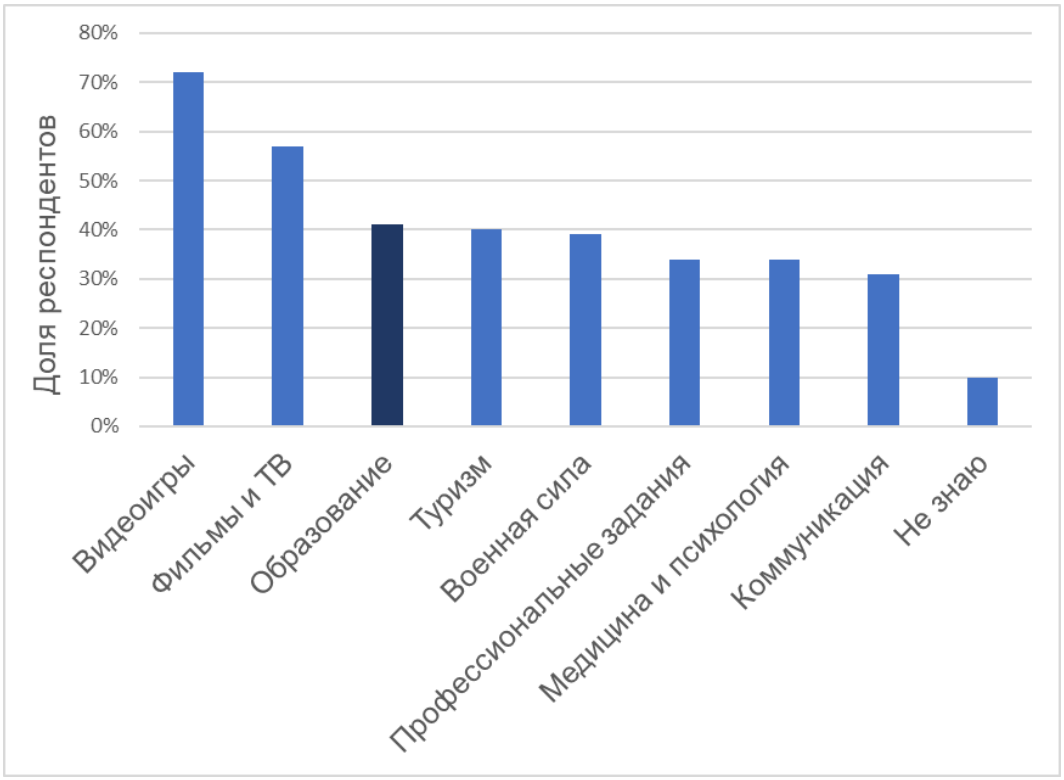


Рис. 2. Ответы респондентов на вопрос: «В каких областях применения, по вашему мнению, в будущем будут использоваться VR-технологии?»

В ходе данной работы были изучены современные информационные технологии, применяемые в образовательных программах вузов, исследованы технологии виртуальной и дополненной реальности и их области применения в сфере образования.

Для рассмотрения эффективности VR и AR были проанализированы преимущества применения данных технологий в рамках образовательных дисциплин. Можно выделить три основных аспекта преимуществ использования виртуальных технологий:

- во-первых, повышение мотивации и вовлеченности студентов в учебный процесс благодаря применению иммерсивной системы;
- во-вторых, использование конструктивистского подхода к обучению, включающего в себя взаимодействие с виртуальной средой и другими студентами;
- в-третьих, высокая доступность гарнитур технологий виртуальной и дополненной реальности.

Также был проведен анализ существующих образовательных программ вузов с опытом внедрения виртуальной и дополненной реальности. Первооткрывателями VR-технологий выступили Институт машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Национальный исследовательский Томский политехнический университет и Тихоокеанский государственный медицинский университет.

В рамках практической части работы началась разработка первых 3D-моделей промышленных установок автоматического мусоросортировочного комплекса в программном обеспечении Blender. На первой стадии работы были сконструированы: измельчитель пакетов твердых коммунальных отходов (ТКО), сепаратор роторного типа и оптический сепаратор, предназначенный для высокоточной сортировки отходов. На рис. 3 представлены смоделированные объекты будущего мусоросортировочного комплекса.

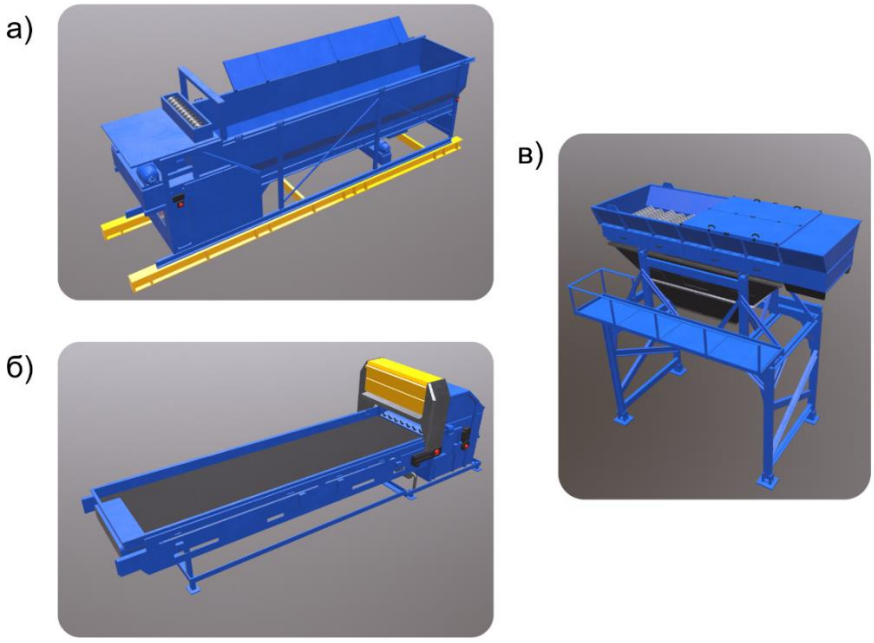


Рис. 3. 3D-модели промышленного оборудования: а) разрыватель пакетов ТКО, б) оптический сепаратор, в) роторный сепаратор

С помощью инструмента для разработки приложений и компьютерных игр «Unity» и платформы дополненной реальности «Vuforia» было создано AR-приложение на Android, с помощью которого в реальном времени студент может изучать промышленное оборудование мусоросортировочного комплекса. На рис. 4 представлен процесс использования AR-приложения в реальном времени.

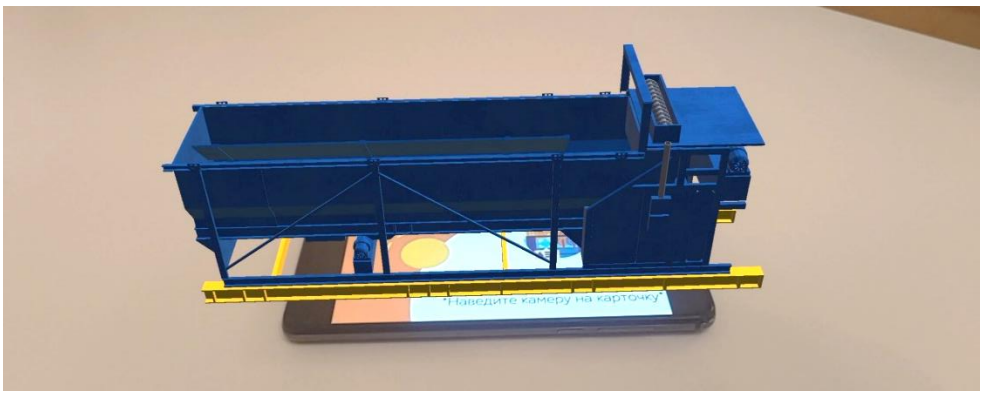


Рис. 4. Смоделированный 3D-объект разрывателя пакетов ТКО в AR-приложении

Также для дальнейшего развития образовательной платформы, предназначенной для студентов экологических специальностей университета ИТМО, был сконструирован веб-сайт.

Таким образом, были исследовано применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательных программах вузов. Для более глубокого исследования эффективности современных ИТ были изучены преимущества применения VR- и AR-технологий в рамках учебных дисциплин, а также проведен анализ существующих образовательных программ российских вузов с опытом внедрения VR/AR-технологий.

Выполненная работа имеет практическую значимость, так как разработанный виртуальный комплекс будет применяться в обучении студентов экологического профиля. Более того, готовый продукт позволит усовершенствовать преподавание экологических дисциплин и повысить эффективность обучения. Благодаря созданной 3D-модели студенты смогут не только освоить теоретическую информацию, но и познакомиться с технологическим процессом виртуально. Разработанная программа станет незаменимой практической частью в учебном плане экологических дисциплин.

Литература

1. Novak E., Wisdom S. Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science // J. Sci. Educ. Technol. Journal of Science Education and Technology. 2018. V. 27. № 5. P. 412–432.
2. Гриншкун В.В., Краснова Г.А. Эффективное использование информационных технологий и другие проблемы совершенствования подготовки высококвалифицированных кадров в аспирантуре // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2018. Т. 15. №2. С. 135–143.
3. Artillery Intelligence. VR Global Revenue Forecast, 2020–2025 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https: https://artillry.co/artillry-intelligence/vr-global-revenue-forecast-2020-2025/ (дата обращения 23.11.2021).
4. Bellini, Heather, Chen, Wei, Sugiyama, Masaru, Shin, Marcus, Alam, Shateel, Takayama, Daiki. Virtual & Augmented Reality: Understanding the Race for the Next computing Platform. Goldman Sachs. 2016. 64 p.
5. THEAPPSOLUTIONS. Augmented and virtual reality in education [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://theappsolutions.com/blog/development/ar-vr-in-education/ (дата обращения 25.11.2021).

УДК 504.064.3

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ «ОТПЕЧАТКОВ» ФРЕОНОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

С.З. Фахртдинова, Е.П. Тюрикова, Н.Г. Карпова
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова
Университет ИТМО
e-mail: sabinafaxrtdinova9755@gmail.com

Аннотация
В работе рассмотрены параметры лазерного источника излучения, влияющие на спектральный отпечаток при работе с образцами. Показано, что длина волны лазера влияет на спектральный диапазон, чувствительность, эффективность возбуждения источника, а также на эффекты поглощения и флуоресценции. На примере конкретных образцов показано влияние длины волны на их итоговых спектральных отпечатках.
Ключевые слова
Анализатор, длина волны, лазер, спектральный отпечаток, спектроскопия комбинационного рассеяния.

Введение

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) – это метод неразрушающего химического анализа, который представляет подробную информацию о химической структуре и молекулярных взаимодействиях вещества. Этот эффект основан на взаимодействии света с химическими связями внутри материала.

При анализе образцов важно обратить внимание на лазер, который используется в анализаторе спектроскопии КР, так как длина волны лазера может повлиять на процесс анализа и на итоговый спектральный отпечаток. В исследовательских лабораториях стали пользоваться популярностью многолучевые анализаторы. Данные анализаторы содержат в себе лазеры разных длин волн, что повышает информативность и универсальность процесса анализа образцов.

Целью данной работы является анализ зависимости спектральных отпечатков, получаемых от фреонов, от параметров лазерного источника излучения, использующегося в спектрометре КР. К задачам можно отнести:

1. Исследование принципов выбора лазера для аналитических установок.
2. Поиск взаимосвязи длины волны лазера с рабочими параметрами установки.
3. Анализ спектров, полученных с помощью разных длин волн лазера.
4. Сформировать рекомендации по построению структурной схемы двухлучевого анализатора газовых образцов.

Структура спектрометра КР

Спектрометр КР – это инструмент, используемый для идентификации или проверки компонентов образца. Спектрометр собирает свет, испускаемый образцом после воздействия лазером, и с помощью собранного света создает спектр, который используется для идентификации материала. Благодаря своей портативности и гибкости при анализе образцов, данный тип спектрометров все чаще используется в разных областях науки и жизнедеятельности (рис. 1) [1].

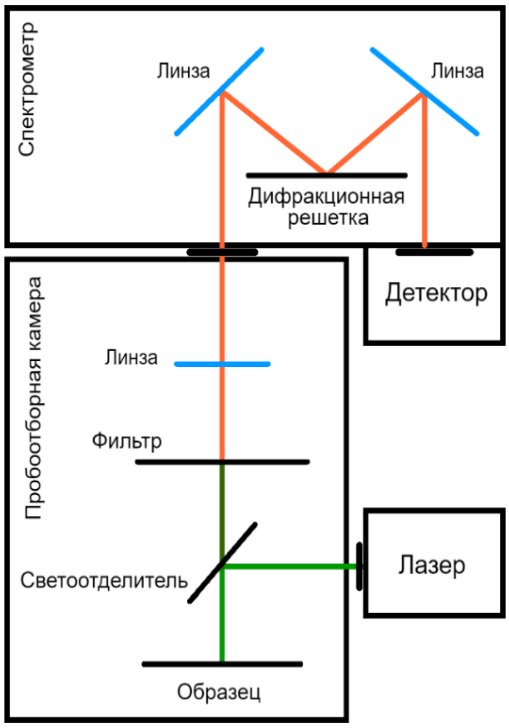


Рис. 1. Схема одной из возможных установок для спектроскопии КР

Спектрометр КР состоит из трех основных компонентов:

- источник возбуждения;
- аппарат получения сигнала от образца;
- детектор.

В современных спектрометрах КР в качестве источника монохроматического возбуждения используется лазер, а в качестве детектора - оптоволоконный датчик для получения сигнала от образца.

Особенности выбора источника излучения

Несмотря на то, что лазер является наилучшим источником возбуждения, не все лазеры подходят для спектроскопии КР. Частота лазера должна быть стабильной и без скачков, в противном случае, это приводит к ошибкам в рамановском сдвиге. Также следует использовать узкополосный лазер, так как качество рамановских пиков зависит от четкости и точности источника возбуждения света.

При выборе рамановского спектрометра одним из основных параметров является длина волны излучения лазера рамановского спектрометра. Известно, что рамановский сдвиг материала зависит только от его химических свойств и не зависит от длины волны возбуждения, однако выбранная длина волны будет влиять на интенсивность комбинационного рассеяния, пространственное разрешение, фоновую флуоресценцию, время сбора данных и потенциальную стоимость системы комбинационного рассеяния. Различные диапазоны длин волн имеют преимущества и недостатки, при этом окончательный выбор лазера в значительной степени определяется исследуемым образцом.

Существует множество различных вариантов длин волн возбуждения, но наиболее широко используются три из них: 532 нм, 785 нм и 1064 нм [1]. Критичная разница заложена в таком параметре, как эффективность возбуждения. Эффективность рамановского рассеяния обратно пропорциональна длине волны возбуждения в четвертой степени (λ^{-4}). Мощность распределенного света равна интенсивности

падающих фотонов или значению параметра, которое называют сечением рамановского рассеяния [2].

Интенсивность комбинационного рассеяния обратно пропорциональна четвертой степени длины волны освещения, а это означает, что освещение на более длинных волнах приводит к быстро уменьшающемуся сигналу комбинационного рассеяния. Следовательно, с увеличением длины волны лазера интенсивность комбинационного рассеяния будет падать.

Чувствительность приемника излучения также зависит от диапазона длин волн. Квантовая эффективность широко используемых неохлаждаемых ПЗС-устройств на кремниевой основе для обнаружения сигнала комбинационного рассеяния довольно быстро снижается после 800 нм, имея лучший отклик на длине волны возбуждения 532 нм [1]. Для более длинноволнового освещения можно использовать матричные устройства на основе арсенида индия-галлия (InGaAs).

Спектральный диапазон ПЗС-детектора длиннее при возбуждении на длине волны 532 нм (200–4000 $см^{-1}$), чем на 785 нм (200–3000 $см^{-1}$). Тем не менее, большинство идентификационных данных располагается в диапазоне 200–2700 $см^{-1}$, поэтому дополнительные преимущества расширенного диапазона не имеют особого значения.

Часто подробная информация из спектра КР скрыта высокой фоновой флуоресценцией, которая может оказать негативное влияние на эффективность возбуждения [1]. Флуоресценция может исходить от образца, подложки или оптических элементов, таких как объектив [3]. Чтобы избежать флуоресценции, выбираются различные лазеры возбуждения, причем предпочтительными являются лазеры ближнего ИК-диапазона. Флуоресценция — это процесс поглощения, а в ближнем ИК-диапазоне поглощается меньше молекул [2].

На рис. 2 показаны материалы, измеренные с двумя разными длинами волн возбуждения (532 нм и 785 нм). Спектры показывают подавление флуоресценции, которое может быть достигнуто при использовании наиболее подходящего лазера. Лазер с длиной волны 785 нм выявляет пики, которые маскируются фоном высокой флуоресценции, наблюдаемым при использовании лазера с длиной волны 532 нм.

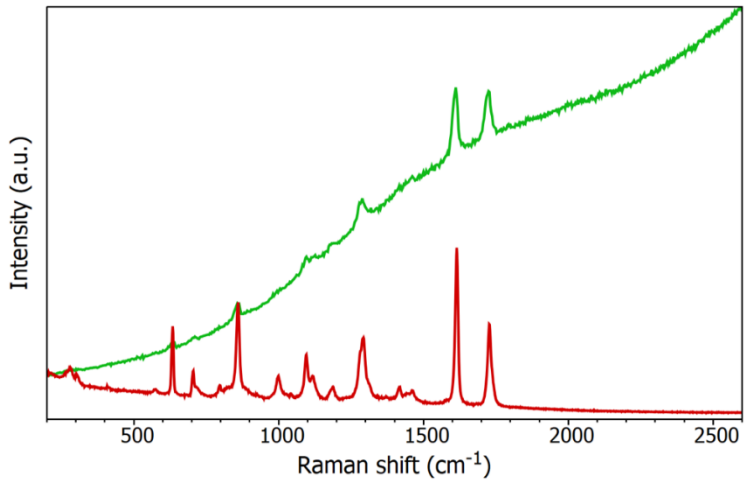


Рис. 2. Спектры пятен никотина, измеренные с лазером 532 нм (зеленый) и лазером 785 нм (красный) [2]

Можно сделать вывод, что вероятность флуоресценции выше при более низких значениях длин волн.

Нельзя не учитывать поглощение лазерного излучения образцом, так как это может привести к нагреву и изменению свойств образца. Чем больше длина волны возбуждения лазера, тем больше энергии поглощается и тем сильнее нагревается образец.

Лазеры ближнего инфракрасного диапазона, например 1064 нм, также несут повышенный риск повреждения образца по сравнению с лазерами видимого диапазона. Эти лазеры имеют более высокую мощность, и из-за более слабого рассеяния, наблюдаемого на более высоких длинах волн, часто требуется более длительное время воздействия лазера. Это увеличивает вероятность того, что лазер повредит образец.

Еще одним важным аспектом, который следует учитывать при выборе длины волны возбуждения, является наличие подходящих лазерных источников. Необходимо учитывать такие факторы, как размер, производительность, стабильность и стоимость [4].

Взаимосвязь длины волны лазера с рабочими параметрами установки КР

Обладая высокой чувствительностью, возбуждение лазером с длиной волны 532 нм особенно хорошо подходит для изучения оксидов металлов и неорганических материалов, поскольку для многих из этих типов образцов характерна низкая флуоресценция [1]. Лазеры спектроскопии КР с длиной волны 1064 нм предпочтительны для образцов, которые страдают от высокого фона флуоресценции, поскольку количество флуоресценции падает с увеличением длины волны и уменьшением энергии фотона. Кроме того, для обнаружения рассеянных фотонов от лазера с длиной волны 1064 нм требуются коротковолновые инфракрасные датчики - InGaAs, поскольку ПЗС-матрицы эффективно слепы к длинам волн выше 1100 нм, но датчики InGaAs дороже и имеют больший собственный шум, чем ПЗС-камеры [3]. Еще одним важным моментом является то, что для проведения измерений с помощью лазера с длиной волны 1064 нм часто требуются более высокие мощности лазера, что может вызвать проблемы с безопасностью в производственной зоне.

Возбуждение с длиной волны 785 является компромиссом, обеспечивающим более сильный рамановский сигнал, чем 1064 нм, и более слабую флуоресценцию, чем 532 нм, с оптимальным уровнем спектрального разрешения. Это также одна из самых популярных и распространенных длин волн, поскольку она эффективно работает с более чем 90% активных рамановских материалов с управляемой флуоресценцией [3].

Был проведен теоретический анализ данных спектральных отпечатков различных соединений, полученных при разных длинах лазера. Как видно из рис. 3, спектр, полученный на длине волны возбуждения 785 нм, является более детальным и был получен за более короткое время, по сравнению со спектром, полученным на длине волны возбуждения 1064 нм.

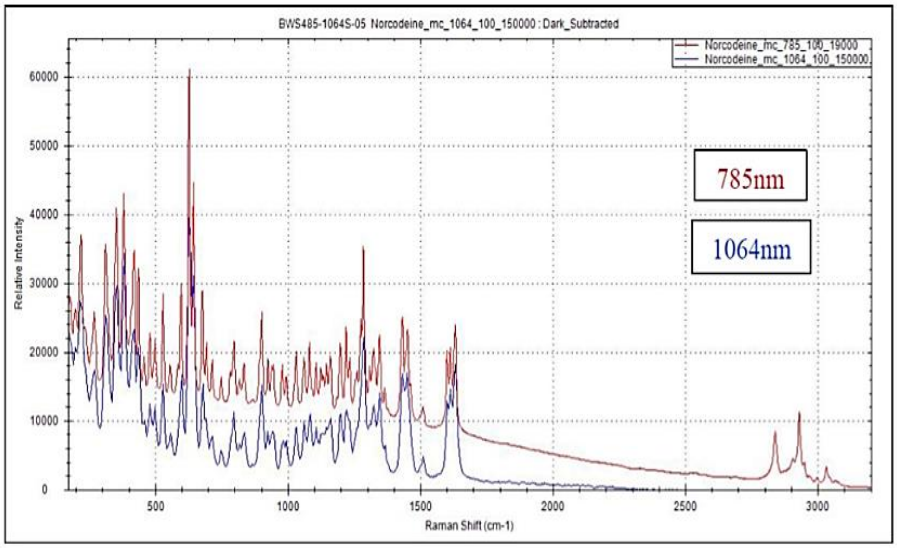


Рис. 3. Рамановские спектры наркодеина, измеренные с лазером 785 нм (красный) и лазером 1064 нм (синий) [1]

В большинстве случаев, единственной причиной выбора приборов с источником излучения на 1064 нм является потребность в минимизации флуоресценции [1]. Эти лазеры имеют более высокую мощность, и из-за более слабого рассеяния, наблюдаемого на более высоких длинах волн, часто требуется более длительное время воздействия лазера, что может привести к повреждению исследуемого образца.

На основании проведенного исследования были сформированы требования к аналитическим установкам КР, которые могут использовать несколько лазеров в своей структуре. Подобные аналитические установки возможны с адаптацией системы получения сигнала от образца для работы с различными длинами волн. Важное значение в системе получения сигнала будет иметь оптическая система.

Заключение

Спектроскопия КР на протяжении многих лет продолжает быть аналитическим методом, который применяется в большем количестве отраслей и рынков с перспективным будущим. Системы уменьшаются в размерах, разрешение и чувствительность увеличиваются, а компоненты становятся более надежными. Понимание влияния производительности лазеров имеет решающее значение для дальнейшего успеха в этих новых областях применения.

Все рассмотренные длины волн источников могут использоваться для получения спектров КР. В зависимости от исследуемого образца инициируется процесс определения длины волны возбуждения, выясняется, необходимо ли подавление флуоресценции, в какой степени и насколько образец чувствителен к воздействию лазера.

Наиболее часто используемый возбуждающий лазер имеет длину волны 785 нм. Это связано с компромиссом между уровнем спектрального разрешения и подавлением флуоресценции. При использовании лазеров в УФ-диапазоне и ближнем ИК-диапазоне с большей длиной волны необходимо учитывать особенности конфигурации спектрометра КР. На основании предложенных рекомендаций по формированию структурной схемы подобные адаптации значительно повлияют на качество спектров и вариативность анализируемых веществ.

Литература

1. Выбор лазера для применений в рамановской спектроскопии [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.czl.ru/applications/vybor-lazera-dlya-ramanovskoj-spektroskopii/ (дата обращения: 19.04.2022).
2. Edinburgh instruments: How to choose your lasers for Raman spectroscopy [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.edinst.com/blog/lasers-for-raman-spectroscopy/ (дата обращения: 19.04.2022).
3. Tornado spectral systems: Choosing The Right Laser For Raman Spectroscopy [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tornado-spectral.com/choosing-the-right-laser-for-raman-spectroscopy/ (дата обращения: 19.04.2022).
4. How to choose a laser for Raman spectroscopy [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. laserfocusworld. com/lasers-sources/ article/16555207/ how-to-choose-a-laser-how-to-choose-a-laser-for-raman-spectroscopy (дата обращения: 19.04.2022).

УДК 504.03

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЧЕЛОВЕК: НОВАЯ ПАРАДИГМА БЛАГОПОЛУЧИЯ?

А. Федянина, А.И. Ермоченко, В.А. Савоскула
Научный руководитель – старший преподаватель В.А. Савоскула
Университет ИТМО
e-mail: afedyanina@itmo.ru

Аннотация
Доминирующие модели здоровья рассматривают людей как по существу отделенных от своего окружения, на которых непосредственно влияют определенные физические события. Другая (экопсихологическая) точка зрения состоит в том, что мы встроены в окружающую среду; что представления о себе, болезни и благополучие связаны с тем, где мы находимся. Медицинские работники и политики осознали, что разум и тело нельзя рассматривать как нечто отдельное при содействии благополучию. Люди постоянно взаимосвязаны через двусторонние физические взаимодействия (электромагнитные, химические и механические), и все, что мы можем знать о мире, приходит через такие взаимодействия. Наши представления о себе и других, здоровье и болезни, и всех отношениях между ними основаны на таких взаимодействиях. Данная статья предлагает альтернативный взгляд на благополучие предлагает рассмотреть более динамичные отношения между людьми и окружающей средой, на примере анализа благополучия студентов и сотрудников Университета ИТМО.
Ключевые слова
Благополучие, здоровье, окружающая среда, well-being, удовлетворенность жизнью.

Термин «благополучие» имеет многогранную природу, которую можно определять и измерять различными способами. Определение благополучия все еще сложно, поскольку термины «счастье», «удовлетворенность жизнью» или «качество жизни» часто используются в одном и том же контексте. Согласно концепции Тома Рата и Джима Хартера благополучие – сочетание психического, физического, эмоционального и экономического здоровья людей [1].

Люди часто думают о себе как о физически отделенных от окружающего мира: изолированные тела, проходящие через внешнюю среду; актеры, играющие свои роли на нарисованном фоне. Действительно, общее определение окружающей среды – это «физические, химические и биологические факторы, внешние по отношению к человеку» [2]. Слишком часто окружающая среда рассматривается как нечто второстепенное, когда речь идет о благополучии. Когда под этим подразумевается местное окружение человека, основное внимание уделяется внешним физическим факторам, которые влияют на его внутреннее физическое состояние (например, воздействие тепловой волны на хронические заболевания). Когда речь идет о более масштабном окружении или глобальных ситуациях, акцент делается косвенно, на восприятии риска (например, беспокойство по поводу изменения климата) или социальных факторах (например, неравенство из-за стратегий преодоления людей в традиционных гендерных ролях). Эта точка зрения начинает меняться по мере того, как все больше исследователей и практиков начинают осознавать более широкий спектр факторов: пользу для здоровья от контакта с природой, связь между социальной средой и здоровьем, улучшение эффекта от физических упражнений на свежем воздухе и другое. Это системный взгляд, в котором мы являемся частью окружающей среды, состоящей из всех физических, биологических и социальных взаимодействий, в которых

мы участвуем. Например, в статье «An ecological approach to promoting population mental health and well-being: – A response to the challenge of climate change» использовали экологическую основу для укрепления здоровья, описывая возможные вмешательства, которые увязывали смягчение последствий изменения климата с индивидуальными и коллективное благополучие [3].

Одним из новых взглядов является взгляд экопсихологии, которую Roszak определяет как перспективу, которая «преодолевает давнюю историческую пропасть между психологическим и экологическим в нашей культуре», он подчеркивает экоцентрическую точку зрения, тесно связанную с «более экологичным» поведением и социальными изменениями [4]. Она фокусируется на взаимоотношениях человека с остальным миром природы, где «естественное» (часто представленное как нечто, не находящееся под контролем человека) больше относится к системам, которые являются самоорганизующимися, обладающими качествами, которые вытекают из присущих им биологических или физических свойств. С этой точки зрения мы благотворно реагируем на естественную окружающую среду, потому что наши тела сами по себе естественны. Мы не только взаимосвязаны с окружающей средой, наше благополучие зависит от нее: как неотъемлемая часть системы, потребности человека и планеты представляют собой континуум.

Многие люди признают концепцию воплощения: наше поведение, мотивации, мысли и чувства порождаются и ограничиваются нашей физической природой. Как часто люди действительно задумываются о том, как мы напрямую связаны с окружающим миром? Тело человека – это сложная физическая система, взаимодействующая посредством различных механических (например, ритмичных сокращений сердца), химические (например, гормоны) и электрохимические (например, потенциалы действия) процессы. Каждый раз, когда мы двигаемся, наши тела генерируют электрические и магнитные поля, когда ионы проходят через клеточные стенки. Эти поля простираются далеко за пределы границ наших тел, определенных кожей, воздействуя на другие организмы вокруг нас, а также делая нас, в свою очередь, чувствительными к изменениям в окружающей нас среде электрического и магнитного поля. Мы постоянно выдыхаем углекислый газ вместе с коктейлем из других химических веществ, связанные с сотнями отдельных реакций. Все эти выдыхаемые (и иным образом выделяемые) химические вещества проникают в окружающую среду, воздействуя на окружающих нас людей так же, как их химические вещества влияют на нас. Движения мышц и органов производят тепло, которое также влияет на нашу окружающую среду, повышая температуру переполненной комнаты, следы точечного нагрева, которые могут быть отслежены тепловыми органами чувств некоторых животных, или привлечение партнеров, кошек и других животных чтобы прижаться к нам холодной ночью. Более того, каждое наше движение посылает звуковые, инфразвуковые и ультразвуковые колебания: шаги ощущаются дождевыми червями и другими наземными существами; звуки одежды, трущейся о кожу, слышны летучим мышам, кошкам и собакам. Куда бы мы ни пошли, мы оставляем за собой физические следы – чешуйки кожи, волосы, пот, феромоны, – которые рассказывают миру вокруг нас о том состоянии, в котором мы были, когда покинули их. В любой момент времени мы транслируем наше присутствие, наши действия, наше поведение в окружающую среду через сложную сеть физических связей. И это не просто односторонняя связь: все, что мы можем знать о мире, происходит через физические взаимодействия. Специализированные сенсорные клетки преобразуют один тип энергии в другой, объединяя эти впечатления в модель окружающей нас среды. Мы поглощаем химические вещества в виде вкусов и запахов, обонятельные и вкусовые клетки вырабатывают электрохимические сигналы в реакция на их обнаружение. Наше чувство слуха основано на движении воздуха вокруг нашего тела, слуховые клетки вырабатывают электрохимические сигналы, когда воздух, колеблющийся в определенном диапазоне частот, воздействует на барабанную

перепонку. Мы видим, когда свет – будь то от солнца, или другого источника – отражается или преломляется через окружающие нас предметы, вызывая сигналы от светочувствительных клеток нашего глаза. Даже когда мы прикасаемся, ощущения, которые мы испытываем, являются результатом очень тесной связи с прикосновенной поверхностью. В самом реальном смысле мы становимся частью того, к чему прикасаемся, частью молекулы нашей кожи на мгновение становятся частью молекулярной структуры того, к чему прикасаются, передаваемая энергия стимулирует клетки, чувствительные к тем специфическим паттернам взаимодействия, которые мы научились называть давлением, температурой или текстурой. Окружающая среда – это не сцена, по которой мы движемся, а среда, в которую мы встроены. Это говорит нам, что мы являемся неотъемлемой частью места, в котором находимся, формируем нас, связываем, направляем и ограничиваем. Как воплощенные существа, мы можем понять, кто мы есть, только осознавая свою физическую природу; как «встроенные» существа, самопонимание может прийти только в том случае, если мы в равной степени осознаем наше физическое окружение. Концепция укорененности – что наша включенность в окружающую среду является неотъемлемой частью или характеристикой нашего «я» – означает, что то, кем мы являемся, тесно связано с тем, где мы находимся.

Окружающая среда может помочь выявить лучшее в людях, а понимание жизненной емкости природной среды может иметь существенное значение для раскрытия лучших качеств человека. Несмотря на демографические и региональные различия, люди наделены возможностями изменить мир к лучшему и быть уважаемыми, они заинтересованы в том, чтобы быть эффективными, и их усилия направляются их ментальными моделями. Иметь рядом природу, пусть и скромную по масштабам, может быть особенно полезным для компенсации некоторых последствий истощения ресурсов внимания, которые легко подрывают разумное поведение.

Исследование благополучия и удовлетворенности жизнью студентов и сотрудников Университета ИТМО на основе методики Е.В. Балацкого, проведенное в начале 2022 года, затрагивало анализ наличия зависимостей благополучия людей от наличия зеленых насаждений вблизи от их места жительства. Исследуя зависимость благополучия людей от расстояния их места жительства до зелёных насаждений (парки, аллеи и т. п.), обнаружено, что удовлетворённость некоторыми факторами снижается в зависимости от того насколько далеко расположены зелёные насаждения от места жительства респондентов. К данным факторам относится: «хорошее здоровье», «наличие хорошей экологии среды обитания», «наличие эффективных неформальных социальных контактов», «социальная стабильность, уверенность в будущем». Это говорит нам о зависимости удовлетворённости людей от зелёных насаждений и природы в целом. Для всех респондентов, проживающих на расстоянии от 100 до 2000 метров до зеленых насаждений категории «Здоровье», «Экология», «Карьера», «Финансы» имеют статус «достаточно важны». Но важно отметить, что для респондентов, проживающих на расстоянии более 2000 метров до зеленых насаждений категории «Социальные связи» и «Общественные связи» также приобретают статус «достаточно важны». Было замечено, что респонденты, рядом с домами которых находятся зеленые насаждения, дали более высокую оценку субъективного благополучия нежели чем респонденты, которые проживают в более чем 1000 метрах от зеленых насаждений. Данная зависимость наблюдается относительно всех факторов благополучия, что подтверждает гипотезу «человек и окружающая среда напрямую взаимосвязаны».

Чтобы в полной мере оценить наши тесные отношения с окружающей средой требуется радикальное переосмысление концепций, с которыми мы работаем, и развития более междисциплинарной работы между областями, которые наша культура научилась считать отдельными.

В условиях растущей обеспокоенности и дебатов в средствах массовой информации о быстром глобальном изменении климата и деградации экологии любое

внимание к «окружающей среде» может привести к защитному отстранению от бесконечных споров, обвинений в искажении информации и мошенничестве, а также общих предсказаний гибели. Привычки к профессиональной отстраненности или чувство перегрузки могут привести нас к позиции «это не моя забота» и более пристальному вниманию к нашей собственной области знаний. Но, если мы сможем заглянуть за пределы как сухих компьютерных моделей, так и слишком часто эмоционально манипулирующих призывов, мы могли бы увидеть общее дело.

Экологизм никогда не сводился только к потере мест обитания и вымиранию других видов – он фундаментально связан со всеми аспектами того, кто мы есть, индивидуально и коллективно. Благополучие требует здоровой окружающей среды, местной и глобальной, чтобы все люди были удовлетворены качеством своей жизни.

Литература

1. James K. Harter, Jim Harter, and Tom Rath Wellbeing: The Five Essential Elements. Gallup Press. 2010. 240 p.
2. Prüss-Üstün A, Corvalán C. Preventing Disease through Healthy Environments: Towards an Estimate of the Environmental Burden of Disease. – World Health Organization Press, 2006.
3. Nurse J, Basher D, Bone A, Bird W. An ecological approach to promoting population mental health and well-being: –A response to the challenge of climate change // Perspectives in Public Health. 2010. V. 130. P. 27–33.
4. Roszak T. The Voice of the Earth: An Exploration of Ecopsychology. New York: Touchstone Books. 1993. 154 p.

УДК 389.14

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА ДЛЯ ДВУХЛУЧЕВОГО АНАЛИЗАТОРА ФРЕОНОВ

А.М. Хамзина
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова
Университет ИТМО
e-mail: khamzina.am@gmail.com, marinakustikova@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИРМА №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

Аннотация
Все производимые в России и импортные устройства, основной функцией которых является определение величин, должны обязательно соответствовать определенным требованиям. Для обеспечения единообразия получаемых средствами измерений результатов необходимо проведение испытаний. В данной работе представлены этапы разработки программы испытаний в целях утверждения типа.
Ключевые слова
Программа испытаний, анализатор фреонов, утверждение типа, двухлучевой анализатор, средства измерений.

Средства измерений (СИ) подлежат обязательным испытаниям в целях подтверждения заявленных изготовителем метрологических характеристик и внесения этих средств измерений в государственный реестр средств измерений. Только аккредитованные в установленном порядке метрологические центры уполномочены проводить данные испытания. До начала процедуры разрабатывается программа испытаний, проект описания типа, методика поверки. На основании данных документов подтверждаются метрологические характеристики, указанные в заявке и выдается метрологический сертификат об утверждении типа средств измерений [1].

Программу испытаний в целях утверждения типа средств измерений составляет метрологический центр или сертифицированная лаборатория. Она включает в себя определение метрологических характеристик образцов средств измерений, представляемых на поверку и апробацию метода пропаривания.

Целью данного исследования является определение этапов создания программы испытаний в целях утверждения типа. Задачей является выявление структурных особенностей программы, определение принципов подбора испытаний и условий для их реализации, а также нормативно-правовое обоснование необходимости проведения испытаний. Актуальность работы обусловлена потребностью создания программы испытаний для нового прибора - цифрового анализатора фреонов.

Действующее законодательство определяет требования для всех средств измерений, за счет чего достигается единообразие получаемых результатов. Поэтому помимо предоставления самого образца необходимо также доставить в лабораторию документы, необходимые для поверки средств измерений. Среди них: руководство по эксплуатации, доверенность от производителя, декларация программного обеспечения (ПО), разрешительные документы, выданных на оборудование. Для российских производителей также требуются технические условия и паспорт.

В начале разработки программы испытаний средства измерения в целях утверждения типа описывается объект испытаний, приводятся его характеристики, информация об изготовителе и сведения о заявителе.

Газоанализаторы фреонов используются для измерения массовой концентрации вещества, в данном случае фреонов или хладонов, например, хладона 12, хладона 22, хладона 134а, хладона 407с, хладона 410а в воздухе. Газоанализаторы обеспечивают измерение содержания определяемого компонента и вывод измерительной информации. Газоанализаторы чаще всего являются стационарными одноканальными одноблочными приборами непрерывного действия. Принципы и методы измерений газоанализаторов могут отличаться. Существуют оптико-абсорбционный метод, работающий за счёт поглощения газом инфракрасного излучения, инфракрасный метод спектроскопии, который может быть с датчиком интегрированной температурной компенсацией, или метод комбинационного рассеяния.

Современные газоанализаторы совмещены с сервисным программным обеспечением для персонального компьютера, чтобы обеспечивать вывод измерительной информации на компьютер, или, например, корректировку показаний. При нормировании метрологических характеристик газоанализаторов учитывается состояние программного.

Среди технических характеристик выделяют такие как: параметры сети электрического питания, условия эксплуатации, потребляемая мощность, габариты прибора и его масса, срок службы, средняя наработка на отказ. Помимо них в заявке должны быть также метрологические и технические характеристики. В таблице представлены некоторые характеристики для типичного стационарного газоанализатора хладонов [2].

Таблица

Диапазоны измерений, пределы допускаемых абсолютной и относительной погрешностей газоанализаторов

Определяемый компонент	Диапазон измерений, мг/м^3	Пределы допускаемой основной погрешности	
		абсолютной, мг/м^3	относительной, %
Фреон R12, Фреон R22	0-10000	± 500	-
		-	± 25
Фреон R134a, Фреон R410a	0-5000	± 500	-
		-	± 25
Фреон R407c	0-2500	± 200	–
		–	± 20

К прочим метрологическим характеристиками относятся пределы допускаемого времени установления показаний (обычно не более 300 секунд), время прогрева газоанализаторов (около 60 секунд) и другие. На основании метрологических характеристик в дальнейшем проводятся расчеты для различных целей и нужд, которые вследствие являются определяющими при выборе оптимального средства измерения.

Вторым этапом программы испытаний в целях утверждения типа является определение содержания и объема испытаний. Также в данном разделе указываются сведения об испытательном оборудовании и эталонах, производится проверка технических и эксплуатационных документов, представленных заявителем, определяются метрологические, технические характеристики средства измерений, учитывая показатели точности, выполняются проверка диапазона измерений и определение абсолютной погрешности в режиме измерений температуры и другие.

Далее проводится оценка защиты и идентификация программного обеспечения по Р 50.2.077-2014 ГСИ. Низкий уровень защиты ПО СИ означает, что не используются никакие специальные средства защиты от преднамеренных изменений. Если же программное обеспечение защищено от преднамеренных изменений с помощью простых программных средств, а также паролей, то это говорит о среднем уровне защиты ПО. Высокий уровень защиты ПО присваивается СИ в случае, если программное обеспечение защищено от преднамеренных изменений с помощью специальных программных средств (программы-отладчики и редакторы жесткого диска, средства программной разработки) [3].

Вслед за оценкой защиты определяется интервал между поверками средства измерений. Процесс определения интервалов представляет собой математический и статистический процесс, требующий точных и достаточных данных, полученных в процессе поверки. Не существует универсально применимой единственной передовой методики для установления и корректировки интервалов поверки. На данный момент ни один метод идеально подходит для всего спектра измерительных приборов, поэтому рекомендуемый интервал должен учитывать данные по итогам периодической поверки.

Наиболее подходящим интервалом для газоанализаторов принято считать тот, что соответствует нормированным показателям надежности, исходя из риска использования средства измерения с погрешностью, превышающую допустимую. Интервал между поверками определяется расчетным методом по нормированным характеристикам надежности (средняя наработка на отказ) по методике приложения А РМГ 74-2004 о методах определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.

На завершающем этапе программы испытаний проводится анализ конструкции измерителей, изготовленных на различных производственных площадках, чтобы была обеспечена доступность всех частей СИ. Данный процесс проводится для того, чтобы предотвратить риски искажения результатов измерений вследствие незапланированного вмешательства в конструкцию СИ. Затем проверяется наличие заводских номеров, позволяющих идентифицировать каждый экземпляр средства измерений, на нахождение места, формата и способа нанесения номера, что важно с точки зрения возможности прочтения и устойчивости номера к внешним факторам воздействия в процессе эксплуатации средства измерений. Затем проводится поиск подходящего и хорошо просматриваемого места на поверхности прибора для нанесения знака утверждения типа и знака поверки в местах.

Все этапы обозначаются в программе испытаний последовательно с приложениями таблиц и формул для расчетов, затем проверяются и подписываются руководителем научно-исследовательской лаборатории, в которой проводились испытания, и инженером. После этого заказчик получает техническую документацию на средство измерений и полный проект описания типа средств измерений.

Результаты данной статьи, подробно описывающей каждый этап программы испытаний, потребуются для создания программы испытаний нового цифрового анализатора фреонов после завершения всех лабораторных тестов и технологических процессов построения прибора.

Литература

1. Приказ Минпромторга России N 2905. Порядок проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа. Введен 28.08.2020. Доступ из информационно-правового портала «Гарант».
2. ИБЯЛ.413326.015 ТУ Газоанализаторы фреонов КГС-Ф-01А. Технические условия [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.analitpribor-smolensk.ru/products/pribory-tehnologicheskogo-kontrolya/pribory/kgs_f_01a/ (дата обращения: 18.04.2022).
3. Р 50.2.077-2014 ГСИ. «Испытания средств измерений в целях утверждения типа. Проверка защиты программного обеспечения». Введен 01.10.2014. Доступ из информационно-правового портала «Кодекс».

УДК 631.95:658.5

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА В БИОЭТАНОЛ

М.А. Царькова
Научный руководитель – к.э.н., доцент М.Н. Григорьев
Санкт-Петербургский государственный экономический университет
e-mail: tsarkovamary@gmail.com

Аннотация
Статья посвящена проблемам переработки отходов животноводства (навоза/помёта) и технологии получения биоэтанола из них. Здесь рассмотрены существующие способы утилизации отходов, их достоинства и недостатки, предложена переработка отходов в биоэтанол, используемый как присадка к топливу. Предложенная технология проанализирована с точки зрения экономического и экологического эффектов.
Ключевые слова
Биотопливо, биоэтанол, животноводство, экология, отходы, утилизация, выбросы, переработка, навоз.

Введение

Проблемы загрязнения окружающей среды в последнее время волнует всё больше и больше государств, что подтверждается разработанными Генеральной ассамблеей ООН целями устойчивого развития (ЦУР). Россия, как одно из государств-членов ООН, участвовала в разработке данных целей, а сейчас несёт ответственность за их достижение. Одной из ЦУР является «Обеспечение доступа к недорогостоящим, надёжным, устойчивым и современным источникам энергии для всех», которая заключается в том, чтобы расширить инфраструктуру и модернизировать технологии для обеспечения чистой, более эффективной энергетики, стимулировать рост и способствовать охране окружающей среды во всех странах [1]. Исходя из этого, мы провели социо-эколого-экономический анализ источников энергии, которые направлены на достижение этой цели и выяснили, что на данный момент в основном такими источниками являются сол,нечная и ветровая энергии. Действительно, данные источники энергии являются карбононейтральными, однако техника и средства, на основе которых они производятся, нет. Более того, не учитывается тот факт, что всё больше вырастает проблема утилизации и переработки отходов, которая возникает в результате увеличения численности населения, в частности, увеличения поголовья животных для обеспечения продуктами питания всё возрастающего населения Земли. Одним из перспективных решений данной проблемы, на наш взгляд, является разработка и внедрение технологии переработки отходов животноводства в биоэтанол, о чём мы и поговорим дальше.

Основная часть

В связи с ростом населения, возрастающие объёмы производства в выбранной области влекут за собой соответствующий объём отходов (навоза, помёта), которые относятся, в основном, к III классу опасности (умеренно-опасный) и по большей части отправляются на полигоны, где ежегодно с одного захоронения в атмосферу выбрасывается 1 047,046679 тонн метана в год (данные на 04.03.2021). Помимо метана отходами выделяется огромное количество других вредных веществ: аммиак, углерода диоксид, диметилсульфид и др. Сам процесс высушивания, упаковки, доставки и захоронения помёта требует значительных финансовых вложений со стороны

производителя. В связи с чем, часто навоз/помёт отправляют на нелегальные свалки, что помимо парниковых газов, вызывает опасность заражения почв. Более того, обычно утилизация навоза проводится недалеко от ферм, что дополнительно приводит к окислению почв, отчуждению сельскохозяйственных земель, загрязнению грунтовых вод, выбросам в атмосферу парниковых газов. Всё это крайне негативно сказывается на экологической обстановке.

На сегодняшний день в мировой практике выделяют 4 легальных способа утилизации навоза/помёта: захоронение на полигонах, компостирование, переработка в корм и биоэнергетический метод (получение метана).

Первый метод, который мы рассмотрим – вывоз отходов на поля. Недостатков у него в разы больше, чем достоинств. Во-первых, транспортировка большого количества навоза требует немалых финансовых затрат. Во-вторых, при таком способе в почву и грунтовые воды попадают токсины, бактерии, возбудители различных заболеваний, семена сорняков, в самих же растениях накапливаются нитраты, цинк и медь. Несмотря на все недостатки, вывоз на поля остаётся достаточно популярным методом утилизации, так как является самым простым, а в случае использования нелегальных свалок ещё и бюджетным.

Метод компостирования делится на естественное и ускоренное. Слабой стороной естественного компостирования является долгий процесс, занимающий от 4 месяцев и более. Метод компостирования имеет преимущество – он обогащает грунт без какого-либо вреда для него. Однако для получения такого удобрения требуется выделять огромные участки земли, так как отходы животноводства необходимо складировать, подготавливать сырьё, которое будет использоваться для снижения уровня влажности массы (это может быть солома, растения), закупать дорогостоящую технику для автоматизации и ускорения процесса, что несёт в себе большие затраты. Более того подобные удобрения пользуются достаточным спросом в основном в южных регионах страны, где климат позволяет выращивать достаточно культур. На севере, например, в Ленинградской области, земель, предназначенных для растениеводства значительно меньше, чем будет производиться компоста от животноводческих хозяйств.

Метод получения корма из помёта. В развитых западных странах такой метод оказался не особенно популярны, для балансирования питательности там имеется большое количество сои, продуктов её переработки (белок) и кукурузы (энергия). В России эти культуры растут плохо и далеко не везде, поэтому применение помёта для обогащения рациона крупного рогатого скота белком на сегодняшний день очень актуально. Однако для такой подкормки использовать можно в основном помёт, что не решает проблем с утилизацией навоза. Также ограничен и круг потребителей: ими смогут быть только мясокомбинаты, выращивающие бычков и производящие говядину, для производителей молочной продукции такие корма будут не нужны. Более того, в процессе производства такого корма выделяется дурно пахнущий газ, что создаёт дополнительные проблемы с расположением и обустройством производства.

Биоэнергетический метод основан на применении биогазовых установок. Недостатками такого способа являются значительные денежные вложения на первых этапах, а также необходимость сотрудничества нескольких предприятий для организации совместной переработки отходов.

Предлагаемое решение

Технология получения биоэтанола из отходов животноводства является совершенно инновационной, в производственных целях она пока нигде не применяется. Для переработки навоза и помёта требуются такие компоненты как: серная кислота, тёртый мел, вода, сахар и дрожжи. Растительный биоэтанол производится из крахмалосодержащих и сахаросодержащих сельскохозяйственных культур (сахарный тростник, свёкла, кукуруза, картофель и др.). При производстве биоэтанола из

навоза/помёта также сохраняется необходимая концентрация крахмала и/или сахара, так как эти продукты входят в рацион скота. Основными отходами производства будут являться углекислый газ и барда (сухой остаток), которые можно утилизировать комплексом по переработке CO2 и продажей барды как удобрения для фермеров. Следовательно, мы выходим на практически безотходное производство и получаем возможность торговать карбоновыми кредитами на мировом рынке [2, с. 2].

Рассмотрим поставщиков и потребителей продукции. Поставщиками сырья будут являться предприятия животноводческого комплекса, которые есть в каждом регионе Российской Федерации. Потенциальными потребителями же будут:

Во-первых, энергетические компании, которым в ближайшем будущем необходимо перейти на производство более экологичного вида топлива, уходя от исчерпаемых источников энергии. Такие компании смогут смешивать биоэтанол с бензином в различной концентрации и, в дальнейшем, поставлять его на автозаправочные станции (АЗС). На данный момент при использовании топлива E10 (90% бензина и 10% биоэтанола) двигатель внутреннего сгорания (ДВС) обычных автомобилей не требует модификаций, в отличие от перехода, например, на газ. А в США, Европе и Бразилии уже распространены автомобили FFV (Flexible-Fuel Vehicle), в которых можно использовать бензин с любой концентрацией биоэтанола (самым популярным и энергоэффективные является E85).

Во-вторых, нашим продуктом заинтересуются химические, фармацевтические, пищевые и другие компании, где используется технический спирт. Только фармацевтических компаний в одном Санкт-Петербурге насчитывается более 20 (НПАО «Биокад», ООО «Инмед», НПАО «Фарм-Холдинг» и др.).

Расположить предприятие планируется в особой экономической зоне (ОЭЗ) технико-внедренческого или промышленно-производственного характера, которые имеются во многих регионах России. Это позволит облегчить выход на рынок за счёт применения различных налоговых преференций (налог на прибыль, имущество, транспортный, земельный налоги, страховые взносы и т. п.).

Экономическая эффективность

Пожалуй, одной из важнейших составляющих любого проекта является его экономическая эффективность. Во сколько обойдётся реализация идеи, окупиться ли она, где взять инвестиции и т. п. Поэтому ниже мы представляем подробные расчёты, сделанные по нашему предприятию за первые 3 года его работы (расчёты проводились до 24 февраля 2022 года).

В 2024–2025 годах будет происходить строительство завода, поэтому прибыль мы получать не будем. В первой половине 2026 завод будет сдаваться различным инспекциям (газ-, электро-, саннадзор и др.). С июня 2026 планируется запустить производство, однако выход на полные мощности (1 000 000 тонн биоэтанола в год) будет происходить постепенно (с июня по сентябрь). В сентябре, в случае нормальной работы оборудования, завод выйдет на полную мощность. Ниже, на рис. 1, рис. 2, рис. 3, можно ознакомиться с результатами расчётов.

Итак, мы видим, что суммарные затраты за 3 года составят 23 623 946 701 рубль. Доход компании будет складываться от 5 позиций: присадка к топливу, технический спирт, удобрения, карбоновые кредиты, патенты. Рассмотрим каждую из позиций отдельно.

На сегодняшний день, биоэтанол стоит от 0,5 до 0,8 долл. США за литр. В своих расчётах мы будем использовать цену 0,8 долл. США за литр (по курсу 1 долл. США = 77,8936 рублей, цена будет равняться – 62,3149 рублей), ниже объясняем, почему:

1. Проанализировав различные источники, мы пришли к выводу, что цены на биоэтанол постоянно растут.

2. Растут и цены на нефть, что является крайне выгодным для производителей экологичных видов топлива.

2. Ужесточаются мировые требования в сфере экологии.

3. Технологии производства биоэтанола постоянно улучшаются, и такой «усовершенствованный» биоэтанол по разным оценкам вскоре будет стоить от 1,04 до 1,45 долл. США за литр.

Поэтому логично предположить, что к моменту постройки и запуска завода (середина 2026 года), цена на биоэтанол значительно вырастет и скорее всего будет даже выше 0,8 долл. США.

	Движения денег (руб)	янв.24	фев.24	мар.24	апр.24	май.24	июн.24	июл.24	авг.24	сен.24	окт.24	ноя.24	дек.24	Итого
+	Входящее сальдо	1 000 000	1 804 557	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267
+	**Поступления:**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
+	Продажа биотоплива	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа технического спирта	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа удобрения	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа карбоновых кредитов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа патентов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	**Платежи:**	349 195 443	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	346 186 733	4 157 249 510
-	Постройка завода	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	4 147 040 800
-	Маркетинг	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Логистические затраты	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Покупка оборудования	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Зарплата сотрудников предприятия	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	1 200 000
-	Покупка исходного сырья	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Покупка хим. препаратов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Амортизация	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Аренда земли	3 008 710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 008 710
-	Прочее	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	6 000 000
+	**Финансирование:**	351 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	4 201 000 000
+	Собственные средства	1 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000 000
+	Внешние инвестиции	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	4 200 000 000
	Итого оборот за период	1 804 557	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	43 750 490
	Сальдо на конец периода	1 804 557	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	3 813 267	43 750 490

Рис. 1. Финансовый план на 2024 год

	Движения денег (руб)	янв.25	фев.25	мар.25	апр.25	май.25	июн.25	июл.25	авг.25	сен.25	окт.25	ноя.25	дек.25	Итого
+	Входящее сальдо	353 000 000	3 804 557	3 813 267	3 813 267	3 813 267	21 464 812	21 464 812	21 464 812	11 564 812	11 564 812	11 458 145	11 458 145	11 398 145
+	**Поступления:**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
+	Продажа биотоплива	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа технического спирта	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа удобрения	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа карбоновых кредитов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
+	Продажа патентов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	**Платежи:**	**349 195 443**	**346 186 733**	**346 186 733**	**346 186 733**	**4 808 535 188**	**4 808 535 188**	**4 808 535 188**	**4 818 435 188**	**4 818 435 188**	**4 818 541 855**	**4 818 541 855**	**4 818 601 855**	**39 905 917 150**
-	Постройка завода	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	4 147 040 800
-	Маркетинг	-	-	-	-	-	-	-	-	-	106 667	106 667	166 667	380 000
-	Логистические затраты	-	-	-	-	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	16 000 000
-	Покупка оборудования	-	-	-	-	4 460 348 455	4 460 348 455	4 460 348 455	4 460 348 455	4 460 348 455	4 460 348 455	4 460 348 455	4 460 348 455	35 682 787 640
-	Зарплата сотрудников предприятия	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	10 000 000	10 000 000	10 000 000	10 000 000	10 000 000	50 700 000
-	Покупка исходного сырья	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Покупка хим. препаратов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Амортизация	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
-	Аренда земли	3 008 710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 008 710
-	Прочее	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	6 000 000
+	**Финансирование:**	353 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	40 043 000 000
+	Собственные средства	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	Внешние инвестиции	353 000 000	350 000 000	350 000 000	350 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	4 830 000 000	40 043 000 000
	Итого оборот за период	3 804 557	3 813 267	3 813 267	3 813 267	21 464 812	21 464 812	21 464 812	11 564 812	11 564 812	11 458 145	11 458 145	11 398 145	137 082 850
	Сальдо на конец периода	3 804 557	3 813 267	3 813 267	3 813 267	21 464 812	21 464 812	21 464 812	11 564 812	11 564 812	11 458 145	11 458 145	11 398 145	137 082 850

Рис. 2. Финансовый план на 2025 год

	Движения денег (руб)	янв.26	фев.26	мар.26	апр.26	май.26	июн.26	июл.26	авг.26	сен.26	окт.26	ноя.26	дек.26	Итого
+	Входящее сальдо	4 825 000 000	3 556 102	395 241	1 393 696	1 393 696	1 393 696	1 329 214	1 192 205 195	2 959 422 515	7 725 552 549	7 725 552 549	7 725 552 549	7 725 552 549
+	**Поступления:**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**2 652 325 980**	**4 420 543 301**	**8 841 086 601**	**8 841 086 601**	**8 841 086 601**	**8 841 086 601**	**42 437 215 686**
+	Продажа биотоплива	-	-	-	-	-	-	1 069 128 186	1 781 880 310	3 563 760 621	3 563 760 621	3 563 760 621	3 563 760 621	17 106 050 980
+	Продажа технического спирта	-	-	-	-	-	-	458 197 794	763 662 990	1 527 325 980	1 527 325 980	1 527 325 980	1 527 325 980	7 331 164 706
+	Продажа удобрения	-	-	-	-	-	-	1 125 000 000	1 875 000 000	3 750 000 000	3 750 000 000	3 750 000 000	3 750 000 000	18 000 000 000
+	Продажа карбоновых кредитов	-	-	-	-	-	-							0
+	Продажа патентов	-	-	-	-	-	-							0
-	**Платежи:**	**4 821 443 898**	**4 855 604 759**	**393 606 304**	**393 606 304**	**393 606 304**	**1 461 670 786**	**1 461 120 786**	**1 461 120 786**	**1 115 534 052**	**1 115 534 052**	**1 115 534 052**	**1 115 534 052**	**19 703 916 136**
-	Постройка завода	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	345 586 733	-	-	-	-	2 764 693 867
-	Маркетинг	-	-	-	-	-	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	700 000
-	Логистические затраты	2 000 000	2 000 000	-	-	-	155 961 749	155 961 749	155 961 749	155 961 749	155 961 749	155 961 749	155 961 749	1 095 732 246
-	Покупка оборудования	4 460 348 455	4 460 348 455	350 000	350 000	350 000	350 000	-	-	-	-	-	-	8 922 096 910
-	Зарплата сотрудников предприятия	10 000 000	10 000 000	10 000 000	10 000 000	10 000 000	15 000 000	15 000 000	15 000 000	15 000 000	15 000 000	15 000 000	15 000 000	155 000 000
-	Покупка исходного сырья	-	-	-	-	-	5 080 464	5 080 464	5 080 464	5 080 464	5 080 464	5 080 464	5 080 464	35 563 246
-	Покупка хим. препаратов	-	-	-	-	-	901 922 269	901 922 269	901 922 269	901 922 269	901 922 269	901 922 269	901 922 269	6 313 455 883
-	Амортизация	-	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	37 169 570	408 865 274
-	Аренда земли	3 008 710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 008 710
-	Прочее	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	300 000	300 000	300 000	300 000	300 000	300 000	4 800 000
+	**Финансирование:**	**4 825 000 000**	**4 856 000 000**	**395 000 000**	**395 000 000**	**395 000 000**	**1 463 000 000**	**1 000 000**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**12 330 000 000**
+	Собственные средства	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	Внешние инвестиции	4 825 000 000	4 856 000 000	395 000 000	395 000 000	395 000 000	1 463 000 000	1 000 000	0	0	0	0	0	12 330 000 000
	Итого оборот за период	3 556 102	395 241	1 393 696	1 393 696	1 393 696	1 329 214	1 192 205 195	2 959 422 515	7 725 552 549	7 725 552 549	7 725 552 549	7 725 552 549	35 063 299 551
	Сальдо на конец периода	3 556 102	395 241	1 393 696	1 393 696	1 393 696	1 329 214	1 192 205 195	2 959 422 515	7 725 552 549	7 725 552 549	7 725 552 549	7 725 552 549	35 063 299 551

Рис. 3. Финансовый план на 2026 год

Наш завод имеет мощность в 1 000 000 тонн биоэтанола в год. Выход на полную мощность планируется только в сентябре 2026 года, т. е. примерно через 3–4 месяца от начала функционирования завода. Полученный биоэтанол будет продаваться по двум направлениям: присадка к топливу и технический спирт. Точное распределение этанола между этими двумя направлениями будет сделано как раз в эти 3–4 месяца стартового функционирования, когда станет ясным спрос на каждую позицию.

Дополнительным источником прибыли будет барда (сухой остаток). Для расчёта количества барды была проведена аналогия с производством браги (вида домашнего пива), при производстве которого примерно 30% исходного объёма браги будет занимать барда. Логично предположить, что и на нашем производстве будет соблюдена такая пропорция. Следовательно, в год мы будем получать примерно 300 000 тонн барды, которую можно продавать как удобрение. Рыночная цена на удобрения из помёта/навоза составляет примерно 150 рублей за кг. Таким образом, в месяц мы сможем получить: 300 000 * 1000 (переводим в кг) / 12 месяцев * 150 рублей = 3 750 000 000 рублей дополнительного дохода.

Что же касается углеродных кредитов и патентов, то сейчас трудно предсказать, сколько можно на них заработать. И одни, и другие зависят от спроса на рынке, успеха функционирования нашего предприятия, политической, экономической обстановок и других факторов.

Таким образом, за год работы на полных мощностях мы сможем заработать 106 093 039 216 рублей без учёта карбоновых кредитов и патентов. Годовые затраты в обычное время (после окончания строительства и ремонтов) будут составлять примерно 13 386 408 630 рублей. Следовательно, приблизительный объём прибыли будет: 106 093 039 216–13 386 408 630 = 92 706 630 586 рублей. Осталось узнать, за сколько лет сможет окупиться наше предприятие.

Суммарные инвестиции за три года получились равными 20 373 000 000 рублей (4 201 000 000 рублей за первый год, 11 868 000 000 за второй год и 4 304 000 000 за третий год). В написании сумм инвестиций нами брался небольшой зазор, в зависимости от операций, проводимых в этот год. Он нужен на случай непредвиденных расходов, которые на данном этапе проработки проекта учесть не удалось. Например, мы не знаем точных базисных условий поставок оборудования, не знаем к каким ценовым предложениям мы сможем прийти с поставщиками сырья, что-то могли не учесть в

строительстве завода, так как это будет отдельно проговариваться и просчитываться с ген. подрядчиком и т. п.

Итак, после анализа суммарных инвестиций и прибыли, можно сказать, что при благоприятной обстановке наше предприятие окупиться за 2–3 года своей работы.

Развивать проект планируется через государственно-частное партнёрство (ГЧП), с привлечением как региона и государства в целом, так и частных инвесторов. Более того, в связи с инновационностью проекта, решением большого количества экологических проблем, достижением ЦУР проект может претендовать на гранты (молодые предприниматели, зелёная экономика и др.), венчурные фонды, выгодные кредиты и просто участие на краудфандинговых платформах.

Достоинства и уникальность

Мы видим, что проект получился достаточно дорогостоящим, поэтому для привлечения таких больших инвестиций придётся хорошо обосновать эффективность проекта. Для этого рассмотрим основные преимущества от внедрения нашей технологии:

1. Для использования топливной смеси биоэтанола и бензина Е10 не нужно менять ДВС и делать какие-либо модификации в автомобиле, как, например, при переходе на газ или электроэнергию. Подробнее это можно увидеть в таблице ниже, столбец 3 [3].

Таблица

Необходимые модификации в автомобиле при использовании топлива с добавлением биоэтанола [3]

%	Правовые ограничения	Изменения в автомобиле	Логистика	Где применяется
До 5	Нет	Нет	Нет	ЕС, США
5-10	Да	Нет	Нет	США
10-25	Да	Да	Нет	Бразилия
Е85	Нет	Да	Особый насос	ЕС, США
Е100	Нет	Да	Особый насос	Бразилия

2. Благодаря более высокому соотношению местных продуктов и реагентов, при сжигании спирта давление в ДВС получается бóльшим, чем при сжигании бензина. Также улучшаются выходная мощность и тепловой КПД. Спирты обладают более высоким средним октановым числом чем бензин, поэтому могут значительно повышать мощность. В целом общая энергоэффективность топлива улучшается.

3. Снижение импортной зависимости от поставок нефти в результате использования альтернативного топлива.

4. Возможность накапливать и продавать карбоновые кредиты.

5. Поскольку спирты легко смешиваются водой, могут смываться ею, распадаются при попадании в землю, то их утечки и разливы из танкеров не так опасны для природы.

6. Биоэтанол обладает положительным энергетическим балансом, который колеблется от 1,24 до 8 в зависимости от используемого вида сырья. Сжигая этанол, мы получаем в несколько раз больше энергии, чем затратили на его производство. По этому показателю биоэтанол сильно опережает дизель, бензин и прочие нефтяные продукты, которые требуют на себя такие расходы как: разведка, добыча, транспортировка, переработка. Всё это понижает их топливный баланс, делая его ниже 1.

7. В результате перехода на биоэтанол количество твёрдых частиц в цикле с горячим стартом снижается на 96–97%, уменьшаются выбросы угарного газа на 81% с топливом Е10 и на 87% со смесью Е85, а также углекислого газа на 13 и 17%

соответственно. В целом токсичность выхлопа снижается на 72 и 83%, а количество выбросов парниковых газов на 85%, что безусловно способствует улучшению экологической обстановки. [4]

8. Для производства растительного биоэтанола требуются огромные плантации. Это приводит к дополнительным проблемам. Так, в Бразилии вырубаются леса Амазонки для выращивания там сахарного тростника, а в США кукуруза выращивается теперь в основном для промышленных целей, так как фермерам выгоднее продавать её на топливо. Несмотря на то, что многие люди испытывают голод, растительная продукция идёт на топливо. Биоэтанол животного происхождения производится из практически не нужного сырья, для которого не требуются огромные плантации.

9. Поскольку для получения растительного биоэтанола требуется выращивать сырьё, платить за дорогостоящую технику, рабочий труд, то конечный продукт получается не сильно дешевле бензина, а иногда даже дороже. Животный же биоэтанол не требует таких энерго- и денежных затрат, поэтому получается дешевле.

10. Растительный биоэтанол сильно зависит от погодных условий и урожая. Случалось так, что при низком урожае или росте цен на сахар в Бразилии просто нечем было заправлять машины, практически все из которых уже работают на биоэтаноле. Более того, самые энерго- и экономически выгодные растения, используемые для создания биоэтанола (богатые сахаром и крахмалом), а именно сахарный тростник и кукуруза, в России просто не будут расти из-за сурового климата.

11. Во время выращивания растений для биоэтанола выбросов CO_2 образуется примерно столько же, сколько экономится на переходе с бензина на биоэтанол, а, следовательно, это теряет всякий смысл.

Таким образом, преимуществ от использования биоэтанола и нашей технологии, в частности, много. Именно поэтому в мире в топливной промышленности уже давно применяется смесь этанола с бензином (правда исключительно растительного происхождения). Этот опыт я и предлагаю сейчас рассмотреть.

Опыт применения

На сегодняшний день лидерами в производстве биоэтанола являются Бразилия и США. Толчком к развитию спиртовых автомобилей стал нефтяной кризис 70-х годов прошлого века. В Бразилии было принято решение получать биоэтанол из сахарного тростника, что оказалось очень выгодным, так как тростник является одной из самых «калорийных» культур, пригодных для производства биотоплива. Один гектар тростникового поля можно переработать в 7 тыс. литров биоэтанола.

В США же пошли другим путём, там этанол получают из кукурузы, что является гораздо менее эффективным. Энергетический баланс такого топлива в 7 раз уступает бразильскому. С гектара кукурузного поля можно получить только 3800 литров этанола. В ЕС производство этанола ещё менее выгодно. Здесь в переработку идёт сахарная свёкла, из которой можно получить лишь 2500 литров топлива. Поэтому в США и ЕС проекты по добыче биоэтанола субсидируются государством, в отличие от Бразилии, где всё является самоокупаемым. [5]

Что касается России, то в ноябре 2018 Госдумой были приняты поправки в Федеральный закон «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции». Теперь действие закона о госрегулировании производства и оборота этилового спирта не будет распространяться на производство и (или) оборот автобензина, произведенного с добавлением этилового спирта или спиртосодержащей продукции и соответствующего топливному техрегламенту Таможенного союза.

Данный закон подтолкнул многие регионы к началу производства биоэтанола. Так, подобные предприятия начали открываться в: Саратове, Курске, Воронеже, Брянске, Уфе и других регионах.

Однако раньше всех производство открыла Северная Осетия, где в больших объёмах производилась водочная продукция. Дело в том, что после отказа Росалкогольрегулирования продлевать лицензии алкогольным предприятиям Северной Осетии, многие из них прекратили своё существование. Так появилась идея перепрофилировать простаивающие заводы на производство биоэтанола, которые уже тогда показывал устойчивую положительную динамику на мировом рынке.

У всех подобных проектов возникает ряд проблем. Во-первых, для производства растительного биоэтанола потребуются излишки зерна, иначе производства будут попросту простаивать, как, например, происходит в Европе, где биоэтанол производят из нереализованных остатков растительного масла или зерна. Для выращивания таких объёмов зерна придётся значительно увеличить посевные площади.

Во-вторых, в России более актуальны другие способы глубокой переработки зерна, например, получение растительных пищевых протеинов, которые по свойствам ближе к мясу, чем протеины из сои или кормовых добавок для животноводства.

В-третьих, издержки такого производства будут очень высокими, так как зерно нужно сеять, выращивать, собирать, доставлять, перерабатывать и т. д. В результате может оказаться, что с точки зрения карбонового следа производство солярки из нефти окажется даже более экологичным, чем производство биоэтанола из зерна.

С другой стороны, в России сейчас крайне благоприятные условия для налаживания производства биоэтанола (особенно животного). При установившей с октября 2021 года цене нефти выше $80 за баррель спонсирование выпуска биоэтанола в России становится особенно привлекательным для инвесторов. Более того, биоэтанол находится под действием акциза, что обесценивает его конкуренцию с бензином. Также в России много простаивающих мощностей алкогольной индустрии (в 2018 г. выпуск водки сократился на 1,6%), которые теоретически можно переориентировать на производство биоэтанола для заправки автомобилей.

Выводы

Итак, мы видим, что проект является достаточно перспективным как с точки зрения экологии, так и экономики. Сложившаяся за последние несколько лет ситуация на рынке делает его ещё более выгодным как для России, так и для мира в целом. Внедрение технологии особенно будет актуально для стран Прибалтики (Эстония, Латвия, Литва). Эти страны не имеют достаточных мощностей для улучшения своей окружающей среды и Евросоюза (ЕС), однако из-за нахождения в ЕС к ним предъявляются те же требования, что и к более развитым странам (Германия, Франция), поэтому применение нашей технологии будет полезно для них. Благодаря экологизации производства и минимизации выбросов, располагать предприятие можно и вблизи городов, поэтому больших проблем с переносом наших технологий на опыт других стран не будет.

Сейчас мы заканчиваем проработку идеи и начинаем искать инвестиции, путём участия в различных конкурсах и акселераторах (Сколково, Сбер и др.), технологией уже заинтересовалась компания АО «Роскар» во время Фабрики студенческих проектов. Подробнее о проекте можно узнать на нашем сайте (http://fermrecycling.tilda.ws).

Литература

1. Цель 7: доступная и чистая энергия [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www. undp.org/ sustainable- development- goals#affordable-and-clean-energy, свободный (дата обращения: 23.02.2022).
2. Чачина С. Б. Получение биоэтанола из органического сырья/ Чачина С.Б., Двоян А.В. // Омский научный вестник. 2014. №2. С. 2
3. Спирт с бензином в бак: спирт в бензобак, можно ли заливать, какие последствия [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://chip-penza.ru/raznoe/spirt-s-benzinom-

v-bak-spirt-v-benzobak-mozhno-li-zalivat-kakie-posledstviya.html (Дата обращения 10.10.2021 г.).
4. Добавление спирта в бензин снижает токсичность «непосредственных» моторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://autoreview.ru/news/dobavlenie-spirta-v-benzin-snizhaet-toksichnost-neposredstvennyh-motorov (Дата обращения 15.10.2021 г.).
5. Реализация этанолового проекта в Бразилии [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mirec.mgimo.ru/2015/2015-01/realizaciya-etanolovogo-proekta-v-brazilii (Дата обращения 17.10.2021 г.).

УДК 574.635

МЕТОД ОЧИСТКИ ВОДОЁМОВ С ПОМОЩЬЮ БИОФИЛЬТРА

К.Д. Шашин[1], М.В. Шипилова[1], А.В. Урецкая[1], А.М. Коврижных[2]
Научный руководитель – учитель физики Е.В. Владимирская[1]
1 – ГБОУ СОШ №534, Выборгский район Санкт-Петербурга
2 – ГБОУ СОШ №464, Пушкинский район Санкт-Петербурга
e-mail: konstshashin@gmail.com

Аннотация. В данной статье дано описание и способ применения нового природного биофильтра. В предложенном устройстве используется способность пресноводных двустворчатых моллюсков фильтровать воду. В статье подробно описывается механизм фильтрации дрейссен, эксперименты, проведенные авторами статьи в лаборатории, и предлагается способ применения данного метода в естественных водоемах. Установка, предложенная авторами статьи, сможет решить проблему очистки воды естественных водоемов без применения сложных фильтров. Как правило, существует проблема замены и утилизации фильтрующих устройств. В данной установке эта проблема отсутствует.
Ключевые слова
Биофильтр, очистка воды, дрейссены, водоемы, биологическое загрязнение.

Введение. Актуальность

В наше время остро стоит проблема загрязнения водоёмов различными организмами такими как планктон и фитопланктон, в следствие чего ухудшаются органолиптические качества воды (запах цвет), качество дна, а также размер и количество рыбы. Что негативно влияет на население находящиеся рядом, т.к. они не могут купаться, рыбачить, а иногда и находится рядом с плохо пахнущей водой.

Цель – разработать эффективный и безопасный метод очистки водоемов от взвешенной в воде органики.

Для выполнения поставленной цели мы выбрали моллюсков фильтраторов в качестве биофильтра, а именно дрейссену речную (лат. Dreissena polymorpha) так как она быстро размножается, неприхотлива к условиям и имеет высокую скорость фильтрации (10 л/сутки/особь), однако в использовании данного моллюска (как и всех фильтраторов) есть две проблемы:

1. Неконтролируемое размножение и распространение по водоёму, из-за чего дрейссенами забиваются водосточные и водозаборные трубы, ухудшается качество дна, а также может быть нанесён вред экосистеме водоёма.
2. Выделение моллюском крупнофракционной взвеси, которая оседает в виде ила, ухудшающего качество дна и выделяющего в воду вещества, которые ухудшают её органолиптические качества. Для решения этих проблем мы разработали установку, которая сдерживает выделения личинок дрейссен. Основные преимущества этой установки в том, что у нее высокий ресурс, эффективность, безопасность и низкие затраты на обслуживание.

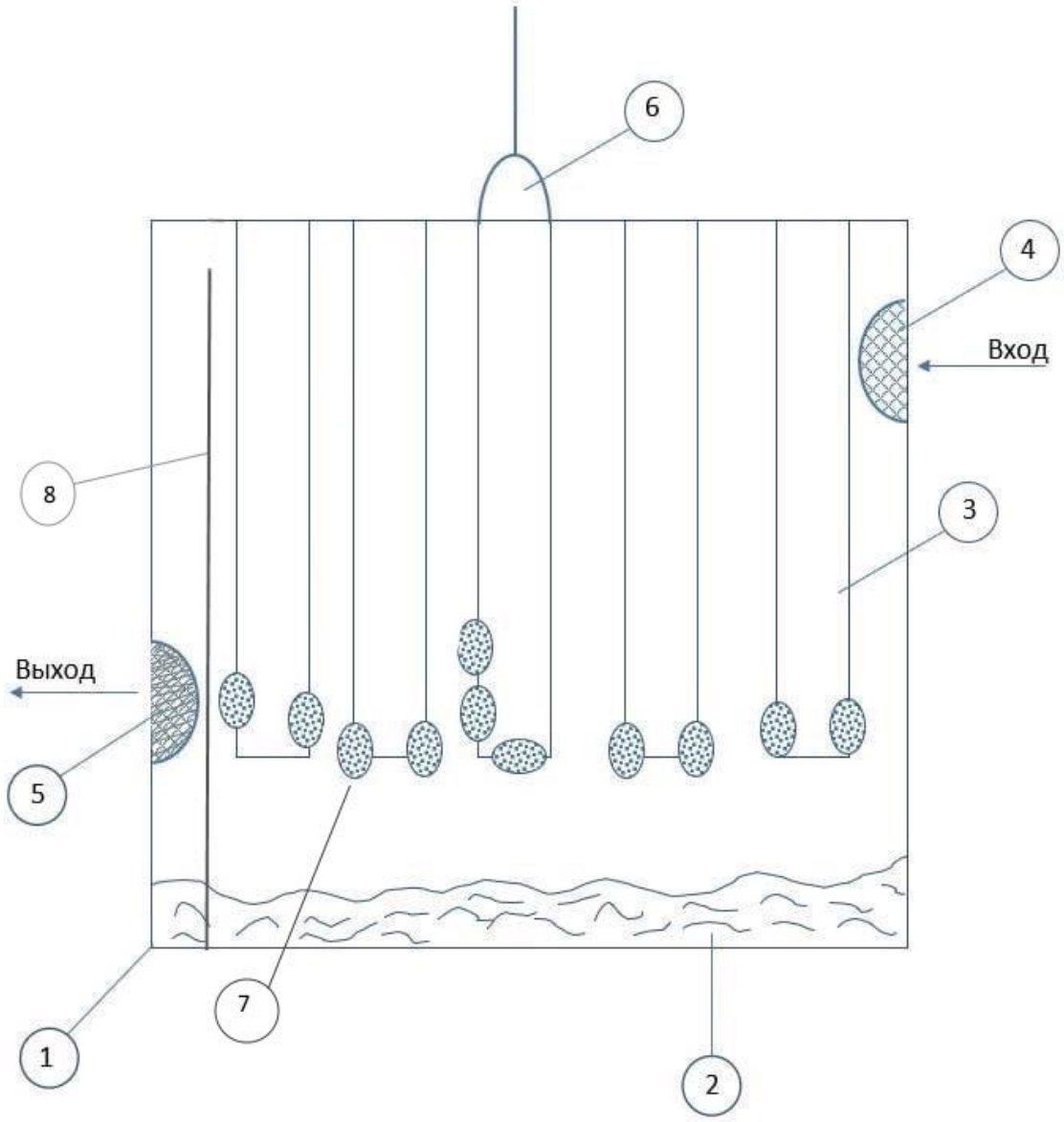


Рисунок. Установка, которая сдерживает выделения личинок дрейссен

Основные части установки

Далее приведены описания элемента установки, обозначенного соответствующим номером на рисунке:

1. Корпус из нержавеющей стали, цилиндрической формы. Имеет следующие внутренние размеры: 1600 мм высота, 1450 мм ширина и длина. Служит барьером для дрейссен и контейнером для получаемого ила. Оборудован съёмным верхом, который отсоединяется во время чистки ила, посредством откручивания болтов.
2. Получаемый ил. Он выделяется дрейссенами в результате фильтрации воды.
3. 25 стержней для крепления дрейссен длиной 1200 мм прикреплённые к сьёмной крышке. В сумме на всех стержнях крепятся около 12000 дрейссен. Имеют квадратную форму в горизонтальном сечении, внутри полые. Мы используем их, так как дрейссены ведут малоподвижный образ жизни. Крепление на стержни позволяет уместить в приспособлении большее количество дрейссен.
4. Входное отверстие радиусом 70 мм. Оборудовано решеткой с квадратной ячейкой со стороной 10 мм.
5. Выходное отверстие радиусом 30 мм. Оборудовано решеткой с квадратной ячейкой со стороной 0.5 мм.

6. Крепление.
7. Дрейссены. Дрейссена речная – пресноводный моллюск с треугольной двустворчатой раковиной, похожей на перевернутую лодку, и пучком биссусных нитей, которыми моллюск прикрепляется к субстрату, подобно мидиям. Размножаются планктонными личинками, безопасными для рыб и других обитателей водоемов.
8. Защитный барьер, служит для минимизации попадания ила и личинок к выходному отверстию.

Планируемые характеристики установки

1. Производительность: 120 $м^2$/сутки.
2. Период работы между очисткам: 1 – 2 месяца.
3. Габариты: 1700 мм * 1470 мм * 1470 мм.
4. Рабочий вес: 4000 кг.
5. Чистый вес: примерно 700 кг.
6. Глубина дна в месте установки (в случае установки на дно): 2 метра, можно уменьшать до 1.65 метра.
7. Ресурс: от 10 до 40 лет.
8. Обслуживание: раз в 2 года.

Принцип действия

Во входное отверстие нашего устройства попадает вода, содержащая взвешенную органику, тяжелые металлы и различные загрязнители. Дрейссена активно осаждает и аккумулирует сестон, обитающие в толще воды мелкие организмы (планктон), а также взвешенные в воде неорганические и органические частицы (детрит), т.е. всё, что улавливается из воды мелкоячеистой планктонной сеткой. В результате фильтрации дрейссена накапливает тяжелые металлы. В процессе фильтрации она выделяет крупнофракционную взвесь, которая оседает на дно установки, также после смерти дрейссена, с аккумулированными в себе тяжелыми металлами, падает на дно, смешиваясь с илом и извлекается вместе с ним во время очистки.

Входная решетка установки имеет крупные отверстия, для того, чтобы туда входила вода, а также необходимые для поддержания жизнедеятельности дрейссен продукты, вторая же решетка имеет меньшие по размеру ячейки для того чтобы сохранить личинок дрейссен внутри устройства. Одна особь фильтрует около 10 л в сутки.

Ракушка дрейссены представляет собой две плотно закрытые створки. Тело моллюска представлено двумя слоями мантии, между которыми располагаются реснички, отвечающие за циркуляцию воды. Также дрейссена имеет два отверстия – для забора и вывода отфильтрованной жидкости.

Средняя продолжительность жизни дрейссены – 4-5 лет, однако встречаются долгожители, возраст которых достигает 7-8 лет. Большая жизнестойкость и высокая плодовитость дрейссен, а также хорошие фильтрующие способности позволяют использовать этих двустворчатых моллюсков в качестве естественного фильтра. По расчетам, сделанным нами в аквариуме, в присутствии дрейссены потери взвеси в толще воды увеличиваются в 8 раз.

Однако следует учитывать, что дрейссены наносят урон тем, что забивают трубы водоводов, т. к. их личинки там оседают и вырастают. Поэтому не следует допускать свободному распространению этих моллюсков по всему водоему. Наше устройство ограничивает распространение дрейссен.

Рекомендации по использованию установки

1. Использование:
   - производить очистку раз в 1 - 2 месяца;

- зимой очистку не проводить;
- проводить обслуживание раз в 2 года или раньше при необходимости.

2. Установка:

- погруженная (в основном на водоёмах с течением): необходимо закрепить установку на дне либо подвесить на буе, таким образом, что входное отверстие направлено против течения и полностью находится под водой. Для улучшение водозабора можно установить на входное отверстие специальную воронку;
- внешняя (на водоёмах без течения или водопадах): необходимо закрепить установку на надёжной поверхности, которая может выдержать рабочий вес установки, а также устойчива к струям воды, которые могут возникнуть при поломке. Ко входному отверстию установки подвести трубу, по которой поступает вода (посредством насоса или разности высот). К выходному отверстию подвести трубу, по которой вода будет сливаться под давлением, создаваемым в установке.

3. Очистка: открутить болты, снять крышку, извлечь ил и дрейссен, находящихся в нём, очистить от дрейссен поверхности находящиеся за защитным барьером, очистить входную и выходную решетки.

4. Обслуживание: замена выходной решетки, замена входной решетки при необходимости, очистка всех поверхностей (кроме стержней) от дрейссен, ржавчины, наростов, доведение кол-ва дрейссен до 12000.

Заключение

Наша установка предназначена для использования в небольших городских прудах или реках, очевидным её плюсом является простота в сборке и установке, единственным сложным компонентом установки является выходная решетка, а в связи с малой минимальной глубиной дна для размещения установки не понадобится специальный транспорт.

Для проверки качества фильтрации воды дрейссенами использовался комнатный аквариум, где мы брали пробы воды до и после помещения туда дрейссен. Мы оценивали органолептические показатели воды (цвет, запах, прозрачность). Кроме того, для анализа воды, использовались методы: титрование на наличие железа, спектрофотометрия, биоиндикация чистоты реки по беспозвоночным, микробиологический анализ.

Мы опирались на опыт исследований, проведенных институтом биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, на базе озера Плещеево в 2014–2016. В этом исследовании рассматривается роль дрейссены как одного из основных бентосных фильтраторов в оз. Плещеево [1].

Литература

1. Пряничникова Е.Г., Цветков А.И. Основные характеристики популяции Dreissena polymorpha (Bivalvia, Dreissenidae) в озере Плещеево. Том: 1. № 2. 2018 г. с. 73-80.

УДК 551.583

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ «ЛИЧНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД» ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСВЕЩЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В.В. Юплова А.И. Ермоченко
Научный руководитель – старший преподаватель В.А. Савоскула
Университет ИТМО
e-mail: valentina.yuplova@gmail.com

Аннотация
В работе рассмотрен показатель «личный углеродный след». Проведен анализ русскоязычных сайтов, на которых представлены калькуляторы личного углеродного следа, определены основные разделы, используемые для расчета показателя, общий уровень программ и их пригодность для использования в качестве инструмента экологического просвещение в области глобального изменения климата.
Ключевые слова
Личный углеродный след, глобальное изменение климата, экологическое просвещение, калькулятор личного углеродного следа, углеродный след.

Несмотря на увеличивающийся интерес общества к проблемам экологии, экологическое просвещение до сих пор остается одним из главнейших путей формирования общественной экологической культуры. Глобальное изменение климата является крупной проблемой, при этом значительное количество парниковых газов создается деятельностью человека. Перепотребление и неосознанные действия в повседневной жизни людей приводят к большому количеству выбросов в области промышленности и энергетики [1].

В этой связи поднимается проблема отсутствия легкодоступной и достоверной информации по теме углеродного следа и возможной трансформации осведомленности в эффективные действия. Предлагается использование показателя «личный углеродный след» для привлечения внимания человека к проблеме глобального изменения климата и использование приемов визуализации для большего эмоционального вовлечения.

Целью научной работы является изучение путей применения визуализации показателя «личный углеродный след».

Задачи, позволяющие достичь поставленную цель:

- рассмотреть научную литературу освещающую понятие «личный углеродный след»;
- проанализировать представленные в сети интернет программы для расчета личного углеродного следа и их различные характеристики, в частности аспект визуализации результатов расчета.

Углеродный след – термин обозначающий общее количество выбросов парниковых газов, произведенных напрямую или косвенно конкретным человеком, производством или страной. Углеродный след определяют, как объем углекислого газа, поступающего в атмосферу при прямых и косвенных выбросах CO_2. Отличные от углекислого газа парниковые газы измеряют в CO_2 эквиваленте.

Существует три основных модели расчета углеродного следа на основе которых создаются многочисленные методики [2].

Модель процессного анализа позволяет точно определить выбросы от всех процессов жизненного цикла конкретного продукта или услуги, путем проведения расчетов с использованием всех доступных данных о процессах. В этой связи расчеты

часто становится очень объемными. Также данная модель является основой метода оценки жизненного цикла. Данная модель работает снизу вверх, то есть анализ начинается с самого продукта и его характеристик и идет наверх, включая в себя, в зависимости от границ исследования: упаковку, поставщиков и производителей сырья, энергетический комплекс, транспортные расходы.

Модель ввода-вывода представляет собой систему расчета на основе табличных данных по отдельным процессам. Данная модель работает сверху вниз, то есть изначальными данными являются ресурсы, использованные для создания продукта или услуги. Данная модель является более удобной для применения, однако не обладает высокой точностью.

Гибридная модель является синтезом двух предыдущих моделей, позволяя грамотно использовать вычислительные ресурсы для проведения расчета, при этом результаты такого расчета будут обладать достаточной точностью и позволят сформировать эффективную программу дальнейших действий для снижения углеродного следа в случае необходимости.

Личный углеродный след – это показатель, выражающий объем выбросов парниковых газов, образованных при жизнедеятельности человека. Основной частью данного показателя является перемещение с использованием различных видов транспорта, потребление товаров, при производстве которых происходят выбросы и энергетическая составляющая, в частности использование электроэнергии и горячей воды.

Для расчета личного углеродного следа применяются интернет-сайты и программы, так называемые калькуляторы личного углеродного следа. Помимо модуля расчета данные сайты, как правило, размещают информационные материалы о проблеме глобального изменения климата.

Такие материалы могут включать в себя:

- научно-популярные статьи;
- ссылки на научные публикации;
- список возможных действий по уменьшению личного углеродного следа;
- ссылки на ресурсы, позволяющие компенсировать свой углеродный след, как правило в виде финансового добровольного пожертвования, направляемого в организации, занимающиеся таким видом деятельности;
- оформление подписки на информационную рассылку с использованием электронной почты.

Были проанализированы различные наиболее посещаемые пользователями сети интернет калькуляторы личного углеродного следа. В ходе анализа не учитывались узконаправленные калькуляторы, направленные на расчет углеродного следа в определенной области, например, полёты на самолётах или покупка одежды.

Наиболее полными и конструктивно понятными калькуляторами на русском языке являются калькуляторы от компаний:

- GreenPeace;
- Carbon Footprint Ltd;
- Valio;
- Henkel.

Основными разделами таких калькуляторов личного углеродного следа являются: жилье, путешествия, транспорт, еда. Раздел «жилье» включает в себя значения площади помещения, показатели счетчиков воды и электричества, количество жильцов, свойства бытовой техники, привычки жильцов в области потребления ресурсов. Раздел «путешествия» содержит в себе вопросы о количестве нерабочих поездок, типов транспорта, используемого в отпуске и во время выходных дней, отдаленности мест отдыха от города проживания. Раздел «транспорт» посвящен вопросам о наличии личного автомобиля, частоты его использования, его характеристик, типов транспорта

используемые для достижения места работы и расстояние до него. Раздел «еда» включает в себя вопрос о типе питания и, опционально, вопросы об определенных потребляемых продуктах, например, авокадо или кофе.

Также могут быть представлены дополнительные показатели, такие как покупка техники, одежды, мебели, частота таких покупок, наличие питомца, страна и регион проживания.

Анализ показал дефицит калькуляторов углеродного следа на русском языке. При этом англоязычные калькуляторы значительно лучше сконструированы, содержат большее разнообразие в вариантах ответов и, следовательно, дают более точный результат [3].

Существующие сейчас калькуляторы на русском языке часто содержат в себе:

- ошибки перевода;
- отсутствие достаточной визуальной составляющей;
- недостаток информации о понятии углеродного следа и возможных действиях по его снижению.

Наиболее простым и наиболее часто используемым примером визуализации личного углеродного следа является сравнение рассчитанного показателя и среднего показателя в мире, в стране и цели, к которой нужно стремиться чтобы предотвратить увеличение прироста глобальной средней температуры. Так человек легко может сделать вывод о том насколько велик его углеродный след.

Личный углеродный след служит эффективной основой для привлечения внимания общества к проблемам изменения климата. Для расчета данного параметра используются калькуляторы углеродного следа – системы расчета, параметры которых варьируются от программы к программе. Наблюдается малое количество калькуляторов личного углеродного следа в сети интернет на русском языке, по сравнению с количеством данных сайтов, представленных на английском языке, при этом в русскоязычных калькуляторах заметны ошибки и слабое развитие сервисов.

В дальнейшем авторы планируют продолжить работу с показателем «личный углеродный след» и разработать собственный калькулятор, отвечающий на запросы жителей Санкт-Петербурга, а также наглядно визуализирующий этот показатель для его легкого понимания.

Поскольку данный показатель является перспективным для представления в формате арт-объекта, планируется создание такого объекта на основе разработанного калькулятора для дополнения аспекта визуализации и работы с эмоциональной связью между восприятием человеком себя как личности и его уровнем воздействия на окружающую среду.

Собранные пользовательские данные будут использованы для дальнейшей работы в области изучения изменения климата.

Литература

1. Белова С.Б., Старчикова И.Ю., Старчикова Е.С. Углеродный след: проблемы и пути решения // Наука и бизнес: пути развития. 2020. №. 3. С. 19-21.
2. Абдуллина Л.Р., Подольский А.И. Обзор методик расчета углеродного следа // Высокие технологии и инновации в науке. 2020. С. 80-82.
3. Birnik A. An evidence-based assessment of online carbon calculators // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2013. Т. 17. С. 280-293.

УДК 504.064.4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОТЕРЬ ПИЩЕВЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕПОЧКЕ СОЗДАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Ю.А. Хуторная
Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко
Университет ИТМО
e-mail: jk03@bk.ru

Аннотация
В работе рассматриваются причины возникновения потерь пищевых ресурсов и образования отходов на разных этапах производства и потребления. Рассматривается воздействие потерь ресурсов на окружающую среду в цепочке создания пищевой продукции и методы предотвращения образования отходов, приводящие к сокращению выбросов парниковых газов.
Ключевые слова
Пищевые потери, органические отходы, выбросы метана, изменение климата, спасение еды, цели устойчивого развития, ноль отходов.

Введение

По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) число голодающих в мире неуклонно растет и составляет около 820 миллионов человек на сегодняшний день, но при этом одна треть всей продовольственной продукции, производимой в мире для потребления человеком, не доходит до столов потребителей: теряется или тратится впустую, что составляет около 1,3 млрд тонн в год или 41,2 тонны еды в секунду [1]. Это также означает, что огромное количество ресурсов, используемых для производства продуктов питания, используется напрасно, а углеродный след от произведенной и выброшенной еды достигает 3,3 млрд тонн CO_2 в год, из них 8% всех выбросов парниковых газов (ПГ) образует еда, которую просто выкинули.

Важность снижения потерь и порчи продовольствия отражена в Целях в области устойчивого развития (ЦУР) – цель 12.3 к 2030 году обязывает сократить вдвое количество пищевых отходов, что станет средством достижения других задач ЦУР, касающихся, в частности, продовольственной безопасности, питания и экологической устойчивости.

Основная часть

Целью настоящей работы является анализ воздействий на окружающую среду (в частности, на климатические изменения), связанных с потерями пищевых ресурсов и образованием отходов, выявление их причин и анализ мер для их предотвращения.

Цепочка создания пищевой продукции (рис. 1) включает в себя следующие этапы: выращивание продовольственного сырья растительного и животного происхождения; хранение; переработку; транспортировку; реализацию и потребление готовой пищевой продукции в домохозяйствах и организациях общественного питания [2]. На каждом из этих этапов часть продуктов теряется по разным причинам.

Каждая из причин потерь продовольствия вызвана рядом проблем (таблица). Так развивающиеся страны в большей степени теряют продовольствие на стадии сельскохозяйственного производства, сбора и хранения – 54% мировых продовольственных отходов выбрасывается именно на этой стадии в силу технических, финансовых проблем и структурных ограничений. В развитых странах продовольствие выбрасывается в основном на этапе розничной торговли и потребления (31-39% от

общих мировых потерь); основной движущей силой образования пищевых отходов в этом секторе является необходимость удовлетворения клиентов, высокие стандарты качества и внешнего вида продуктов питания [3].

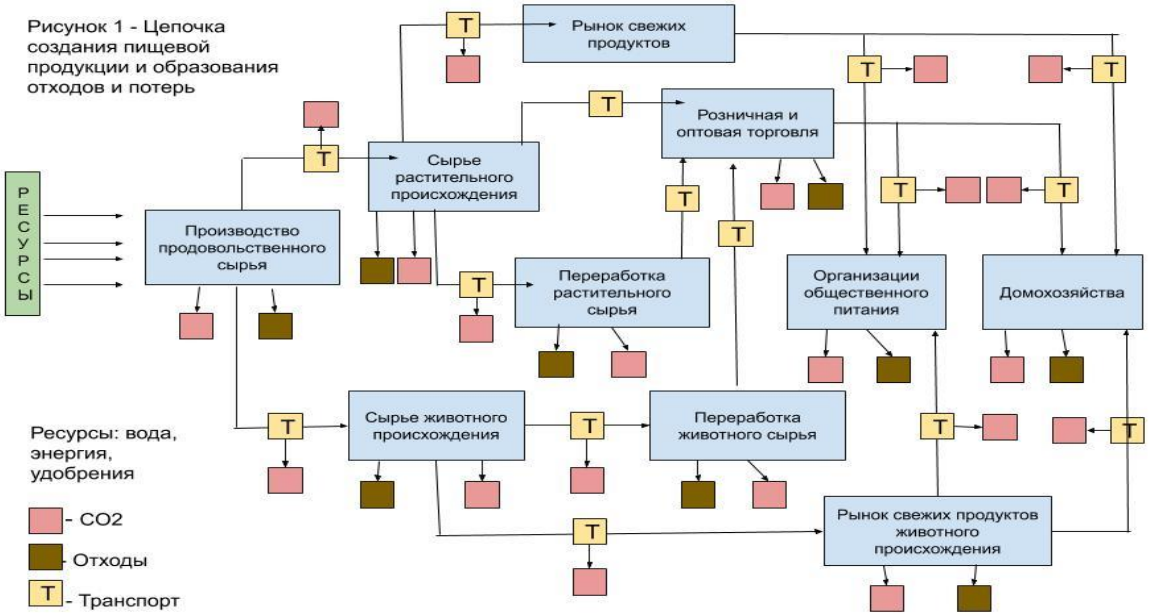


Рис. 1. Цепочка создания пищевой продукции и экологические воздействия.
О – отходы и потери ресурсов; Т – транспортировка; ПГ – выбросы парниковых газов

Выбыв из производственной цепочки, потерянное продовольствие, как правило, попадает на свалки, где в анаэробных условиях разложения из органических отходов выделяется биогаз, состоящий примерно из 50–75% метана, который в свою очередь является вторым парниковым газом по времени своего распада в атмосфере после диоксида углерода, а его эффект в 36 раз превышает парниковый эффект CO_2.

Наиболее важные воздействия на окружающую среду, связанные с потерей продовольствия:

– нерациональное землепользование: для производства пищи, которая тратится впустую, вырубаются леса, освобождаются дополнительные территории, которые могли бы использоваться для других целей, не являясь пахотной землей, быть занятыми растительностью - способствовать уменьшению CO_2 в атмосфере;

– излишнее использование энергии: высокая энергозатратность при производстве и транспортировке продуктов;

– эвтрофикация водоемов: для производства сельскохозяйственных культур, животноводства и обработки пищевых продуктов используются процедуры, обогащающие воду фосфатами и нитратами; так необработанные сточные воды, в особенности из животноводческих комплексов, и удобрения с полей могут быть смыты в ближайшие водоемы, проникать в грунтовые воды;

– избыточное водопользование: при производстве основных культур; в процессе производства продуктов питания используется огромное количество воды;

– экотоксичность от пестицидов, используемых в сельском хозяйстве;

– изменение климата, связанное с генерацией метана (60% метана содержащегося в атмосфере генерируется именно человеком).

Около 20-30% воздействия потребления на окружающую среду связаны с продуктами питания. Чем ближе к этапу потребления в производственной цепочке продукты питания расходуются впустую, тем выше становится воздействие на

окружающую среду, поскольку оно накапливается на каждом из предыдущих этапов цепочки поставок (рис. 1).

Существуют разные подходы к разделению понятий «пищевые потери» и «пищевые отходы», но неизменным остается то, что потеря продовольствия относится к начальным этапам агропродовольственной производственно-сбытовой цепочки (т.е. к производству сельскохозяйственных культур, обработке и переработке), в то время как пищевые отходы сосредоточены на нижестоящих этапах агропродовольственной производственно-сбытовой цепочки (т.е. в розничной торговле, оказании пищевых услуг и потреблении) [3].

Различие между потерей продуктов питания и пищевыми отходами является не только концептуально значимым, но и полезным для понимания того, чьи решения влияют на их появление и как можно повлиять на них. Потеря продуктов питания – это уменьшение количества или качества продуктов питания в результате решений и действий поставщиков продуктов питания в цепочке, за исключением розничной торговли, поставщиков услуг питания и потребителей. Пищевые отходы – это уменьшение количества или качества продуктов питания в результате решений и действий розничных продавцов, предприятий общественного питания и потребителей.

Сокращение и предотвращение появления пищевых отходов на всех этапах обращения с пищевыми продуктами от производства до потребления играет немаловажное значение для сокращения производственных затрат и повышения эффективности продовольственной системы, что напрямую влияет на конечную стоимость продуктов.

Наряду с традиционными мерами, все активнее появляются новые, перспективные решения, развиваются частные инициативы – достаточно простые меры, с помощью которых можно избежать появления большей части отходов (таблица).

Таблица

Причины образования отходов и потерь в цепочке создания пищевой продукции и методы борьбы с ними

Этапы	Причины образования (экологические аспекты)	Меры предотвращения образования отходов	
		Традиционные	Перспективные
Производство	Потери от болезней, погодных условий или вредителей	Распашка	Выработка биогаза
	Недоступность современных методов культивации		
	Отсталые технологии сбора (механические повреждения)		
	Потери из-за стандартов качества (форма, цвет, размер, спелость)	Корм домашним животным	Переработка продуктов "нетоварного" вида в супы, соки, смузи и приправы
	Перепроизводство отдельных производителей (для гарантированных поставок)		Профилактика перепроизводства - налаживание коммуникаций и сотрудничества между фермерами
	Финансовые и структурные ограничения фермеров (невозможность реализации по рыночной цене)		Организация обмена между фермерами и потребителями (продовольствие на сырье для переработки, как пример)

продолжение таблицы

Этапы	Причины образования (экологические аспекты)	Меры предотвращения образования отходов	
		Традиционные	Перспективные
Переработка и логистика	Порча при хранении и транспортке (повреждение упаковки, несоблюдение условий хранения)	Оптимизация хранения продуктов	Обработка для увеличения срока хранения: термическая и высушивание
	Отсталая складская и транспортная инфраструктура		Локализация производства продуктов (сокращение длины логистической цепочки)
Торговля	Ошибки персонала в розничной торговле при прогнозировании, заказе товара и обработке	Переработка продуктов в салаты и горячие блюда для отделов готового питания	Гос. стимулирование передачи невостребованного продовольствия для дальнейшего использования
	Большая дистанция для перевозки в рамках глобализации торговли		Отказ магазинов от фасовки - нет излишка при покупке, возможность выбирать количество
	Продукция пригодная для потребления, но с истекшим сроком годности на маркировке		Частные инициативы, помощь в распределении нуждающимся пригодного для потребления продовольствия с истекшим сроком годности
	Действие завышенных эстетических стандартов и стандартов качества		Использование “умной упаковки” с маркерами того, что продукт действительно испорчен
Хранение, приготовление и потребление	Строгое соблюдение сроков годности на этикетке	Компостирование	Food sharing - поделиться, а не выкинуть
			Организация мобильного сбора и транспортировки органических отходов для переработки - экомобиль, экотакси
	Неправильное планирование покупок и неправильное обращение		Информирование потребителей:
			- просветительские кампании для повышения осведомленности потребителей о проблеме пищевых отходов и финанс. потерь от расточительных спонтанных покупок
	Неправильное хранение		- рекомендации по хранению продуктов
	Недоедание остатков (приготовление новой еды до того, как съедена предыдущая)		- предоставление дополнительных базовых знаниях о приготовлении пищи и обращении с ней

Согласно данным ФАОСТАТ в РФ образование выбросов парниковых газов в агропромышленном комплексе снижалось с 1992 года и к 2017 году составило 91,184.62 (gigagrams) CO_2-eq. Наибольший вклад в этот показатель вносит внутренняя ферментация животных (46,5%) (рис. 2).

Рис. 2. Выбросы CO_2 в агропромышленном комплексе РФ

Объём пищевых отходов в составе твёрдых коммунальных отходов (ТКО) в России составляет порядка 35% – это около 17 млн тонн в год. Практически весь объем пищевых отходов (94%) попадает в нашей стране на свалки и полигоны. Указанный объем пищевых отходов, 17 млн тонн, выделяет порядка 2,4 млн тонн метана; среди других выделяемых газов – аммиак и сероводород.

Цепочка продовольственных потерь выглядит следующим образом: около 8,22% потерь приходится на этап сельскохозяйственного производства; 3,41% на транспортировку к месту переработки; примерно 8,72% теряется в процессе переработки. На этапе реализации (в рознице) объем потерь составляет около 5%, во время хранения и логистики – 4,33%. Наибольшие потери, почти 12%, образуются на этапе потребления, в домохозяйствах.

Итого из совокупного оборота продовольствия в РФ 41,3% приходится на потери, причем более 20% дают с/х производство, переработка и транспортировки продукции, 9,2% теряется на этапах хранения и реализации от изначального объема продовольствия, 11,8% выбрасывается потребителями

17 млн тонн пищевых отходов – это не только источник 2,4 млн тонн метана и других газов, образующихся на свалках, но и значительные финансовые потери. Стоимость этих продуктов оценивается более чем в 1,6 трлн руб. Эта цифра эквивалентна 12% оборота розничной торговли продуктами питания в России и 1,58% от ВВП России (2018 г.) [4].

Сокращение потерь пищевых продуктов и отходов не только уменьшит давление на воду, землю и климат, но и позволит получить положительный эффект в экономической сфере за счет экономии денежных средств фермеров, компаний и домашних хозяйств и в социальной сфере, где возможность меньше тратить дает возможность больше кормить.

Органические отходы могут быть полезны для общества при условии рациональной переработки. Препятствием, стоящим на пути «органические отходы = ценный продукт» является рентабельность процесса переработки. Экономическая выгода возможна, однако она может быть получена при создании новых материалов. Так в 2019 году одним из International Winner of James Dyson Award стал материал MarinaTex, созданный из пищевых отходов и превративший их в ценный ресурс [5]. MarinaTex – это биопластик, прозрачный и более прочный, чем полиэтилен LDPE, изготовленный из красных водорослей и органических отходов рыбной промышленности. Он разработан в качестве альтернативы одноразовому пластику для применения в различных областях и экономически эффективен, благодаря низкой энергозатратности процесса производства и использования отходов.

Выводы

В настоящее время, чтобы сохранить теряемое продовольствие, улучшить питание всех жителей планеты и снизить негативное влияние производства пищевой продукции на окружающую среду, необходимо анализировать всю продовольственную цепочку – от фермы до обеденного стола. Это позволит повысить осведомленность всех участников продовольственной цепочки об её экологических аспектах, совершенствовать инфраструктуру, более широко использовать перспективные технологии, а также улучшить систему сбора и обработки информации и, тем самым, снизить объемы потерь продовольствия и образования отходов.

С помощью простых мер, которые могут быть предприняты производителями, розничными сетями, домашними хозяйствами, предприятиями общественного питания, школами и бизнесом, можно достичь экологической устойчивости, получить экономические выгоды и укрепить продовольственную безопасность.

Литература

1. The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. FAO, 2019. [Электронный ресурс] Режим доступа http://www.fao. org/3/ca6030en/ca6030en.pdf (дата обращения: 27.01.2022).
2. Sotirios Lytras. Quantification and environmental impacts of food waste across the agri–food chain in Denmark. – Odense. Southern Denmark University. Master’s thesis. 2019. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.sdu.dk/en/ om_sdu/institutter_ centre/lifecycleengineering/education/msc/19m08 (дата обращения: 20.01.2022).
3. Jenny Gustavsson, Christel Cederberg, Ulf Sonesson, Robert van Otterdijk, Alexandre Meybeck: Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. – Rome. FAO, 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.fao.org/3/a–i2697e.pdf (дата обращения: 02.03.2022).
4. Фудшеринг в России. ТИАР–Центр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tiarcenter.com/foodsharing/ (дата обращения: 15.02.2022).
5. MARINATEX [Электронный ресурс]. Режим доступа https://www.marinatex.co.uk (дата обращения: 27.01.2022).

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

УДК 621.59

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОВ ПОЛУЧЕНИЯ СПГ ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ СЫРЬЕВОГО ПОТОКА

А.Ю. Иконникова
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Ю. Баранов
Университет ИТМО
e-mail: aikonnikova@niuitmo.ru

Аннотация
Проведен анализ влияния повышенного давления сырьевого потока природного газа на энергоэффективность производства СПГ. Выполнен вычислительный эксперимент на модели цикла ожижения с детандерной ступенью охлаждения для различных значений давления потока природного газа на входе в блок ожижения.
Ключевые слова
Сжиженный природный газ, малотоннажное производство, СПГ, энергоэффективность, температура и давление конденсации.

С повсеместным ростом потребления энергии и сопутствующим усложнением экологической ситуации, использование природного газа в качестве основного источника энергии и сырья для органической химии становится все более актуальным. Производство сжиженного природного газа (СПГ) позволяет решить ряд вопросов не только его транспортирования , но и хранения. Рост объема производства сжиженного природного газа увеличивает актуальность исследований направленных на повышение энергетической эффективности технологии ожижения, что позволит сократить энергозатраты и снизить экологический вред производства СПГ.

Для Российской Федерации все более актуальным направлением развития становится малотоннажное производство СПГ, позволяющее значительно ускорить рост потребления природного газа на внутреннем рынке. Для анализа возможных решений в области повышения энергоэффективности циклов получения сжиженного природного газа использовались относительно простые схемы решений, которые могут быть реализованы с использование только отечественного оборудования.

В Университете ИТМО проводится работа по повышению энергоэффективности производства сжиженного природного газа [1]. Одним из возможных направлений повышения энергоэффективности считается увеличение давления сырьевого потока газа поступающего в блок ожижения, до уровня выше давления в магистральном трубопроводе. Моделирование процесса ожижения природного газа при разных давлениях показало, что по мере роста давления потока на входе в блок ожижения, повышается значение температуры образования насыщенной жидкости и расширяется диапазон температур, в котором происходит процесс конденсации многокомпонентной газовой смеси (рис. 1).

Технологически повысить давление сжатого газа в 2–3 раза относительно просто поскольку основные энергозатраты на дожатие газа пропорциональны не абсолютному значению давления, а степени сжатия [2]. Поэтому, используя магистральный газ давлением от 7 до 10 МПа, можно доводить давление сырьевого потока на входе в блок ожижения до 20–22 МПа. Очевидно, что увеличение давления сырьевого потока будет оправдано только в том случае, если его реализация приведет к снижению затрат энергии на получение единицы массы СПГ [3]. Основным методом исследования энергоэффективности ожижения природного газа при повышенном давлении был выбран вычислительный эксперимент, в котором в качестве модельного цикла ожижения

используется цикл с детандерной ступенью охлаждения, который широко применяется на заводах малой производительности [4]. Суть эксперимента состояла в сравнении общих энергозатрат на сжатие и ожижение в вариантах с различным давлением сырьевого потока.

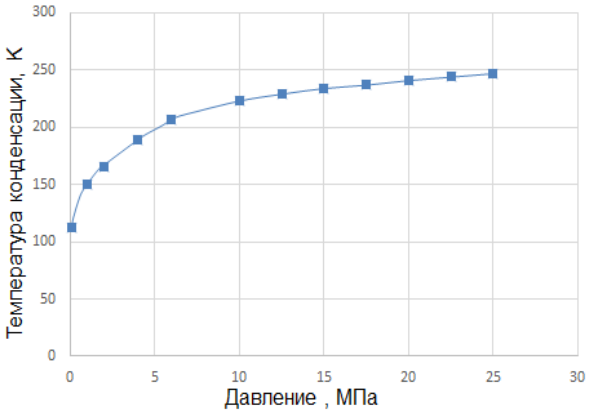


Рис. 1. Зависимость средней температуры конденсации природного газа от давления

Схема цикла переведённая на рис. 2 включает в себя компрессор, основной теплообменник, разделенный на 2 части, и детандер для охлаждения потока циркулирующего газообразного азота. Для перевода в жидкое состояние поток природного газа направляется через основной теплообменник, охлаждается до состояния близкого к насыщению, затем проходит через дроссельный вентиль и поступает в отделитель жидкости, где разделяется на жидкую и газообразную фракцию.

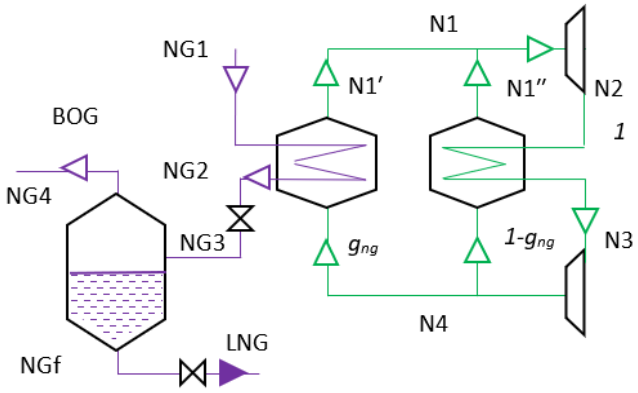


Рис. 2. Схема азотного цикла получения СПГ с одним детандером (NG – сырьевой поток природного газа, N2 - поток азота, BOG – поток отпарного газа, LNG – поток СПГ)

Анализ энергоэффективности работы установки проводился при различных давлениях потока газа на входе в блок ожижения (от 7 до 20 МПа). В качестве базового принято давление газа в магистральной трубопроводе – 7 МПа. Цикл ожижения рассчитывался из условия, что в жидкое состояние перейдет не менее 95% сырьевого потока природного газа. Параллельно рассчитывались варианты работы цикла при охлаждении природного газа до температуры конденсации и переохлаждения СПГ до температуры 100 К.

В процессе анализа для каждого из вариантов работы цикла составлены энергетические балансы и определены соотношения массовых расходов потоков [5].

Баланс энергетической установки:

$$h_{N2}G_{N2} + h_{NG}G_{NG} + \Sigma Q_{\text{ос}} = h_{N1}G_{N2} + h_{LNG}G_{NG} \cdot x + h_{BOG}G_{NG} \cdot (1 - x) + L_{\text{д}},$$

где G_{NG} – расход природного газа, G_{N2} – расход азота, $L_{\text{д}}$ – работа детандера, $\Sigma Q_{\text{ос}}$ – суммарный теплоприток от окружающей среды, h – энтальпии потоков.

Доли потока азота определены из энергетических балансов теплообменных аппаратов.

Энергетический баланс азотного теплообменника:

$$h_{N2}G_{N2} + h_{N2}G_{N2} \cdot (1 - g_{ng}) + Q_{\text{ос}} = h_{N3}G_{N2} + h_{N1''}G_{N2} \cdot (1 - g_{ng}),$$

где g_{ng} – доля потока азота после детандера на охлаждение природного газа.

Энергетический баланс ожижителя природного газа:

$$h_{NG}G_{NG} + h_{N4}G_{N2} \cdot g_{ng} + Q_{\text{ос}} = h_{NG2}G_{NG} + h_{N1'}G_{N2}g_{ng}.$$

По результатам моделирования, для каждого из вариантов давлений сырьевого потока были построены графики изменения температур потоков по длине теплообменных аппаратов разделенных на 10 условных сечений. Значения температур определялись с помощью энергетических балансов соседних участков теплообменников.

Значения энтальпий обратного потока :

$$h2_i = h2_{\text{вых}} + \frac{h2_{\text{вх}} - h2_{\text{вых}}}{10} i,$$

где i – порядковый номер сечения, $h2_{\text{вх}}$ и $h2_{\text{вых}}$ – энтальпии обратного потока на входе и выходе соответственно.

Значения энтальпий прямого потока:

$$h1_i = \frac{h2_i G2 + h1_{i-1} G1 - h2_{i-1} G2}{G1},$$

где $G1$ и $G2$ – расходы прямого и обратного потоков соответственно.

Графики изменения температур потоков построенные по результатам расчета без учета переохлаждения представлены на рис. 3. По характеру их изменения можно судить о том, что с увеличением давления потока природного газа также возрастает и эффективность теплообмена.

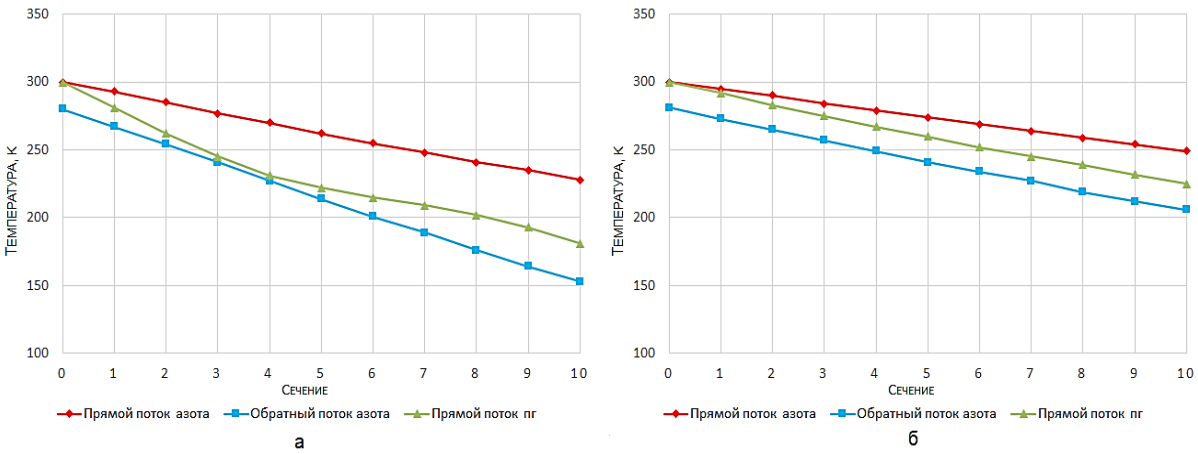


Рис. 3. Изменение температур потоков по длине теплообменных аппаратов при различном давлении природного газа на входе а – 7 МПа, б – 20 МПа

Аналогичные графики построенные с учетом переохлаждения потока природного газа приведены на рис. 4.

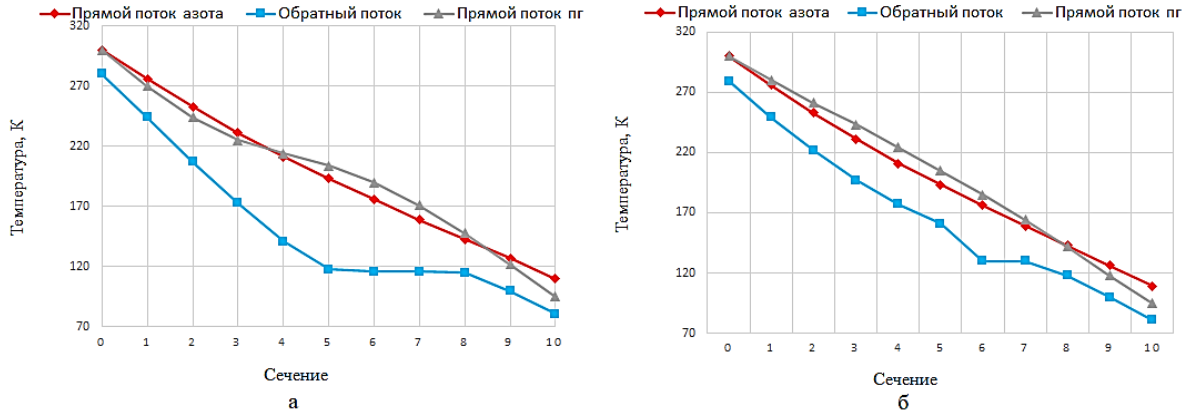


Рис. 4. Изменение температур потоков по длине теплообменных с учетом переохлаждения жидкости при давлении : а – 7 МПа, б – 20 МПа

Для итогового анализа возможности повышения энергоэффективности циклов ожижения природного газа с помощью увеличения давления сырьевого потока на входе в блок ожижения, определены затраты энергии для каждого из вариантов. Результаты расчета по формуле (1) приведены на рис. 5.

$$W = L_{KN2} + L_{KNG} - L_{ДN2} + Q_{ОС}, \quad (1)$$

где W – затрачиваемая энергия, L_{KN2} – работа сжатия азота, L_{KNG} – работа дожатия природного газа, $L_{ДN2}$ – работа выделяемая детандером, $Q_{ОС}$ – теплоприток от окружающей среды.

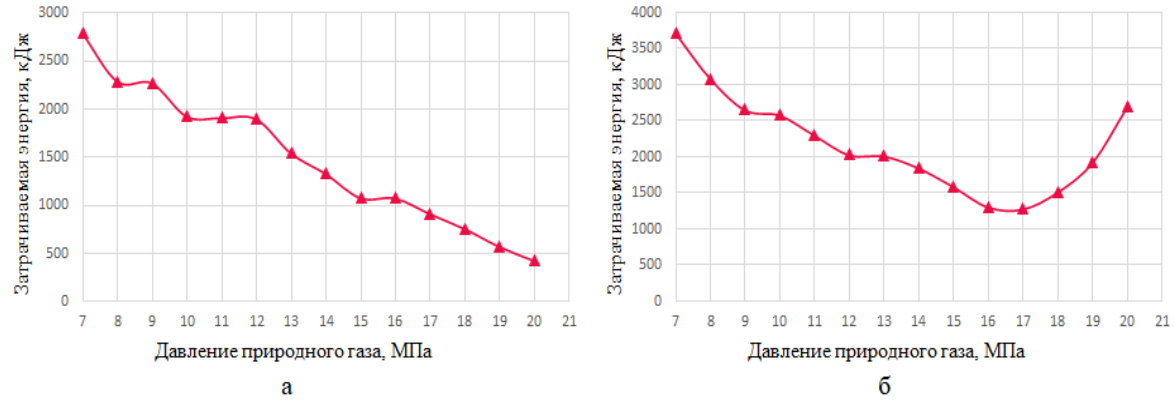


Рис. 5. Зависимость затрат энергии на ожижение 1 кг природного газа от его давления а – с переохлаждением, б – без переохлаждения

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что увеличение давления сырьевого потока природного газа способствует снижению затрат энергии на его ожижение. В случае с охлаждением до температуры конденсации природного газа снижение имеет место только в определенном диапазоне давлений. При использовании в качестве сырья магистрального газа с давлением 7 МПа, его дожатие до 16 МПа ведет к существенному повышению энергоэффективности, однако при дальнейшем сжатии затраты энергии начинают возрастать, однако при переохлаждении

жидкости они продолжают снижаться даже при достижении 20 МПа. Также повышение давления потока приводит к улучшению эффективности процесса теплообмена. В качестве следующих этапов исследования предполагается определение возможности расширить диапазон целесообразного повышения давления с помощью модернизации цикла, в частности применением большего количества детандеров которые позволят распределить тепловую нагрузку цикла более равномерно и получить дополнительный выигрыш в энергозатратах [6]. Результаты проведенного исследования также могут способствовать развитию малотоннажного производства СПГ поскольку рассмотренный цикл может быть реализован на основе отечественного оборудования.

Литература

1. Баранов А.Ю., Тихонов К.А., Андреев А.М., Березин Н.А. Энергоэффективные циклы сжижения природного газа // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование.2016. № 1(21). С. 1–8.
2. Акулов Л.А., Борзенко Е.И., Новотельнов В.Н., Зайцев А.В. Теплофизические свойства криопродуктов. СПб.: Политехника. 2001. 243 с.
3. Bukowski Justin D.,Yu Nan Liu, Stephen J. Boccella, Leo J. Kowalski, William A Kennington, "Natural Gas Liquefaction Technology for Floating LNG Facilities", IGRC, Seoul, [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.gti.energy/wp-content/uploads/2018/12/12-4-Justin_Bukowski-LNG17-Paper.pdf (дата обращения: 10.03.2022).
4. Акулов Л.А. Установки и системы низкотемпературной техники. Ожижение природного газа и утилизация холода сжиженного природного газа при его регазификации: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ. 2006. 175 с.
5. Герш С.Я. Глубокое охлаждение. Ч.I. Термодинамические основы сжижения и разделения газов с приложением атласа диаграмм: учебник для машиностроительных и теплотехнических вузов/Герш С.Я. 3-е изд., перераб. и доп. М.-Л.: Госэнергоиздат 1957. 392 с.
6. Фальман А.Г., Агейский Д.Э. Перспективы регазификации СПГ. // Вестник Международной академии холода. 2015. № 2. С. 46–49.

УДК 621.59

ПРОИЗВОДСТВО ВТОРИЧНОГО КРИОАГЕНТА НА ТЕРМИНАЛАХ РЕГАЗИФИКАЦИИ

А.Ю. Баранов, Т.С. Майкова
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Ю. Баранов
Университет ИТМО
e-mail: abaranov@itmo.ru

Аннотация
Производство вторичного криоагента – жидкого воздуха, направлено на то, чтобы эффективно утилизировать теплоту регазификации сжиженного природного газа (СПГ). Жидкий воздух практически нигде не используется как конечный продукт, в то же время является полуфабрикатом при производстве таких массовых криопродуктов как кислород и азот. Целесообразность использования теплоты регазификации СПГ для производства жидкого воздуха в промышленных масштабах обосновывается относительно небольшой разностью температур конденсации воздуха и регазификации СПГ, такое сочетание технологических параметров позволяет вернуть в хозяйственный оборот до 80% энергии затраченной при получении сжиженного природного газа. Учитывая масштабы мирового производства СПГ, рациональное использование теплоты регазификации СПГ способно существенно повысить рентабельность использования этого энергоносителя. Появление на рынке криопродуктов больших объемов дешевого вторичного криоагента позволит развивать прикладные технологии основанные на использовании его теплоотводящей способности.

Ключевые слова
Вторичный криоагент, жидкий воздух, теплота регазификации, СПГ.

В 2018 суммарное производство СПГ превысило 300 млн. тонн в год, это многократно превышает объем производства и хранения традиционных криопродуктов [1]. Появилась новая, в значительной степени автономная отрасль криогенной техники, развитие которой в ряде случаев противоречит сложившимся правилам использования низкотемпературных жидкостей. СПГ в жидком виде нигде и никем не используется, перевод природного газа в жидкое состояние нужен для того, чтобы упростить его транспортирование и хранение. Конечного потребителя природный газ интересует как источник энергии, поэтому физическое состояние, в котором поступит энергоноситель, мало кого интересует. Однако, перед использованием СПГ в качестве энергоносителя его необходимо перевести из жидкого состояния в газообразное состояние – регазифицировать. Для регазификации 1 кг жидкого СПГ необходимо подвести от внешних источников до 900 кДж теплоты.

На практике сложились различные способы получения теплоты регазификации: использование энергии окружающей среды, атмосферного воздуха или морской воды, сжигание части газа в греющих печах и т.п. Нельзя не признать, что эти способы были разработаны для регазификации традиционных криопродуктов: азота, кислорода и аргона. Но, как уже говорилось, производство и использование СПГ – это новая отрасль криогенной техники, главным отличием которой является масштабы получения и регазификации криопродукта. Минимальные удельные затраты электроэнергии на производство СПГ составляют 0,7 кВт/кг, т.е. ежегодно в этой сфере энергетики затрачивается более 210 ТВт·час, что превышает 1% от мирового производства электроэнергии. Повторное использование энергии, затраченной на получение СПГ, представляет важнейшую энергетическую задачу. Пока эта проблема не до конца

осознана, так как доминируют технологии регазификации, в которых затрачивается дополнительная тепловая или электрическая энергия. Некоторые специалисты предпринимают попытки возврата энергетических затрат в хозяйственный оборот, например, за счет организации генерации электроэнергии с использованием теплового цикла Ренкина, но эффективность этих технологий невелика, а их реализация связана со значительными инвестициями [2, 3]. Выбор способа утилизации теплоты регазификации СПГ должен осуществляться с учетом максимальной энергоэффективности и возможности практической реализации.

Анализ публикаций, посвященных разработке технологий использования теплоты регазификации СПГ, показал, что максимальная энергоэффективность утилизации теплоты регазификации достигается в том случае, когда СПГ используют в качестве рабочего вещества ступени внешнего охлаждения циклов ожижения и разделения воздуха [4]. Регазификация 1 кг СПГ позволяет снизить удельный расход энергии на производство жидкого азота с 1,2 до 0,5 кВт час/кг, т.е. на 0,7 кВт час/кг. Таким образом, степень использования энергии, затраченной на получение СПГ, приближается к 100%.

С учетом того, что многие действующие установки, производящие кислород, сбрасывают в окружающую среду поток «отбросного» газа, который содержит не менее 95% азота, можно использовать СПГ не для снижения удельных затрат энергии, а для увеличения выпуска товарной продукции за счет переконденсации «отбросного» газа. Подобная «модернизация» может быть осуществлена на любой действующей воздухоразделительной установке (ВРУ), причем без остановки основного производства и с минимальными инвестициями [3]. Вывод на рынок дополнительного количества жидкого азота необычайно актуален, так как в связи с перепрофилированием мощностей ВРУ на производство медицинского кислорода в РФ и Западной Европе наблюдается дефицит жидкого азота и рост цен на этот криопродукт [1, 5]. Следует сосредоточить дальнейшие исследования на «криогенном» направлении использования теплоты регазификации СПГ и разобраться, почему при столь высокой энергоэффективности использование узлов регазификации СПГ в качестве ступени внешнего охлаждения ВРУ не приобрело массовый характер.

Основным сдерживающим фактором в использовании теплоты регазификации СПГ (ТР СПГ) в воздухоразделительных установках являются логистические проблемы [4]. Для утилизации ТР СПГ необходимо либо разместить регазификационный терминал в непосредственной близости к ВРУ, либо разместить ВРУ на территории регазификационного терминала. Промежуточное решение, по которому СПГ доставляется на воздухоразделительные предприятия, где хранится и постепенно используется для целей самого предприятия, промышленного значения не имеет, в виду малого расхода СПГ.

Очевидно, что переносить ВРУ невозможно, так как эти производства, как правило, выдают свою основную продукцию технологическому потребителю: металлургическому или химическому производству. Отгрузка технологического азота или кислорода осуществляется по трубопроводам низкого давления, протяженность которых ограничена.

Очевидно, что невозможно разместить терминал регазификации на металлургическом или химическом предприятии. Терминал СПГ всегда «привязан» к морской акватории, так как водный транспорт является исключительным средством крупнотоннажной перевозки СПГ. Известны случаи размещения металлургических предприятий или комбинатов по производству аммиака на побережье, но такие случаи являются, скорее всего, удачным исключением из правил.

По тем же причинам медленно развивается использование ТР СПГ и в других направлениях: опреснение воды, обезвоживание илов, быстрое замораживание биологического сырья и т.п. [4].

Исходя из того, что речь идет о повторном использовании энергии, затраченной на производство СПГ, а прямая передача энергии во время процесса регазификации

невозможна, необходимо организовать трансформацию этой энергии в форму, пригодную для перемещения на другую производственную площадку, где она может быть использована. В общем случае идеальным решение задачи перемещения энергии представляется выработка электричества, поэтому число работ в этом направлении очень велико. Однако, эффективность генерации электроэнергии с использованием тепловых циклов мала, поэтому следует использовать другие решения [2].

Примеры использования ТР СПГ, где в повторный оборот вовлекается почти вся энергия, затраченная при получении СПГ, достаточно четко указывают направление, в котором надо искать оптимальное решение задачи накопления и транспортирования энергии, полученной при регазификации СПГ [4]. Идеальным накопителем и носителем энергии регазификации может быть только криопродукт с температурой кипения близкой к температуре регазификации СПГ. Например, удельные затраты энергии на ожижения азота составляют не менее 1,2 (кВт час)/кг или 4,3 МДж/кг [6]. Это сопоставимо с теплотворной способностью дров (10 МДж/кг), которые в последнее время вновь набирают популярность в качестве возобновляемого энергоносителя. Это значит, что жидкий азот можно всерьез рассматривать как один из видов энергоносителей, который благодаря способности отводить теплоту на крайне низком температурном уровне, может использоваться в качестве альтернативы сложному и дорогостоящему криостатирующему оборудованию с электроприводом.

Возможность использовать жидкий азот как источник энергии подтверждена многолетней практикой эксплуатации установок для общего криотерапевтического воздействия, в которых использование криоагента позволяет покрывать интенсивные, но кратковременные тепловыделения в низкотемпературных кабинах [7]. Интенсивность тепловыделения на температурном уровне порядка 140 К в таких кабинах достигает 40 кВт/м^3. Для отвода тепловой нагрузки такой мощности необходимы рефрижераторы с потребляемой электрической мощностью не менее 200 кВт, но использование жидкостной системы охлаждения позволяет решить эту тепловую задачу не только без затрат электроэнергии, но и без теплообменного оборудования [1, 7]. Жидкостная система охлаждения компактна, имеет малый вес и тепловую инерцию, а главное предельно дешева.

Можно привести еще много примеров технологических решений, где поставка энергии в виде жидкого криоагента обеспечивает оптимальное решение задач, связанных с низкотемпературными процессами. Это утилизация композитных материалов, переработка сельскохозяйственного сырья, производство быстрозамороженных полуфабрикатов и т.д. Однако все эти технологии ограничены в применении высокой стоимостью и низкой доступностью криоагента. До 2020 года средняя мировая цена жидкого азота составляла 0,5 $/кг, однако уже тогда существовали территории, где уровень цен достигал 7 $/кг [1]. В последнее время ситуация значительно ухудшилась из-за роста потребления медицинского кислорода и увеличения цен на энергоносители. Массовое производство жидкого азота за счет ТР СПГ позволило бы насытить рынок и обеспечить развитие прикладных криогенных технологий, но как уже было показано выше, трудно совместить ВРУ и терминал СПГ на одной территории. Ректификационное оборудование, необходимое для извлечения азота из воздуха, слишком громоздкое и инерционное. Современные терминалы регазификации СПГ имеют производительность порядка 10 млрд. м^3/год, что составляет около 800 тонн СПГ в час, не существует ВРУ, способной генерировать газообразный азот для регазификации такого количества СПГ [3, 8].

Но если решать задачу накопления и транспортирования энергии без оглядки на существующий опыт, можно предложить использовать в качестве энергоносителя жидкий воздух, который способен аккумулировать энергию не менее эффективно и при этом его гораздо проще произвести.

Атмосферный воздух идеальный низкотемпературный энергоноситель, который

доступен повсеместно и может быть повсеместно возвращѐн в окружающую среду без всякого вреда для экологии.

Для перевода атмосферного воздуха в жидкое состояние можно использовать проверенные технологические приемы, например, цикл Капицы, в котором основным источником холодопроизводительности будет уже не детандер низкого давления, а внешняя ступень охлаждения, которой будет использована ТР СПГ.

Производство жидкого воздуха на терминалах регазификации позволяет получить значительное количество дешевого жидкого воздуха – вторичного криоагента, который может быть использован для решения различных низкотемпературных задач.

Как показали исследования в университете ИТМО, жидкий воздух может успешно заменять жидкий азот в установках общего криотерапевтического воздействия, которые в последнее время широко используют для реабилитации после COVID-19. Массовое применение этой технологии требует больших затрат жидкого азота, так как до 10% населения остро нуждаются в такой реабилитации.

Кроме этого вторичный криоагент можно использовать для увеличения производства криопродуктов на действующих установках, разрабатываются технологии использования вторичного криогента в пищевой и перерабатывающей промышленности [1].

Немаловажно и то, что использование технологии утилизации ТР СПГ снизит стоимость регазифицированного СПГ для конечных потребителей, так как позволит компенсировать затраты на приобретение энергии при производстве СПГ.

Для успеха проекта необходимо разработать относительно простую и вместе с тем энергоэффективную технологию получения жидкого воздуха за счѐт теплоты регазификации сжиженного природного газа и разработать технологические приѐмы использования вторичного криоагента на вспомогательных производствах.

Литература

1. Баранов А.Ю., Василенок А.В., Соколова Е.В., Чубова С.Д., Зиявидинов А.М. Выбор альтернативного криоагента для покрытия тепловой нагрузки в установке для общего криотерапевтического воздействия // Вестник Международной академии холода. 2022. № 1(82). С. 76–82.
2. Альман Г.Ф., Агейский Д.Э., Перспективы регазификации СПГ, Вестник МАХ 2. 2015. №2. С. 46–49.
3. Mylena Vieira Pinto Menezes , Icaro Figueiredo Vilasboas and Julio Augusto Mendes da Silva, Liquid air energy storage system (LAES) assisted by cryogenic air Rankine cycle (ARC) Energies. 2022, vol. 15. issue 8. 1-16.
4. Акулов Л.А., Зайцев А.В., Перспективы утилизации холода сжиженного природного газа при малотоннажной регазификации, ВЕСТНИК МАХ № 2. 2013. с.29–31.
5. Баранов А.Ю., Василенок А.В., Макарчук Д.В., Спиридонова А.П. Жидкостные системы охлаждения индивидуальных криотерапевтических установок // Вестник Казахского национального университета. Серия физическая [Recent Contributions to Physics]. 2022. № 1(80). С. 58–65.
6. Хуциева С.И., Митрузаев А.Е., Паркин А.Н., Бром А.Е., Технико-экономический анализ установки по ожижению азота // Инженерный журнал: наука и инновации. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва. 2016. #3(51).
7. Yerezhep D., Baranov A.Y. Understanding Cryotherapy. IET-2020.
8. Соколова Е.В., Андреев А.М., Иванов Л.В., Баранов А.Ю., Малышева Т.А., Выбор технологических решений для сокращения потерь СПГ в трубопроводах подачи в заправочный терминал // В книге: Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 11-й Международной научно-технической конференции. 2021. С. 105–106.

УДК 621.56

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛИТОЧНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛН

К. Макатов
Научный руководитель – к.т.н., ассистент М.С. Булькран
Университет ИТМО
KirMakatov@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №621284 «Перспективные технологии низкотемпературной обработки и хранения биологических объектов в непрерывной холодильной цепи».

Аннотация
Целью данного исследования является численное моделирование прототипа инновационной системы плиточного морозильного аппарата с использованием микроволн. Преимущество аппарат по сравнению с другими морозильными аппаратам заключается в повышенном качестве замороженных продуктов, которое достигается с помощью использования микроволн. Образцы птичьего мяса замораживают в пространстве между двумя пластинами, в которых кипит хладагент, а между пластинами установлен магнетрон, излучающий микроволны на частоте 2,45 ГГц.
Ключевые слова
Плиточный морозильный аппарат, микроволны, кристаллизация, время замораживания продукта, испаритель.

В пищевой промышленности одним из наиболее распространенных методов консервации продукта, является заморозка. При замораживании продукты сохраняют внешние и качественные показатели в течении долгого времени, так как холод снижает скорость химическую и биологическую активность внутри него [1]. Обычно продукт замораживают до средней температуры продукта -18 °C или ниже. Это приводит к кристаллизации большей части воды в продукте.

Качество замороженного продукта, зависит от размеров кристаллов льда. Чем меньше кристаллы, тем меньше они повреждают клеточную структуру тканей продукта. Одним из объяснений этого явления трактуется, как: повреждение происходит из-за фазового расширения воды при переходе в кристаллическую форму. Другим объяснением большей потери влаги из-за более крупных кристаллов льда является меньшая удельная поверхность, что снижает реабсорбцию воды при оттаивании.

Как известно, качество замороженного продукта можно улучшить с помощью более быстрого замораживания, чтобы образовывалось большее количество центров кристаллизации, тем самым уменьшая средний размер кристаллов, но уменьшение времени замораживания увеличивает затраты на энергию. Нахождение оптимального метода заморозки по времени и количеству затрачиваемых ресурсов является перспективной задачей на данный момент времени.

Инновационным направлением процесса заморозки продукта, технологий для уменьшения кристаллов льда, на данный момент является использование ультразвука, магнитных полей, электрических полей переменного и постоянного тока.

Замораживание с помощью электромагнитных волн является одним из наименее изученных процессов, хотя некоторые исследования представили интересные результаты.

В эксперименте 1992 года сообщили о лучшем сохранении структуры продукта и образовании более мелких кристаллов льда в сетчатке кальмара, замороженного контактным методом, с пластиной из меди при температуре 83 К, и дополнительно облучаемый микроволнами на частоте 2,45 ГГц

Анесе и др. в результате эксперимента получили в замороженном мясе свинины уменьшение размеров кристаллов льда и улучшение сохранности цвета продукта. Использовалось криогенное замораживание с помощью азотного распылителя и импульсивная радиочастотная установка, которая испускала микроволны.

Ксантакис и др. обнаружили более мелкие кристаллы льда и снижение степени переохлаждения при импульсном микроволновом замораживании с использованием теплообменника при температуре -30°C. В этом последнем исследовании наблюдались колебания температуры из-за микроволновых импульсов [2].

Одним из важных критериев при разработке морозильного аппарата является выбор метода заморозки продукта. Существует несколько методов заморозки:

- воздушный метод, где используется воздуха как среда, непосредственно воспринимающая теплоту от продукта;
- контактный метод, в которых продукт непосредственно напрямую контактирует с поверхностью, где кипит хладагент;
- погружной метод, с использованием охлаждающей жидкости, в которую погружают продукт;
- криогенный метод, с использованием охлаждающей криогенной жидкостью.

Каждый из методов заморозки имеет свои преимущества и недостатки. Криогенный метод хоть имеет высокую скорость замораживания и низкое энергопотребление, но требуют большие затраты на расходуемые криогенные вещества. Погружной метод требует дополнительных мер по соблюдению санитарно-гигиенических требований, и таким способом замораживают малый объем продукта. В выборе между воздушным и плиточным методом замораживания, был сделан выбор в пользу плиточного аппарата, так как он является более энергоэффективным методом заморозки [3].

После выбора метода заморозки была сконструирована предполагаемая модель морозильного аппарата с использованием микроволнового излучения (рис. 1).

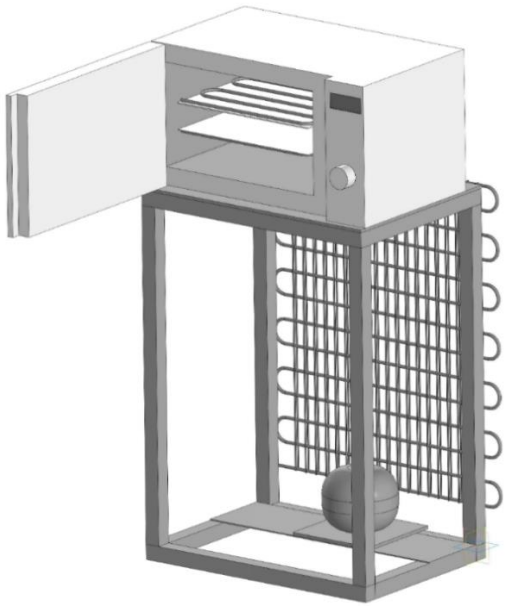


Рис. 1. Модель плиточного скороморозильного аппарата
с использованием микроволнового излучения

Для подбора морозильного оборудования требуется рассчитать суммарный теплоприток: теплоприток от окружающей среды ($Q_{огр}$), при термической обработке ($Q_{обр}$) и от микроволнового излучения ($Q_{свч}$).

$$Q_0 = Q_{огр} + Q_{обр} + Q_{свч}.$$

Для расчета теплопритока от окружающей среды требуется знать сумму теплопритоков, через наружные ограждения, из-за разницы температур (ΣQ_t) и сумму теплопритоков, через наружные ограждения из-за действия солнечной радиации (ΣQ_c), но так как установка находится в помещении, данная сумма равна 0. Тогда теплоприток от окружающей среды равен:

$$Q_{огр} = \sum Q_t .$$

Сумма теплопритоков, через наружные ограждения, из-за разницы температур.

$$\sum Q_t = \sum (k_н \cdot F \cdot \Delta t),$$

где $k_н$ – коэффициент теплопередачи через стенку, Вт/(м^2·°С);
F – площадь ограждения, м^2;
Δt – разность температур, °С.

С использованием изоляции пенополистирола по 5 см с каждой стороны, был получен теплопритока от окружающей среды, равный 21 Вт.

В морозильном аппарате непрерывного действия теплоприток при термической обработке продукта будет постоянным во время работы. Данный теплоприток можно рассчитать по формуле:

$$Q_{обр} = \frac{G}{\tau}(C_0\ (t_{нач} - t_{кр}) + L + C(t_{кр} - t_{кон})),$$

где τ – время замораживания продукта, с;
G – масса замороженного продукта, кг;
C_0, C – теплоемкость незамороженной, замороженной части продукта, Дж/(кг·°С);
$t_{нач}$ – начальная среднеобъемная температура, °С;
$t_{кр}$ – криоскопическая температура, °С;
$t_{кон}$ – конечная среднеобъёмная температура, °С;
L – скрытая теплота замораживания продукта, Дж/кг.

Важной составляющей при расчете теплопритока при термической обработке продукта, а именно замораживании, является величина времени. Для определения времени замораживания продукта был выбран аналитический метод. Существует довольно большое число уравнений нахождения времени заморозки. Многие из них выводятся из формулы Планка, представляющей собой решение упрощенного варианта задачи замораживания с фазовым изменением. В данной работе используется формула, которая объединяет формулу Планка для одномерных объектов с поправкой для учета формы замораживаемого объекта. Данное уравнение называется модель Фама [4].

$$\tau = \frac{1}{E}\left(\frac{\Delta H_1}{\Delta t_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta t_2}\right)\left(\frac{R}{h} + \frac{R^2}{2k_f}\right),$$

где E = 1 – коэффициент формы продукта; ΔH_1, ΔT_1 – изменение удельной энтальпии и температуры для периода охлаждения продукта до криоскопической температуры; ΔH_2, ΔT_2 – изменение удельной энтальпии и температуры для периода замораживания продукта и дальнейшего охлаждения; R – половина толщины продукта, м h =300 Вт/(м^2·°C) – коэффициент теплопередачи между хладагентом и продуктом, через плиту; k_f – теплопроводность замороженной части продукта Вт/(м·°C).

Изменения удельной энтальпии для периода охлаждения продукта до криоскопической температуры рассчитывается по формуле:

$$\Delta H_1 = pc_u(t_i - t_{fm}),$$

где p – плотность продукта, кг/м^3; t_i – начальная температура продукта, °C; t_{fm} – средняя температура замораживания,°C.

Среднюю температуру замораживания для большинства биологических материалов с высоким влагосодержанием можно вычислить с помощью уравнения:

$$t_{fm} = 1{,}8 + 0{,}263 t_{fin} + 0{,}105 t_a,$$

где t_{fin} – конечная температура термического центра продукта, °C; t_a – температура охлажденной среды, °C.

Изменения удельной энтальпии для периода замораживания и дальнейшего охлаждения рассчитывается по формуле:

$$\Delta H_2 = pL + pc_f (t_{fm} - t_{fin}).$$

Разность температур для периода охлаждения продукта до криоскопической температуры рассчитывается по формуле:

$$\Delta T_1 = 0{,}5(t_i + t_{fm}) - t_a.$$

Разность температур для периода замораживания и дальнейшего охлаждения рассчитывается по формуле:

$$\Delta T_2 = t_{fm} - t_a.$$

В результате расчета время на заморозку продукта от 10 °C до -30 °C составило 36 мин, а теплоприток при термической обработке составит 162 Вт.

Теплоприток от микроволнового излучения примем в соответствии номинальной выходной мощностью магнитрона внутри выбранной микроволновой печи и составит 210 Вт.

После расчета суммарного теплопритока следует выбрать схему холодильной машины. Самой простой схемой холодильных машин является одноступенчатая, с дроссельным вентилем. Она используется в установках малой мощности. Цикл холодильной машины представлены на рис. 2.

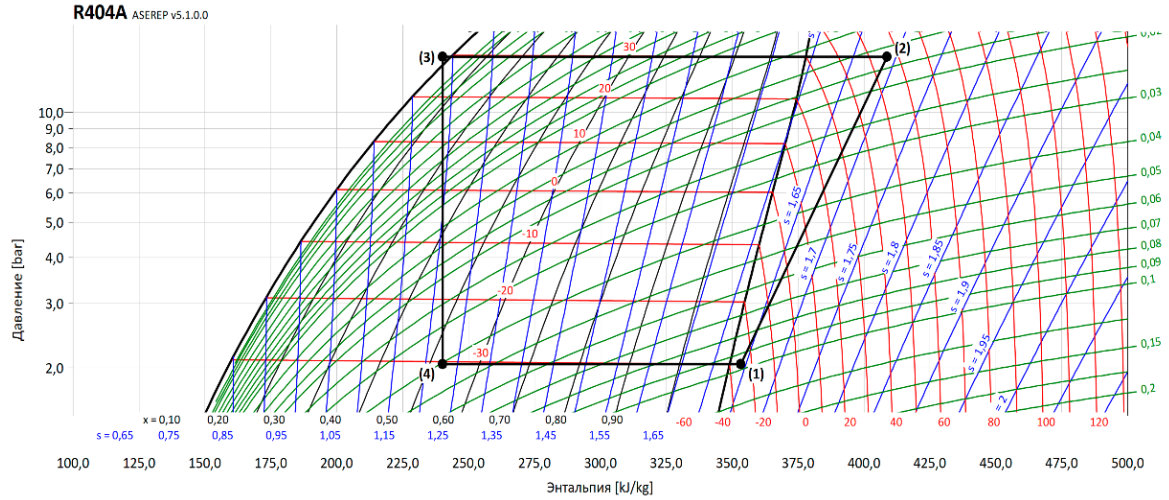


Рис. 2. Цикл в *i-p* диаграмме одноступенчатой холодильной машины.
1 - 2 – адиабатическое сжатие газа в компрессоре, 2 - 3 – охлаждение и конденсация,
3 - 4 – дросселированние, 4 - 1 – кипение хладагента

Степень сжатия меньше 8, значит одноступенчатый цикл подходит для холодильной машины.

После выбора и расчета холодильного цикла возможно рассчитать и подобрать оборудования для плиточного морозильного аппарата. Первым составляющим будет подбор компрессора. Для подбора требуется определить теоретическую объемную подачу компрессора. Сначала определяем расчётную холодопроизводительность компрессора:

$$Q_{км} = \frac{Q_0 \cdot a}{b},$$

Q_o – расчетное количество теплопритоков на компрессор; a = 1,02 ÷ 1,12 – коэффициент, учитывающий потери во всасывающем трубопроводе (нагрев, гидравлические потери и расширение пара в трубе); b = 0,64 ÷ 0,87 – Коэффициент рабочего времени для малых установок.

Далее проведем расчет массового расхода хладагента в компрессоре с помощью уравнения:

$$G_a = \frac{Q_{км}}{q_0},$$

где q_0 – удельная холодопроизводительность морозильного аппарата.

Объемный расход пара хладагента на всасывание в компрессоре можно рассчитать с по формуле:

$$V_a = G_a \cdot \upsilon_1.$$

Теоретическая объемная подача компрессора можно провести с помощью уравнения:

$$V_m = \frac{V_a}{\lambda_{км}},$$

где $\lambda_{км}$ =0,75 – коэффициент подачи.

Для конструирования испарителя важно рассчитать поверхность теплообмена. В зависимости от тепловой нагрузки определяется необходимая площадь испарителя. Требуемую площадь поверхности определяют по формуле [5]:

$$F_u = \frac{Q_0}{h \cdot \theta_u},$$

где Q – тепловая нагрузка на оборудование, Вт; $\theta_и$ – средняя логарифмическая разность температур, ℃.

Среднюю логарифмическую разность температур можно вычислить с помощью следующего уравнения:

$$\theta_m = \frac{t_i - t_{fm}}{\ln \frac{t_i - t_a}{t_{fm} - t_a}},$$

При подборе воздушного конденсатора необходимо рассчитать площадь поверхность теплообмена. Ее можно определить по следующей формуле [5]:

$$F = \frac{Q_k}{h_k \cdot \theta_к},$$

где $Q_к$ – тепловая нагрузка на конденсатор; $h_к$= 80 Вт/(м^2 ℃) – коэффициент теплопередачи между воздухом и поверхностью труб конденсатора; $\theta_к$ – средняя логарифмическая разность температур, ℃.

Тепловая нагрузка на конденсатор можно рассчитать по следующему уравнению:

$$Q_к = G_к(i_2 - i_3),$$

Среднюю логарифмическую разность температур можно вычислить с помощью следующего уравнения:

$$\theta_m = \frac{t_{в1} - t_{в2}}{\ln \frac{t_н - t_{в1}}{t_н - t_{в2}}},$$

где $t_{в1}$, $t_{в2}$ – температура воздуха в начале и в конце конденсации, ℃; $t_н$ – температура конденсации хладагента, ℃.

Заключение

В ходе работы был выбран плиточный скороморозильный аппарат, за его простоту реализации в сравнении с погружными и криогенными аппаратами и большую эффективность в сравнении с воздушным аппаратом.

Из продуктов для замораживания была выбрано мясо птицы размером 0,23х0,13х0,036 м с начальной температурой 10 ℃. Данный продукт был заморожен до температуры -20 ℃.

Чтобы получить данный результат, был рассчитан суммарный теплоприток, который составил 547 Вт энергии, которое потребуется отвести от продукта во время его заморозки, с помощью холодильного цикла. Так же потребуется обшить микроволновую

печь теплоизоляционным материалом – пенополистирол толщиной 5 см с каждой стороны.

В ходе расчета и подбора оборудования, была выбрана температура конденсации хладагента 30 ℃ и температура испарения -30 ℃. Был подобран поршневой компрессор Danfoss MTZ22JC5VE. Испаритель с площадью поверхностью 0,084 м^2 и конденсатор с площадью поверхности 1,41 м^2.

Литература

1. Бабакин Б.С., Воронин М.И., Семенов Е.В., Бабакин С.Б., Белозеров А.Г., Сучков А.Н. Моделирование процесса замораживания плоских мясных продуктов // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 46–51.
2. Xanthakis E., Le-Bail A., Ramaswamy H. Development of an innovative microwave assisted food freezing process // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2014.– V. 26. P. 176–181.
3. Валентас К. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / Валентас К. Дж., Ротштейн Э., Сингх Р. П. / пер. с англ. под общ. науч. Ред. Ишевского А.Л. СПб: Профессия. 2004. 848 с.
4. Эванс Д.А. Замороженные пищевые продукты: производство и реализация / Эванс Дж. А. Пер. с англ. СПб.: Профессия. 2010. 440 с.
5. Данилова Г.Н. Сборник задач по процессам теплообмена в пищевой и холодильной промышленности / Данилов Г.Н., Филаткин В.Н., Щербов М.Г., Бучко Н.А. М.: Колосс. 4-е изд. 1995. 303 с.

УДК 620.92

ТЕХНОЛОГИИ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В «ЗЕЛЕНОЙ» ЭНЕРГЕТИКЕ

Я.Ю. Малькова
Научный руководитель – к.т.н. Р.А. Уфа
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
e-mail: yamalkova96@gmail.com

Аннотация
В работе представлено обоснование целесообразности установки объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии в сочетании с системами накопления энергии. Среди имеющихся технологий накопления и хранения энергии выделены водородные накопители и приведены факторы, отражающие преимущества установки накопителей данного типа. Представлена возможность расширения функционала водородных накопителей с точки зрения управления спросом и ценообразованием на рынке электрической энергии.
Ключевые слова
Возобновляемые источники энергии, системы накопления энергии, водородный накопитель, оптимизационная задача, оптимальная мощность, оптимальное размещение.

Траектория низкоуглеродного развития экономики предполагает повышение энергоэффективности непрерывных и взаимосвязанных процессов генерации, преобразования, передачи и потребления электроэнергии конечным потребителем. В частности, на этапе генерации электроэнергии имеют место следующие мероприятия по оптимизации: во-первых, повышение эффективности производственного процесса уже установленного оборудования традиционной генерации, заключающееся в извлечении большего количества электроэнергии из единицы первичных топливных энергоресурсов; во-вторых, изучение и практическое применение нетрадиционных или альтернативных методов генерации электроэнергии, в частности, с использованием энергии солнца и ветра – солнечных и ветряных электростанций соответственно.

Однако, несмотря на очевидные преимущества «зеленой» генерации, такие как экологичность и неисчерпаемость первичных энергоресурсов, функционирование данных объектов в составе энергосистемы сопровождает ряд особенностей. Так, количество вырабатываемой ими электроэнергии не подлежит точному прогнозированию и во многом определяется суточными и сезонными погодными изменениями. Таким образом, для обеспечения надежного энергоснабжения конечного потребителя в любое время дня и сезона года вне зависимости от погодных изменений целесообразно осуществлять совместную установку объекта генерации на основе возобновляемых источников энергии и резервного источника генерации (например, дизельного генератора) или же системы накопления энергии. В рамках данной статьи рассмотрим второй вариант – совместное размещение объекта возобновляемой генерации и системы накопления энергии.

Актуальная климатическая повестка и стратегические документы социально-экономического развития РФ, в частности, Послание Президента РФ Федеральному Собранию РФ от 21.04.2021 г., предопределяют использование чистых технологий с минимальным углеродным следом и в целом воздействием на состояние окружающей среды. В соответствии с чем, выбор технологии накопления и хранения энергии в рамках

поставленной задачи по повышению энергоэффективности производственного процесса посредством совместной установки объекта «зеленой» генерации и системы накопления энергии был осуществлен в пользу водородных накопителей. Кроме того, к преимуществам данного типа накопителей можно отнести следующее [1, 2]: во-первых, экологичность процессов, протекающих в топливном элементе; во-вторых, доступность первичного энергоносителя для технологии получения водорода посредством электролиза из воды, а также достаточно большая величина энергоемкости, в несколько раз превышающая соответствующее значение для первичных топливных энергоресурсов объектов традиционной генерации. Стоит отметить, что технология получения водорода электролизом из воды в настоящее время ввиду отсутствия соответствующего технико-экономического обоснования практически не применяется, однако именно данный способ (так называемый «зеленый» водород) является наиболее экологичным и принимается в качестве расчетного в дальнейшем при оценке КПД процесса преобразования излишней электроэнергии в водород.

В настоящее время установка любого типа системы накопления энергии с точки зрения экономической эффективности может быть оправдана только при наличии сопутствующего функционала, например, участие в регулировании и поддержании на заданном уровне режимных параметров энергосистемы и т.д. Так, в случае с водородным накопителем ввиду особенностей его типоразмера возможно принятие участия в регулировании ценообразования на рынке электрической энергии.

Предложенная концепция заключается в следующем: в дневные часы (часы избыточной генерации объекта возобновляемой генерации) осуществляем накопление энергии, а затем в вечерние часы перемещаем накопитель в оптимальный узел рассматриваемого энергорайона, определенный разработанным автором программным обеспечением [3], и разряжаем его на текущую нагрузку по повышенному тарифу. Таким образом, водородный накопитель принимает непосредственное участие в регулировании тарифной ставки и спроса на электроэнергию, в том числе обеспечивает выравнивание графика нагрузки.

Приведем анализ результатов одного из расчетных экспериментов по заряду и разряду водородного накопителя на примере тестовой 15-узловой схемы IEEE [4]. Избыточная генерация объекта возобновляемой генерации в дневные часы составляет 1764 кВт ч, с учетом суммарного КПД процессов преобразования из электроэнергии посредством электролиза в водород и обратного преобразования в электроэнергию из водорода в топливном элементе располагаемая емкость предполагаемого к установке накопителя составляет лишь 917 кВт ч. Далее было сделано следующее допущение, что половина емкости представлена стационарным накопителем и размещается в узле установки объекта возобновляемой генерации (узел 3), а вторая половина – передвижным накопителем, оптимальное размещение последнего подлежит определению.

В рамках представленного сценария разряд обоих накопителей осуществлялся за три ночных часа, а именно с 22-го по 24-й час исследуемых суток включительно. Полагаем, что разряд осуществляется равномерно в течение трех часов (установлено ограничение на выдачу мощности накопителем – не более 153 кВт за час). Результат расчета программного обеспечения представлен на рисунке.

Приведем пояснение информации, выводимой программой:

1. «Optimal power of BSS = 152.8450 kW» – оптимальная мощность, выдаваемая накопителем в данный расчетный час, составляет 152,8450 кВт.
2. «Optimal location of BSS: 6» – оптимальный узел для размещения передвижного накопителя – 6-й.
3. «Losses of active power = 8.5343 kW» – суммарные потери активной мощности в исследуемой схеме в расчетный час составляют 8,5343 кВт.

4. «Reduction of losses of active power in comparison with the scheme with no BSS = 28.7619 %» – сокращение потерь активной мощности при данном размещении передвижного накопителя в сравнении с исходной схемой составляет 28,7619 %.

5. «Voltage profile is meet constraints: true» – наложенное ограничение на отклонение уровня напряжения (допустимое отклонение – не более 5 % в положительную и отрицательную сторону от номинального значения) выполнено.

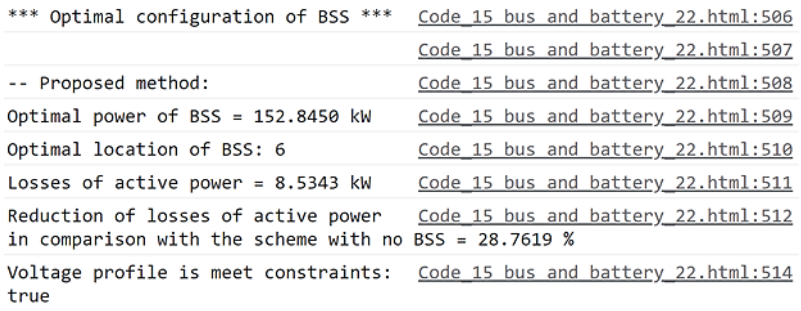


Рисунок. Результат расчета для 22-го часа исследуемых суток

По результатам расчета для всех трех исследуемых часов в качестве оптимального для размещения передвижного накопителя принят узел 6. Эффективность рекомендуемого размещения накопителя подтверждает наблюдаемое сокращение суммарных потерь активной мощности за исследуемые сутки с 257 кВт до 249 кВт.

Таким образом, в данной статье рассмотрена концепция совместной установки объекта «зеленой» генерации и водородного накопителя в контексте повышения энергоэффективности производственного процесса и следования актуальной климатической повестке. Выполнено соответствующее исследование на примере типовой 15-узловой схемы IEEE в разработанном программном обеспечении и установлена эффективность внедрения данных энергообъектов с точки зрения влияния на режимные параметры энергосистемы, в том числе суммарные потери мощности и уровень напряжения.

Литература

1. Louie H., and Strunz K. Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) for Energy Cache Control in Modular Distributed Hydrogen-Electric Energy Systems // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2007. V. 17. №2. P. 2361–2364.
2. Pan G., Gu W., Lu Y., Qiu H., Lu S., and Yao S. Optimal Planning for Electricity-Hydrogen Integrated Energy System Considering Power to Hydrogen and Heat and Seasonal Storage // IEEE Transactions on Sustainable Energy. 2020. V. 11. № 4. P. 2662–2676.
3. Определение оптимального места и мощности объектов распределенной генерации /Малькова Я.Ю., Уфа Р.А., Разживин И.А.; свид. ЭВМ RU 2022611224; заявл. 13.01.22; опубл. 21.01.22. Бюл. № 2.
4. Zheng Y., Hill D., Song Y., Zhao J., and Hui S. Optimal Electric Spring Allocation for Risk-Limiting Voltage Regulation in Distribution Systems // IEEE Transactions on Power Systems. 2020.V. 35. № 1. P. 273–283.

УДК 681.5

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АСУТП ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Д.Х. Мирзоев
Научный руководитель – к.т.н., доцент В.Л. Лазарев
Университет ИТМО
e-mail: Dalermirzoevkh@mail.ru

Аннотация
Одной из актуальных проблем для предприятий по переработке нефти является повышение качества выпускаемой продукции. В значительной мере это относится к бензиновой, керосиновой и др. фракциям, используемым в различных сферах деятельности. Решение стоящей проблемы возможно на путях совершенствования и расширения функций АСУТП переработки нефти. Здесь, помимо «классических» задач, связанных с организацией мониторинга и регулирования технологических параметров процесса, необходимо также предусмотреть возможность адаптации системы управления к проявлению различных возмущающих воздействий. В производственных условиях таковыми, например, могут являться суточные и сезонные изменения температуры наружного воздуха, проявление других климатических и производственных факторов. В результате может возникнуть значительная неоднородность температурного поля на поверхности тарелок, где происходит испарение различных фракций нефти, что, в свою очередь, может привести к появлению различных примесей в продукте.
Внедрение предлагаемых решений будет способствовать повышению качества выпускаемой продукции, уменьшению брака.

Ключевые слова
Переработка нефти, АСУТП, адаптивное управление, неоднородность температурного поля, качество продукции.

Одной из перспективных структур алгоритмического и программного обеспечения АСУТП в различных областях производственной деятельности является так называемая блочно модульная структура. В этом случае соответствующее прикладное программное обеспечение (ПО) представляется в виде набора программных модулей (ПМ), предназначенных для решения конкретных задач. Таковыми, например, могут являться модули для централизованной коммутации и контроля технологических параметров, решения задач оптимизации технологических режимов ведения процессов для различных вариантов исходных данных и критериев оптимизации, отображения результатов мониторинга и др. Такая структура обладает «гибкостью», способностью адаптации к изменяющимся особенностям производственной деятельности за счет целенаправленного изменения и пополнения набора соответствующих ПМ. Также, при необходимости, может быть осуществлена «оптимизация» прикладного ПО путем исключения из его состава не используемых ПМ. Таким же путем представляется возможность совершенствования и развития функций АСУТП.

В свете сказанного, проблема выбора перспективных направлений разработки прикладного ПО для АСУТП, в виде соответствующих ПМ для крекинга нефти, является актуальной.

Анализ литературных источников и существующих разработок в данной области позволяет сделать вывод, что в список задач, решаемых современными АСУТП, помимо «классических» задач централизованного контроля, регулирования технологических

параметров, когнитивного отображения состояний процесса и др., необходимо включить следующие пункты [1, 2].

Одной из важнейших задач, непосредственно связанных с повышением качества и минимизации количества посторонних примесей в различных фракциях, является задача мониторинга и управления состояниями неопределенности температурных полей на поверхностях испарения соответствующих тарелок ректификационной колонны. Существующие системы управления, как правило, обеспечивают поддержание температуры на испаряющей поверхности в контрольной точке (в месте установки соответствующего датчика). Однако, в силу действия ряда факторов (сезонных, климатических, производственных и др.), может иметь место разброс или рассеяние температур в различных точках поверхности. В результате в отдельных испаряемых фракциях могут появиться дополнительные примеси, ухудшающие показатели качества продукции.

Для решения стоящей задачи, изначально, необходимо выбрать метод и величину количественной оценки состояния неопределенности температурного поля рабочей поверхности тарелки. Сравнительный анализ существующих разработок в этой области позволяет сделать выбор в пользу величины энтропийного потенциала (ЭП) этого поля – Δ_e, определяемую из выражения

$$\Delta_e = K_e \sigma, \tag{1}$$

где K_e – энтропийный коэффициент закона распределения значений температуры на рабочей поверхности, позволяющий учесть влияние этого закона на состояние неопределенности анализируемого поля;

σ – величина среднего квадратического отклонения (СКО) значений температуры относительно среднего значения.

Величина энтропийного коэффициента изменяется в пределах:

$$1 \leq K_e \leq 2.07. \tag{2}$$

Причем, в (2) верхнее значение K_e соответствует нормальному закону распределения, а нижнее – дискретному двузначному распределению. Из (1) и (2) можно оценить «степень» влияния вида закона распределения на состояние неопределенности исследуемого параметра.

Значения оценок величин K_e и σ могут быть получены на основании результатов измерения температур в различных точках анализируемой поверхности. Для этих целей удобно использовать бесконтактные методы и средства измерений, например, пирометрические термометры. При этом можно реализовывать различные алгоритмы сканирования поверхности и выбора точек измерения. Таким образом, имеются необходимые предпосылки для организации оперативного мониторинга состояния неопределенности температурного поля рабочих поверхностей тарелок ректификационной колонны в производственных условиях [3]. Практическая реализация замысла на уровне прикладного ПО может быть представлена в виде соответствующего ПМ для проведения анализа температурного поля на основе ЭП. Схемы и методы проведения необходимых для этих целей вычислений имеются в специальной литературе.

Другой задачей АСУТП является реагирование на ситуацию, обусловленную достижением состояния неопределенности температурного поля некоторого наперед заданного предельно допустимого значения - $\Delta_e(max)$, то есть при наступлении условия

$$\Delta_e \geq \Delta_e(max). \tag{3}$$

Значение величины $\Delta_{e(max)}$ устанавливается исходя из вида извлекаемой фракции, требований к ее качеству, различных производственных ситуаций и др.

Варианты реакции системы управления на возникновение ситуации, описываемой выражением (3) могут быть различными. Одним из возможных вариантов может являться выдача команды на исполнительный механизм, управляющий клапаном переключения, установленном на отводящем трубопроводе для конкретной фракции, в положение «возврата продукции» для проведения повторной возгонки с последующей сигнализацией оператору. При нарушении соотношения (3) будет выдана команда на соответствующий исполнительный механизм для срабатывания в обратном направлении.

Возможны и другие варианты реакции системы, основанные на использовании специальных каналов внесения управляющих воздействий для управления состояниями неопределенности, например, использовании принудительной вентиляции и др.

Достоинством изложенного подхода к решению поставленных задач является то обстоятельство, что использование понятия ЭП позволяет оценивать изменение состояний неопределенности любого параметра количеством «порождаемой» этим процессом информации, что создает дополнительные возможности в организации мониторинга и управления [4].

Следует также отметить, что данный подход может быть применен к исследованию различных объектов и систем: технических, социальных и др. [3-5].

Литература

1. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. М.: Инфра-Инженерия. 2008. 928 с.
2. Системы автоматизации в нефтяной промышленности: учебное пособие / [Прахова М.Ю. и др.]; под общ. ред. М.Ю. Праховой. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 304 с.: ил., табл.
3. Патент № 2296356 C1 Российская Федерация, МПК G 05 B 13/00. Способ контроля и управления динамической системой: № 2005124236/09: заявл. 29.07.2005: опубл. 27.03.2007 / Лазарев В.Л.
4. Lazarev V.L. Representative information models for monitoring and control in the conditions of uncertainty / Lazarev V.L. // Proceedings of International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2015: 18, St. Petersburg, 19–21 мая 2015 года. St. Petersburg. 2015. P. 54–57. DOI 10.1109/SCM.2015.7190408.
5. Кулаков В.Г. Энтропийные модели в исследовании социальных систем / Кулаков В.Г., Лазарев В.Л., Федулин В.А. // Вопросы статистики. 2010. № 10. С. 47–50.

УДК 544.6.018; 620; 621.352.6

МЕМБРАННО-ЭЛЕКТРОДНЫЙ БЛОК С МЕМБРАНОЙ С КОРОТКИМИ БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ

А.О. Пелагейкина
Научный руководитель – к.ф.-м.н. Н.В. Глебова
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
e-mail: pelaanna@yandex.ru

Аннотация
В данной работе приводятся результаты исследования некоторых электрохимических характеристик мембранно-электродных блоков (МЭБ) водородного топливного элемента, построенных на полимерных протонпроводящих мембранах отечественного производства типа Nafion (МФ-4СК производства ОАО «Пластполимер») и Аквион производства ИВС РАН.
Ключевые слова
Водородный топливный элемент, протонпроводящие мембраны, Аквион, Nafion, влияние температуры.

Водородная энергетика активно внедряется в современную индустрию. Так, по приведенным данным за последние несколько лет, можно заметить стабильное увеличение количества производимых топливных элементов (ТЭ) и улучшение их характеристик [1]. Улучшения характеристик водородных ТЭ удалось достигнуть за счет усовершенствования ТЭ, определения оптимальных условий эксплуатации и совершенствования компонентов мембранно-электродного блока (МЭБ), в частности протонпроводящей мембраны. Принято считать, что протонпроводящие мембраны с короткой боковой цепью, к которым относится и мембрана типа Аквион, отличаются от традиционных работоспособностью в несколько более высокотемпературной области [2].

Для сравнительного анализа некоторых электрохимических характеристик было изготовлено два различных образца МЭБ. В качестве электродов МЭБ использовались платинированная углеродная сажа E-TEK, содержащая 40% Pt, иономеры Nafion и Aquivion в составе разных МЭБ. В качестве мембран были использованы протонпроводящие мембраны типа Аквион и Nafion. В ходе исследования были получены вольт-амперные и вольтмощностные характеристики МЭБ с различными мембранами при разных температурах. При увеличении температуры электрохимические характеристики этих МЭБ менялись по-разному.

При общем несколько более высоком ионном сопротивлении МЭБ с мембраной МФ-4СК (аналог Nafion) имеет температурную зависимость с минимум при 40 °С (рис. 1). Это можно объяснить конкурированием двух процессов: увеличением проводимости с увеличением температуры и увеличением сопротивления при потере влаги иономером. При 80 °С вольт-амперные характеристики (ВАХ) получить не удалось в связи с высыханием образца. Вольтмощностные характеристики отражают аналогичную картину (рис. 2).

МЭБ с мембраной Аквион имел температурную зависимость сопротивления, характеризующуюся некоторым ростом с температурой. При 80 °С образец был вполне работоспособен (рис. 3). Вольтмощностные характеристики также оказались лучше в сравнении с МЭБ с мембраной МФ4-СК (рис. 4). При этом образец с мембраной типа МФ-4СК продемонстрировал несколько более высокую массовую активность платины в реакции восстановления кислорода. Это можно объяснить различной структурой

межфазной области в случае разных иономеров и различной степенью использования поверхности платины.

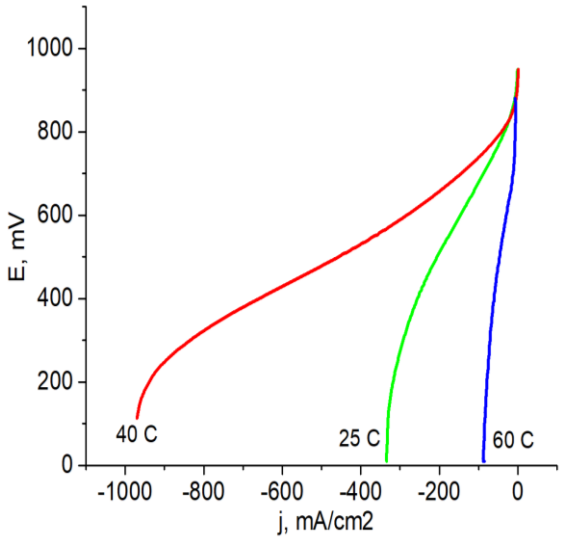


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики МЭБ с мембраной МФ4-СК

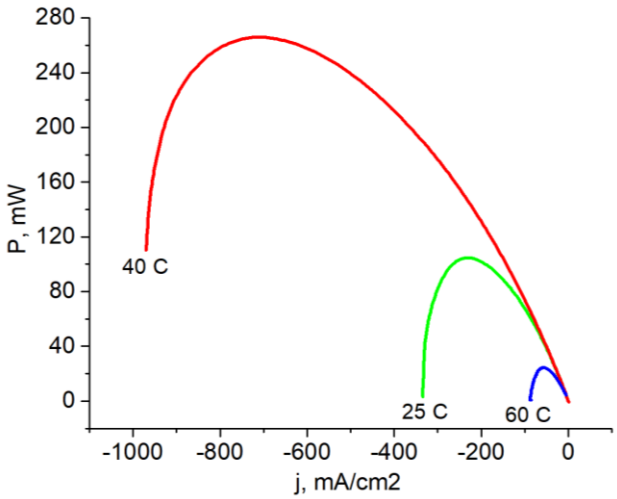


Рис. 2. Вольтмощностные характеристики МЭБ с мембраной МФ4-СК

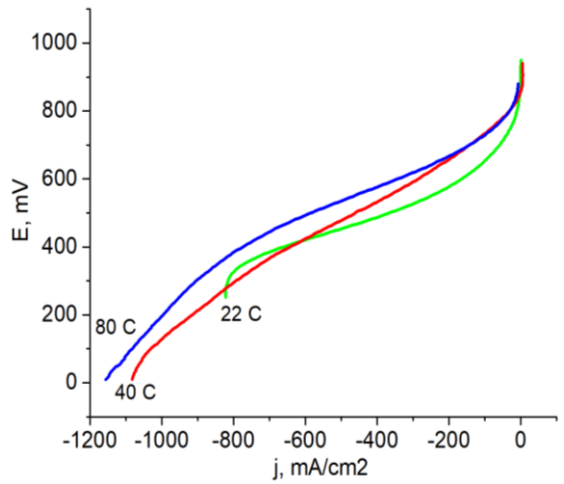


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики МЭБ с мембраной Аквион

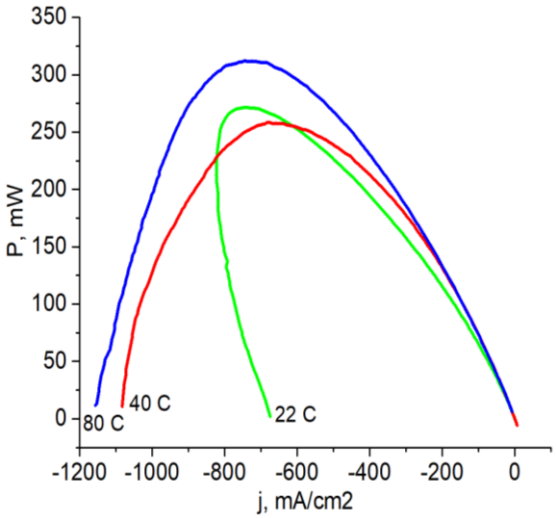


Рис. 4. Вольтмощностные характеристики МЭБ с мембраной Аквион

Протонпроводящая мембрана с более короткой боковой цепью типа Аквион отличается работоспособностью в несколько более высокотемпературной области, можно утверждать, что такая мембрана более влагонезависима. Предположение, что различие полученных характеристик обусловлено различной структурой межфазной области в случае разных иономеров позволит расширить спектр исследований. Мембрана Аквион, в свою очередь, перспективна для дальнейших исследований при более высоких температурах.

Автор благодарит Примаченко О.Н. (ИВС РАН) за предоставление образцов мембраны и иономера типа Аквион для исследования.

Литература

1. The Fuel Cell Industry Review 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://fuelcellindustryreview.com/ (дата обращения: 14.04.2022).
2. Primachenko O.N., Marinenko E.A, Odinokov A.S., Kononova S.V., Kulvelis Y.V., Lebedev V.T. State of the art and prospects in the development of proton-conducting perfluorinated membranes with short side chains: A review // Polymers for Advanced Technologies. 2021. V. 32. № 4. P. 1386–1408.

УДК 621.59

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КРУПНОТОННАЖНОГО ЗАВОДА СПГ

А.Д. Ракшин
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Ю. Баранов
Университет ИТМО
e-mail: adrakshin@itmo.ru

Аннотация
В работе рассмотрены варианты исполнения систем автономного энергоснабжения для заводов сжиженного природного газа (СПГ) с использованием различных типов приводов компрессоров. Проанализированы комплектации систем энергоснабжения на ведущихся в РФ СПГ-проектах. Предложено решение по использованию парового привода компрессоров в энергосистемах российских проектов.
Ключевые слова
СПГ, автономное энергоснабжение, привод компрессора, газовые турбины, паровые турбины, паровая генерация.

По оценке применяемых в мировой практике технологий ожижения природного газа, минимальные затраты энергии на производство 1 тонны СПГ составляют около 0,80 МВт · ч. Наибольшей производительностью среди реализуемых в России на 2022 год крупнотоннажных СПГ-проектов обладает завод «Арктик СПГ-2». В рамках данного производства планируется создание трёх технологических линий по 6,6 млн. тонн СПГ в год каждая. Если оценивать минимальные предполагаемые затраты на энергоснабжение подобного предприятия, то для обеспечения выработки заявленных в проекте 19,6 млн. тонн СПГ в год понадобится около 1800 МВт электроэнергии. Полученное значение необходимой для функционирования завода мощности сопоставимо с суммарной мощностью двух энергоблоков Ленинградской АЭС, являющейся на данный момент лидером среди атомных электростанций в РФ по имеющимся производственным мощностям.

Высокая энергоемкость крупнотоннажного производства СПГ является причиной, по которой вопрос выбора системы для энергоснабжения подобного производственного комплекса на этапе проектирования становится сравнимым по важности с выбором технологии ожижения природного газа. От эффективности выбранной системы энергоснабжения зависит экономичность проектируемого производства в целом. С учетом эффекта масштаба, подобное решение носит принципиальное значение для снижения эксплуатационных затрат крупнотоннажного завода СПГ.

В силу географических особенностей расположения крупных месторождений природного газа в РФ, строительство крупнотоннажных производств СПГ ведется преимущественно в арктической зоне. Это исключает возможность использования внешних электрических мощностей для нужд завода из-за удаленности основных систем централизованного электроснабжения. Прокладка новых линий электропередач не является рентабельным вариантом, поэтому на этапе проектирования выбор делают в пользу создания систем локальной или автономной генерации энергии [1]. На практике подобные системы имеют несколько вариантов исполнения, различающихся по типу применяемой для привода компрессоров силовой установки. Выбор конкретного типа установки происходит на основании ряда факторов, носящих технологический, экономический или политический характер.

В мировой газовой индустрии в автономных системах энергоснабжения комплексов по производству СПГ для привода компрессоров используются 3 различных вида силовых установок: электродвигатели, газовые и паровые турбины. Исходя из истории развития газовой отрасли, начиная с 80-х годов XX века в связи совершенствованием технологий использования промышленных газовых турбин, а именно повышением их мощности, этот вид силовых установок является наиболее часто применимым в энергосистемах новых СПГ-проектов.

Одним из главных достоинств использования газовых турбин является возможность их использования для работы в отдаленных от основных центров выработки электроэнергии районах, лишенных доступа к водным ресурсам и инженерным коммуникациям. Также для энергосистем с газовыми турбинами характерны относительно малые габариты в силу отсутствия необходимости в установке котельного оборудования. В то же время ряд выходных мощностей для газовых турбин является дискретным из-за наличия ограниченного числа допустимых скоростей вращения вала.

На сегодняшний день на всех ведущихся в РФ проектах по крупнотоннажному производству СПГ строятся или уже находятся в эксплуатации автономные системы энергоснабжения, где в качестве силовых установок используются именно газотурбинные установки (ГТУ) [2]. Данные по техническим характеристикам ГТУ, используемых в российских проектах, приведены в таблице.

Таблица

Характеристики ГТУ в энергосистемах СПГ-проектов в РФ

Название СПГ-проекта	Производительность, млн. тонн/год	Модель ГТУ	Мощность ГТУ, МВт	КПД ГТУ, %	Ресурс ГТУ, лет
Сахалин-2	9,6	Frame 7 EA	86,0	33,9	≈ 30
ГПЗ КПЭГ в Усть-Луге	13	Н-100	116	37,8	≈ 25
Ямал СПГ	16,5	SGT 800	47,0	37,5	≈ 30
Арктик СПГ-2	19,8	LM9000	73,5	42,0	≈ 25

Из табл. 1 следует, что в российских СПГ-проектах используются газовые турбины иностранного производства. КПД применяемых ГТУ, за исключением турбины LM9000, применявшейся ранее в авиационных двигателях, находится в диапазоне 34÷38 %. Ресурс данных ГТУ не превышает 30 лет. На протяжении всего срока эксплуатации гарантийное обслуживание этих установок производится по контрактным обязательствам иностранными компаниями-поставщиками. Это делает российские заводы СПГ зависимыми от политической обстановки в мире, так как налаженного производства отечественных моделей ГТУ средней и большой мощности, необходимых для создания автономных систем энергоснабжения новых СПГ-производств, в РФ нет.

Применение для привода компрессоров электродвигателей в энергосистемах российских СПГ-проектов могло бы быть вариантом с наименьшими эксплуатационными и капитальными затратами. Но подобное решение является нецелесообразным из-за наличия у данного вида силовых установок потребности во внешнем источнике электроэнергии, обеспечить который из-за особенностей географического положения крупнотоннажных заводов СПГ в РФ не представляется возможным.

Для использования паровых турбин в условиях российского расположения СПГ- производств подобных ограничений нет. В практике мировой газовой индустрии

паротурбинные установки (ПТУ) уже использовались. для осуществления автономного энергоснабжения на первых крупнотоннажных заводах СПГ. Примером подобного технологического решения может послужить первый в мире крупнотоннажный завод СПГ в Арзеве (Алжир), где в 1964 году качестве привода компрессоров для каждой производственной линии были применены паровые турбины с использованием предварительно подготовленной морской воды. Последний раз для привода компрессоров данный вид силовых установок использовали в 1983 году на крупнотоннажном СПГ-заводе в Бинтулу (Малайзия) [3].

По сравнению с газовыми турбинами, ПТУ обладают рядом значительных преимуществ, таких как высокий КПД современных моделей 40-43 % и возможность создания силовой установки с требуемой для завода регулируемой выходной мощностью [4]. Кроме того, ПТУ обладают более длительным сроком службы, что в случае их применения позволит обеспечить проекту экономическую выгоду с учетом эффекта масштаба крупнотоннажных производств СПГ в РФ. Однако применение парового привода для компрессоров потребует установки на площадке завода СПГ котельного оборудования, установок для подготовки воды, а также большого числа вспомогательного оборудования для функционирования системы охлаждения. Это приведет к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат на обеспечение работы производственного комплекса, что предположительно может быть нивелировано за счет указанного ранее экономического эффекта.

У российского энергетического машиностроения накоплен значительный опыт по производству паровых турбин как для теплоэлектростанций, так и для объектов атомной отрасли, а также имеется отлаженное серийное производство моделей ПТУ с широким диапазоном выходных мощностей. Использование отечественного оборудования позволило бы также минимизировать риски финансовых потерь из-за возможного длительного простоя производства в силу отсутствия возможности проведения ремонта или замены энергетического оборудования, а именно ГТУ иностранного производства.

Поэтому использование паровых турбин российского производства для автономного энергоснабжения крупнотоннажных производств СПГ в РФ является перспективным технологическим решением, которое позволит минимизировать риски простоя производства, а также создать условия для экономического роста страны за счет загрузки отечественных промышленных мощностей. В дальнейшем планируется разработать техническое решение для создания автономной системы энергоснабжения СПГ-завода на основе отечественных комплектующих и провести оценку внедрения подобного решения на одном из российских крупнотоннажных СПГ-проектов.

Литература

1. Федорова Е.Б., Федорова В.А., Макуха А.С. Особенности проектирования производства СПГ//Деловой журнал «Neftegaz.RU». 2018. № 5. С. 16-21.
2. Карпов А.Б., Кондратенко А.Д., Мещерин И.В. Российские производства по сжижению природного газа//Деловой журнал «Neftegaz.RU». 2019. № 10. С. 68-80.
3. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина 2011. 159 с.
4. Зысин Л.В. Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции: учеб. пособие. СПб.: Изд.-во Политехн. ун-та. 2010. 368 с.

УДК 621.59

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СОСТАВУ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА МИРОВЫХ РЫНКАХ

С.Д. Чубова[1]
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Ю. Баранов[2]
1 – Университет ИТМО
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»
chubova_sofi@mail.ru

Аннотация
В работе рассмотрены требования стран-потребителей к теплотворной способности СПГ. Рассмотрены способы коррекции состава СПГ по требованиям покупателей, проведен сравнительный анализ методов. Также, проанализированы возможности приведение состава и теплотворной способности СПГ к единому мировому стандарту.
Ключевые слова
СПГ, ВТС, высшая теплотворная способность, добавление азота, извлечение LPG.

Производство СПГ – одна из самых быстрорастущих отраслей энергетической промышленности. Для многих стран-производителей СПГ является, в основным, объектом экспорта. В отличие от трубопроводных поставок, СПГ, производимый на одном предприятии, может доставляться широкому кругу потребителей в разных странах. В этой ситуации возникает проблема соответствия поставляемой продукции национальным стандартам теплотворной способности топлива. Как показано на рисунке стандартная удельная теплотворная способность природного газа в разных странах варьируется в широких пределах. Поставщик должен обеспечить соответствие своей продукции национальным требованиям получателя СПГ.

Рациональным выходом из сложившейся ситуации было бы существование единого стандарта теплотворной способности природного газа для всего мира. К сожалению, разные страны работают по установившимся правилам, которые определяют национальный уровень цен на энергоносители [1]. В России дополнительные трудности удовлетворение частных требований к теплотворной способности СПГ, усложняется постепенным переходом производителей на комплексное разделение природного газа с извлечением и промышленным использованием его «тяжелых» компонентов. Эта стратегическая линия направлено на удовлетворение потребностей отечественной органической химии в углеводородном сырье прежде всего этане. ярким примером такого подхода переработки природного газа является строящийся в Ленинградской области этанодобывающий завод, на котором планируется перерабатывать до 40 млрд м^3 природного газа в год. После извлечения тяжелых и дорогостоящих компонентов природного газа теплотворная способность СПГ снизится до уровня теплотворной способности чистого метана 37,652 МДж/м^3, т. е. перестанет удовлетворять требования большинства покупателей СПГ (см. рисунок). В таких условиях поставщик должен будет корректировать состав СПГ для приведения его теплотворной способности в соответствие с требованиями каждой из стран импортеров. Следует рассмотреть технологические приемы, которые позволят выполнить такую коррекцию [2].

На всех предприятиях по производству СПГ сырьевой газ проходит глубокую очистку от высококипящих компонентов; кислых газов (CO_2, H_2S), ртути и паров воды [3]. Затем путем фракционирования осуществляется извлечение, этана, пропана, бутана, пентана и других тяжелых углеводородов. Эти компоненты, могут в товарных

количествах накапливаться на предприятии и использоваться для коррекции удельной теплотворной способности (ВТС) СПГ под требования конечных потребителей.

Данная характеристика СПГ (ВТС), напрямую зависит от состава газа, точнее от наличия максимального или минимального количества тяжелых углеводородов. «Жирным» называют природный газ, который содержит большое количество тяжелых углеводородов, и как правило, имеет высокую ВТС, а «тощим» называют природный газ, который состоит в основном из метана, поэтому имеет низкую ВТС. Если потребитель СПГ будет использовать газ с отличной от заявленной теплотворной способностью, это может привести к некорректной работе горелок газовых турбин, что в дальнейшем может привести к разрыву финансовых отношений с поставщиком, а также к понесенным убыткам.

Высшая теплотворная способность газа, то есть ВТС, является одной из главных характеристик качества газа. Используя ВТС, можно легко определить взаимозаменяемость газа. ВТС зависит от компонентного состава ПГ, поэтому, зачастую, нельзя говорить о взаимозаменяемости СПГ, произведенном на разных предприятиях, потому что композиция газа с разных месторождений отлична друг от друга. Например, в странах Азии потребители используют газ преимущественно с более высокой теплотворной способностью, а в странах атлантического региона, наоборот более низкую (см. рисунок) [4]. В странах ЕС теплотворная способность имеет большой диапазон, но все равно не достигает значений ВТС, принятых в странах Азии.

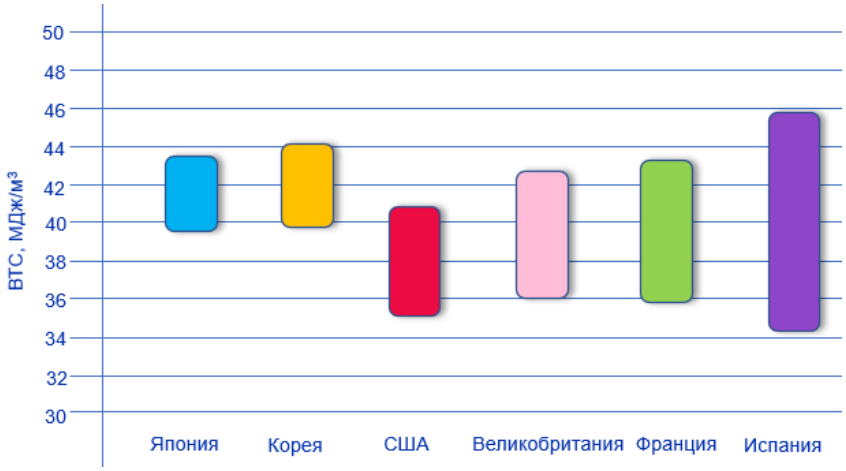


Рисунок. Требования к ВТС газа в различных странах мира [3]

Существуют различные способы уменьшения теплотворной способности СПГ, но зачастую используют либо удаление сжиженного нефтяного газа (LPG), то есть тяжелых фракций углеводородов, либо снижение ВТС происходит за счет добавления азота. Если говорить о первом способе, то для него требуется гораздо больше технических манипуляций, при этом производительность завода снижается ввиду того, что извлечение углеводородов непростая задача. Но, как уже указывалось выше, извлечение тяжелых углеводородов из ПГ актуально, потому что является дополнительным источником дохода, так как данные компоненты являются ценным сырьем для химической промышленности. Немаловажно и то, что при удалении тяжелых углеводородов снижается не только ВТС, но и углеродный след, который образуется при сжигании газа. С учетом перспективы введения углеродного налога в странах ЕС, снижение углеродного следа за счет извлечения тяжелых углеводородов выглядит достаточно рациональным решением.

В том случае, когда требуется быстро и эффективно изменить ВТС используют способ, при котором в ПГ добавляют азот. Данный способ может использоваться, как поставщиком газа, так и его потребителем на стадии регазификации СПГ. Особенностью

этого метода является его относительная дешевизна и эффективность снижения ВТС, при этом азот никак не влияет на увеличение или уменьшения углеродного следа продукции, потому что азот химически инертен. Данный способ способен значительно изменить число Воббе – показатель взаимозаменяемости газа (см. таблицу).

Таблица

Влияние извлечения LPG и добавления азота на ВТС

Параметр	ВТС	С извлечением LPG	С добавлением 3% азота
Высшая теплота сгорания СПГ, МДж/м^3	42,4	40,6	41,4
Число Воббе для СПГ, МДж/м^3	52,9	51,9	51,4

В современном мире нет однозначного решения, какой способ изменения ВТС лучше, потому что композиции газа сильно зависят от месторождений. Способ, приемлемый для одного производства, не обязательно эффективен для другого. Возможно, данное обстоятельство влияет на то, что в мире нет одного стандарта, определяющего качество и количественный состав СПГ. При появлении такого стандарта многим производствам будет просто невыгодно сжижать газ, что приведет к их банкротству. Также, некоторые потребители будут вынуждены менять свое газовое оборудование, что не является финансово-выгодным. В современном мире, как правило, заводы СПГ строятся под требования потребителей, поэтому состав продукта известен заранее, и не существует серьезной проблемы в изменении состава газа.

С учетом тенденции развития отрасли производства СПГ РФ, при производстве СПГ из деэтанизированного природного газа, управление значением ВТС можно организовать за счет добавления к «тощему» СПГ соответствующего количества тяжелых углеводородов. Однако более рациональным решением представляется изменение политики поставок и постепенных переход на поставку СПГ, состоящим в основном из метана, для обоснования такой политики удобно использовать стремление к снижению углеродного следа, который образуется при сжигании энергоносителя.

В работе рассмотрены требования по уровню ВТС, которые предъявляются к композиции СПГ в разных странах. Снижение значения ВТС СПГ, можно обеспечить за счет удаления тяжелых углеводородов или добавление в СПГ азота.

Для повышения ВТС СПГ необходимо повышать содержание тяжелых углеводородов в составе поставляемого продукта, однако этот подход экономически не рентабелен, так как стоимость тяжелых углеводородов в 3–5 раз выше, стоимости СПГ. Необходимо постепенно переходить на поставку СПГ, состоящего в основном из метана, стимулируя потребителей к такому переходу ценовыми преференциями. В условиях острого дефицита энергоносителей на рынке, такая политика может быть достаточно успешной.

Литература

1. Изотов Н.И. Требования к качеству СПГ за рубежом // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. №5(41). С. 20–35.
2. Середенко Е.С., Пахомов О.В., Баранов А.Ю. Математическая модель испарения сжиженного природного газа и анализ влияния исходного состава на скорость испарения [Mathematical model of liquefied natural gas evaporation and analysis of

original composition effect on evaporation speed] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics]. 2020. Т. 20. № 4(128). С. 603– 610.
3. ГОСТ Р 56021-2014. Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технические условия. – Введен 01.01.2016. М.: Стандартинформ. 2014. 11 с.
4. Изотов Н.И. Сжиженный природный газ. Технологии и оборудование / Под ред. Одишария Г.Э. М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2013. 306 с.

УДК 697.2

ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ (ВОДЯНЫХ) ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

В.М. Шеин, А.А. Никитин
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Никитин
Университет ИТМО
e-mail: shein512.54@gmail.com

Аннотация
В данной статье произведён расчет внутреннего теплообмена (те процессы, которые происходят внутри инфракрасного излучателя). Описаны виды инфракрасных излучателей, описаны их основные характеристики. Представлена схема процесса распространения излучения в помещении, по которой будет выполнен расчет внешнего теплообмена и определены угловые коэффициенты. Поставлены задачи для дальнейшего исследования и проектирования.
Ключевые слова
Отопление, инфракрасные излучатели, внутренний теплообмен, внешний теплообмен, угловые коэффициенты.

На сегодняшний день вопросы повышения энергетической эффективности систем отопления стоит наиболее остро [1]. Одним из перспективных направлений, развивающихся в данный момент является радиационное отопление на основе низкотемпературных инфракрасных излучателей. На основе найденных материалов и публикаций, ученых как российских, так и зарубежных был определен основной вектор исследований – охлаждение. Поскольку вопросами теплоснабжения с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей, использующих в качестве теплоносителя сетевую воду, было найдено мало материалов, была выбрана именно эта область для исследования и проектирования.

Цель данной научной работы – исследовать одно из актуальных на сегодняшний день направлений в системах жизнеобеспечения зданий – радиационное отопление. В ходе данной работы необходимо: оценить возможность использования низкотемпературных инфракрасных излучателей в системах отопления зданий и сооружений, определить особенности и закономерности распространения тепла НИИ (низкотемпературных инфракрасных излучателей). Рассчитать внутренний теплообмен в излучателе, и уже на основе проведенных исследований выполнить расчет внешнего теплообмена (т.е. нахождение угловых коэффициентов). В дальнейшем полученные зависимости и характеристики будут использованы в рамках диссертационного исследования, цель которого состоит в повышении энергетической эффективности процессов радиационного отопления. Перед нами стоит задача по созданию научно-обоснованной и апробированной методики расчета и созданию принципиально новых подходов и систем в проектировании и исследовании низкотемпературных излучателей.

Для более четкого понимания проблемы и инструментов ее решения необходимо прежде всего ввести понятие радиационный теплообмен и изучить основные характеристики инфракрасных излучателей. Тепловое излучение (радиационный теплообмен) – способ переноса теплоты в пространстве, осуществляемый в результате распространения электромагнитных волн, энергия которых при взаимодействии с веществом переходит в тепло.

Выделяют следующие виды инфракрасных излучателей: ГИИ (газовых инфракрасных излучателей «светлых» и «темных»), НИИ [2].

1. Высокотемпературные «Светлые» инфракрасные излучатели

T=850-950 °C, Q= 3...40 кВт.

2. Высокотемпературные «Темные» инфракрасные излучатели.

T=250-600°C, Q= 20...500 кВт.

3. Низкотемпературные инфракрасные излучатели

T=105-150 °C (в дальнейшем рассматривается возможность использования теплоносителя с более низкими температурами). Q= 5...100 кВт.

НИИ на сегодняшний день принято считать одними из самых энергетически эффективных разновидностей лучистого отопления. В них теплообменным аппаратом могут выступать: потолочные панели или излучающие профили. Теплоносителем в данных системах предлагается использовать сетевую воду из систем отопления с параметрами (105-150 °C), но также нами исследуется возможность применении и более холодной воды с параметрами (30-35 °C). Как отмечалось ранее, применение систем на базе НИИ возможно использовать не только в отопительных целях, но и в целях охлаждения помещения. При нагревании НИИ теплоносителем начинается процесс излучения электромагнитных волн в инфракрасном диапазоне, это явление и обеспечивает нагрев помещения [3].

Для полного понимания процессов, происходящих в работе НИИ, необходимо комплексно изучить (рассчитать и измерить) следующий перечень параметров: удельная теплоотдача источника излучения (излучателя); плотность лучистого потока тепловой энергии; провести моделирование теплового режима отапливаемого помещения и ограждающих конструкций отапливаемого помещения [4]. В ходе исследования была проведена оценка по учету потерь мощности и температуры по длине трубопровода, результат которой приведен в табл. 1.

В печной теплотехнике выделяют два вида теплообмена: внешний и внутренний [5].

Внутренний теплообмен — это распространение теплоты внутри нагреваемого металлического изделия от его поверхности вовнутрь.

Внешний теплообмен – это распространение теплоты в виде лучей от факела и стен печи к поверхности металла.

Применив устоявшиеся в печной теплотехнике понятия для исследуемого нами вопроса, можно сказать, что отопление помещения тоже можно разделить на две части:

– часть 1 – что происходит при движении воды внутри нагревателя, прибора – устройства излучения теплоты (внутренний теплообмен);

– часть 2 – что происходит снаружи нагревателя, собственно движение теплоты в виде лучей от внешней поверхности нагревателя в объём помещения, точнее к полу этого самого помещения (внешний теплообмен).

Таблица 1

Исходные данные

Параметр	Ед.изм	Значение		
Температура излучателя	T изл., °C, °K.	90	363	
Температура в помещении	T вн. °C,°K	20	293	
Диаметр трубопровода	d, м	0,025	0,032	0,04

продолжение таблицы

Параметр	Ед.изм	Значение		
Скорость теплоносителя	V ,м/с	1	1	1
Площадь сечения трубопровода	S, $м^2$	0,000490625	0,000804	0,001256
Массовый расход теплоносителя	G, кг/с	0,490625	0,80384	1,256
Удельная теплоемкость воды	с , кДЖ/кг*°С	4,2	4,2	4,2
Площадь излучателя	$S_и$, $м^2$	1,5	1,58	1,68
Степень черноты	ε	0,28 (для стали)		
Постоянная Стефана-Больцмана	$б$, $Вт \cdot м^{-2} \cdot К^{-4}$	$5{,}67 \cdot 10^{-8}$		

Для определения количества теплоты, которое приходит в излучатель вместе с теплоносителем, воспользуемся соотношением:

$$Q_1 = G * T_1 * c.$$

Для определения количества теплоты, излученного с поверхности, воспользуемся соотношением:

$$Q_{изл} = б * \varepsilon * S_и * (T_{изл}^4 - T_{вн}^4).$$

Используя уравнение теплового баланса, найдем $Q2$ количество теплоты, ушедшее в следующий излучатель:

$$Q_1 = Q_{изл} + Q_2.$$

По найденному значению ушедшего теплового потока найдем температуру на выходе из излучателя:

$$T_2 = \frac{Q_2}{G*c} \ .$$

Для расчётов указанных выше величин использовался программный продукт MS Excel, для удобства полученные значения были сведены в табл. 2.

Таблица 2

Итоги расчёта внутреннего теплообмена в первом приближении для первого излучателя

D, м	0,025	0,032	0,04
Q_1,Вт	185,45625	303,851	474,768
$Q_{изл}$,Вт	0,17587007	0,18571	0,1969744
Q_2,Вт	185,280379	303,665	474,57102
T_2, °С	89,9146520	89,9449	89,962660

По рассчитанным значениям теплового потока найдем количество теплоты, падающее на пол в зависимости от угла падения луча используя для первого

приближения используем геометрические зависимости. Для удобства сведем полученные данные в табл. 3.

Таблица 3

Распределение лучистых потоков (теплового потока) с поверхности излучателя по различным углам.

Радианы	0	30	45	60	90
D=0.025 м	175,9	152,3	124,4	87,9	0,0
D=0.032 м	185,7	160,8	131,3	92,9	0,0
D=0.04 м	197,0	170,6	139,3	98,5	0,0

Анализируя табл. 3, можно сделать вывод о том, что максимальный тепловой поток распространяется по нормали к излучаемой поверхности, минимум проходит по касательной. Аналогичным образом проводится расчет излучателя №2 и т.д.

Распределение лучистых потоков с поверхности самого излучателя по различным углам или направлениям интересно само по себе, но важно знать величину теплового потока, которая падает на пол помещения. Собственно, именно этот тепловой поток и является «обогревателем» того, что размещено на полу: производственный персонал, рабочее место, т.е. решается задача внешнего теплообмена.

Внешний теплообмен – самостоятельная отдельная часть процесса отопления. Здесь решающую роль, кроме мощности нагревателя и температуры на нём, играет угловой коэффициент. Аналитически в первом приближении было определено, какое количество теплоты падает на нагреваемый участок с излучателей №1 и №2 (на рисунке жёлтый, красный, фиолетовый цвета – лучистые потоки по разным направлениям). По мере увеличения угла происходит снижение теплового потока. Представленный на рисунке график, показывает зависимость распределения теплоты, падающей на пол, от длины помещения. Максимум теплового потока, отдаваемого излучателем, определяет точку максимума на графике. Отметим, что график распределения теплоты неравномерный и максимальное количество теплоты с каждого последующего излучателя уменьшается, поскольку происходит снижение температуры в каждом последующем излучателе. В местах между излучателями создается резкое снижение величины теплового потока. В дальнейшем в рамках диссертационного исследования будет решаться задача по усреднению величины теплового потока и тем самым избавления от мало прогреваемых зон (зон с малым значение теплового потока).

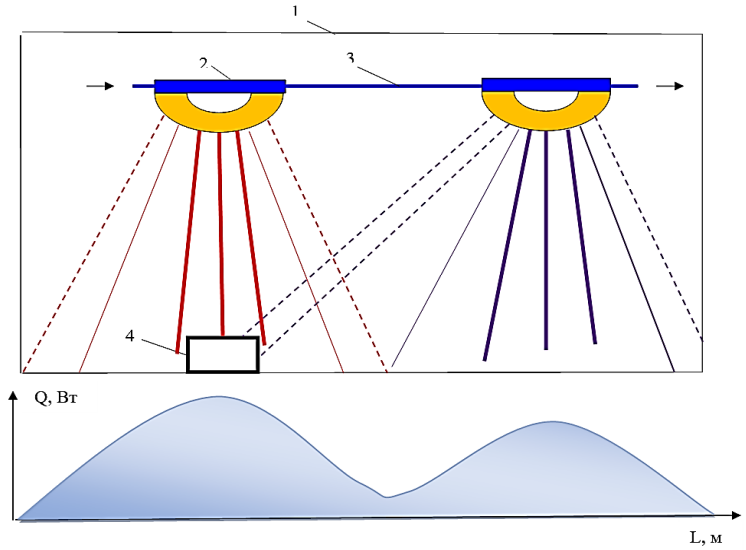


Рисунок. Лучистые потоки и суммарный падающий лучистый поток от двух нагревателей
1 – помещение; 2 – нагреватель; 3 – подающий трубопровод; 4 – нагреваемый участок

Профиль представленного на рисунке графика, также зависит от расстояния между излучателями и высоты излучателей над полом. Величина максимума и минимума зависят от тепловой мощности излучателей (температуры на их поверхностях).

В рамках дальнейшей работы будет выполнен расчет внешнего теплообмена (найдены угловые коэффициенты) и исследованы методы повышения эффективности теплообмена.

Выводы

В результате проведенного теоретического исследования о возможности применения НИИ в системах жизнеобеспечения, разработок как у зарубежных, и российских ученых и по итогу проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. На основе найденных статей из базы Scopus и ВАК, основной вектор исследований это в большинстве случаев – исследование охлаждения помещений с помощью инфракрасных излучателей, и отопление теплым полом.
2. Исследований, которые бы занимались идеей использования вместо газа сетевую воду, найдено мало, что говорит о малой проработке данного вопроса в научном сообществе и как следствие об актуальности темы.
3. По проведенным исследованиям можно сделать вывод о широкой применимости лучистого отопления как в производственных масштабах, так и для зданий меньшей площади и для сельского хозяйства. Но возникает важность правильной нормировки параметров и учета и архитектурно-строительных особенностей зданий и сооружений.
4. Описанная в программном продукте Excel –программа по расчету показала следующие результаты расчета учета падения температуры по излучателю. Падение температуры составило 0,1 °С.
5. Исходя из особенностей и закономерностей распространения лучистых потоков, в первом приближении была выбрана наиболее эффективная схема.
6. На основе изученных статей понятия интенсификация практически совпадают в некоторых случаях с оптимизацией.

Литература

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ. Федер. закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (Редакция от 11.06.2021).
2. Куриленко Н.И. «Тепловой режим производственных помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей»/ Томск: И: ТПУ. 2013. 95 с.
3. Крупенников С.А., «Алгоритм расчёт систем лучистого отопления помещений» // Вестник ИГЭУ. 2010. № 4. 157 с.
4. Цой А.П., Бараненко А.В. Грановский А.С., Цой Д.А., «Моделирование работы установки с радиационным охлаждением для кондиционирования воздуха»// Вестник Международной академии холода. 2019. № 3. С. 3-14.
5. Овечкин Б.Б. Основы теплотехники. Перенос энергии и массы: учебное пособие/ Овечкин Б.Б. Томск: Изд-во ТПУ. 2006. 106 с.

УДК 67.7822

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ТОРИЙ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

С.И. Яковлева
Научный руководитель – к.ф.-м.н., преподаватель Н.А. Палистрант
ГБОУ Гимназия № 642 «Земля и Вселенная»
e-mail: iakovkevasofia97@gmail.com

Аннотация
В данном исследовании рассмотрен принцип работы реактора замкнутого ядерного топливного цикла. Приведены характеристики химических элементов Тория и Урана, используемых в атомной энергетике. Представлен проект интеграцииториевого ядерного цикла в Топливно-энергетический комплекс Российской Федерации. Приведены уравнения химических реакций торий и урана, демонстрирующие принципы распада данных элементов и выработки энергии. Описан проект электрификации удаленных районов РФ, а также переход от ТЭС к АЭС.

Ключевые слова
Замкнутый ядерный топливный цикл, топливно-энергетический комплекс, торий, уран, изотоп, катализатор, ТЭС, АЭС, запасы топлива.

Российская Федерация – страна с обширной территорией, а также большим количеством удаленных и труднодоступных мест. Однако эти территории обитаемы, в связи с этим возникает вопрос об электроснабжении удаленных населенных пунктов. Основными недостатками большей части источников, включаемых в топливно-энергетический комплекс России, является их исчерпаемость и пагубное влияние на экологическую обстановку. На данный момент не существует возобновляемого источника, по энергоэффективности сопоставимого с невозобновляемыми, однако отходы от производства энергии из не возобновляемых источников велики, и вопрос об их утилизации требует решения. По прогнозам ученых запасов нефти и природного газа хватит на 50–55 лет, при нынешних темпах расхода. Запасы угля истощатся через 270 лет, но выбросы углекислого и угарного газа в атмосферу велики. Необходим переход к альтернативным видам энергетики.

Социологический опрос об экологичности и энергоэффективности разных источников генерации электроэнергии, проведенный среди студентов и школьников приведен на рис. 1. Суммарно было опрошено 40 человек, опрос состоял из двух вопросов: один из которых являлся обязательным, а другой задавался для получения более точного мнения участников опроса.

Существует множество видов энергетики, и у каждого есть свои преимущества и недостатки. Проведя исследование среди людей разного возраста, была получена информация об осведомленности разных групп в вопросе источников электроэнергии, их экологичности и энергоэффективности. Равные доли (2,4%) занимают: угольная, газовая, гео и водородная энергетика, а также гибридное использование источников. Одинаковое количество опрошенных (9,8%) выбрало гидроэлектростанции и ветряные мельницы. 26,8% участников опроса проголосовало за использование солнечных батарей. Явное большинство (41,5%) считает атомную энергетику самым экологичным и энергоэффективным источником энергии. Изучив сравнительный анализ видов энергетики, можно согласиться с мнением большинства. Водородное топливо, пока не изучено; Газ и уголь производят большое количество выбросов; солнечные батареи, ветряные мельницы, геотермальные и гидроэлектростанции имеют прямую зависимость

от района размещения. Атомные электростанции в свою очередь не зависят от места размещения и являются самыми энергоэффективными, однако имеют свои недостатки.

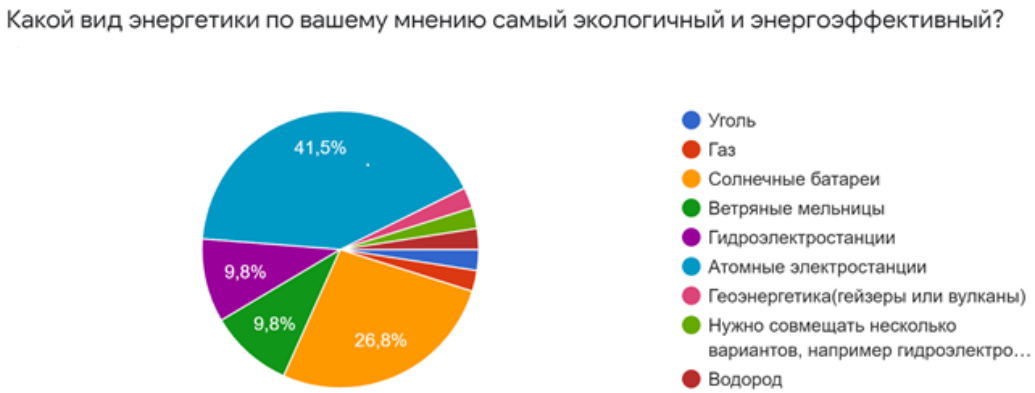


Рис. 1. Результаты социологического опроса

Своевременная диагностика и рациональная эксплуатация АЭС снижает риски возникновения чрезвычайных ситуаций, но помимо этого существует другая, более серьезная проблема- проблема большого количества ядерных отходов. Есть три пути ее решения:

1. Использование альтернативного сырья (Торий, Плутоний).
2. Внедрение технологии замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ).
3. Использование двух методов стразу, для минимизации отходов и повышения КПД электростанции.

Преимущества атомной энергетики

Ежегодный выброс CO_2 в атмосферу в России составляет около 1600 мегатонн, что является 4,6% мировых выбросов парниковых газов. При этом доля тепловых электростанций в энергетическом комплексе РФ составляет 67%. Коррелируя данные, можно предположить, что они имеют прямую зависимость. Если не предпринимать мер по снижению выбросов, то к 2030 году их общемировое количество превысит 34 млрд тонн в год. Решением может послужить развитие ядерной энергетики, одной из самых перспективных отраслей экономики и энергетики.

Атомная энергетика имеет ряд преимуществ, в сравнении с другими источниками энергии:

- высокая энергоемкость;
- снижение выброса парниковых газов;
- экономическое развитие;
- независимость от места размещения;
- низкая стоимость электроэнергии;
- возможность повторного использования топлива;
- требуется малое количество топлива (по сравнению с ТЭС);
- экономия органического топлива;

Доля атомной энергетики в общем объеме ТЭК по данным на 2020 год составляет 20,3%. (на 4,4% выше, чем в 2007 году). Развитие Атомной энергетики требует увеличения источников сырьевых ресурсов. Однако запасы урана конечны, что поднимает вопрос добычи альтернативного сырья. Одним из вариантов может послужить изотоп тория 232, который может полноценно заменить действующей урановый элемент. Кроме богатых месторождений, торий имеет ряд положительных последствий для энергетического комплекса РФ, о которых пойдет речь далее.

Схема работы реактора Замкнутого Ядерного Топливного Цикла (ЗЯТЦ) на урановом топливе представлена на рис. 2.

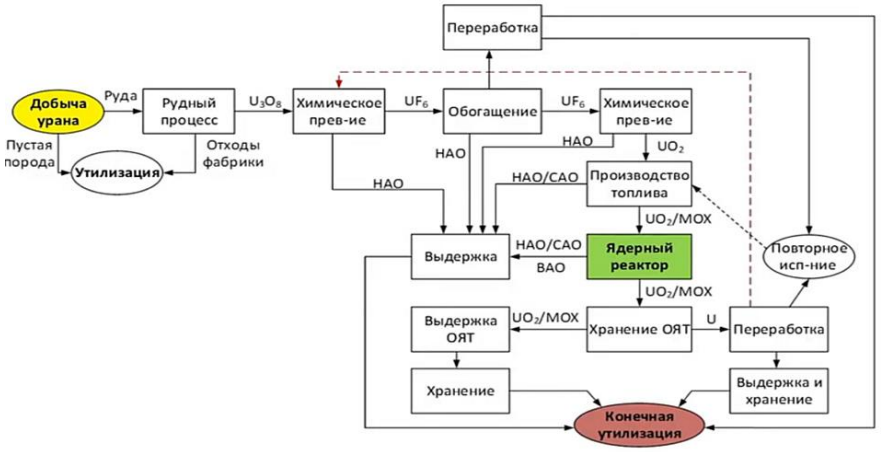


Рис. 2. ЗЯТЦ на урановом топливе [1]

Плюсы использования химического элемента Тория (Th) как топлива для АЭС:

- богатые месторождения. По данным МАГАТЭ, запасы тория доступные для добычи на территории РФ 75 тыс. тонн. Также уже идет добыча ториевой руды в Красноуфимске;
- безопасность при добыче и транспортировке (ниже радиационный фон). При добыче торий не излучает ядовитого газа Радона, в отличие от урана;
- высокая концентрация в руде, в земной коре запасов тория в 3 раза больше, чем урана;
- торий не требует обогащения;
- отходы топлива на основе тория теряет свою радиоактивность через несколько сотен лет, в отличие от более чем тысячелетнего распада отходов уранового топлива, а их количество в 100 раз меньше. Это поможет сократить количество могильников ядерных отходов, что снизит негативное влияние на окружающую среду;
- для выработки энергии торию необходим катализатор (в аварийных ситуациях радиоактивный жидкий торий можно изолировать от катализатора (плутония), таким образом процесс получается контролируемым);
- по данным ЦЕРН энергоэффективность 1 тонна тория эквивалентна 200 тоннам урана и 3,5 млн тонн угля;
- реализация технологии замкнутого ядерного цикла на тории значительно проще на тории, чем на уране (по данным ЦЕРН);

Минусы использования химического элемента Тория (Th) как топлива для АЭС:

- торий нужно добывать, в то время как на складах лежат запасы урана на 3,5 млн тонн;
- при трансмутации Th_{232} в U_{233} образуется промежуточный Pa_{233} (протактиний), который долго распадается и является нейтронным ядом. это является большим недостатком;
- побочный изотоп U_{232}, который будет нарабатываться в топливе с торием дает при распаде цепочку жестких гамма-излучателей, которые резко осложняют переработку отходов ядерного топлива (ОЯТ);
- проблема истощения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды в области атомной энергетики;

Как и у каждого инновационного процесса, у внедрения и развития ториевого ядерного цикла есть разные аспекты. Многие ученые критикуют успешность и эффективность данного способа выработки энергии. Однако не стоит полностью отвергать возможность перехода на альтернативный вид сырья в ядерной энергетике. В мире существует ряд стран, где ториевые реакторы успешно функционируют и обеспечивают потребности в энергии.

Примеры использования ториевого ядерного цикла в мире

В 2007 году Норвегия объявила о строительстве двух ториевых АЭС, которые будут запущены в ближайшее время. Президент норвежской компании Thor Energi Алф Бжоэрсет утверждает, что на ториевых АЭС не случится аварии в активной зоне. Ядерные отходы таких станций будут минимальны, элемент не может быть использован для производства ядерного оружия. Норвегия в настоящее время обладает наиболее крупными запасами тория. Бжоэрсет заявил, что доля двух ториевых АЭС составит 15% в ТЭК страны.

«Ториевые реакторы способны разрешить глобальный энергетический кризис и обеспечить мир электроэнергией на все обозримое будущее», – в этом уверен известный норвежский физик, профессор Эгиль Лиллестол [2].

Индийские ученые составили план начала строительства усовершенствованного ториевого реактора (AHWR-300, мощность составит 300 мегаватт), разработанного индийским Центром ядерных исследований Бхабха. Строительство планируют завершить в течение 5 лет, а срок работы предположительно составит 100 лет.

Опираясь на опыт других стран, Россия может выстроить эффективную и экономически выгодную траекторию развития данной отрасли.

Проект реализации и интеграции технологии в ТЭК

Предлагаемый проект ориентирован на энергоснабжение удаленных районов страны и уменьшение стоимости электроэнергии в регионах. В перспективе возможен экспорт электроэнергии за границу.

Чем переход на ториевую энергетику выгоден простым гражданам:

- снижение цен на электроэнергию;
- энергоэффективность, а как следствие более широкое распространение энергосетей;
- улучшение экологической обстановки, вследствие сокращения количества захоронений ядерных отходов;
- безопасность граждан, проживающих вблизи АЭС;
- безопасность при добыче и транспортировке сырья;

Таким образом возможна постепенная замена ТЭС (теплоэлектростанций), а впоследствии и урановых АЭС на ториевые, строительство новых атомных электростанций в крупных центрах энергопотребления. За этим последует увеличение производительности энергоблоков, для обеспечения электроэнергией удаленных районов данного субъекта.

Переход делится на два этапа

1. Оборудование, наблюдение (5–7 лет).

Этап оборудования заключается в: найме квалифицированного персонала и рядовых рабочих; оснащении или постройке электростанций с замкнутым ядерным циклом; добыче сырья для работы электростанций; запуске АЭС; анализе КПД и работы реактора; диагностике линий электропередач (ЛЭП), их ремонт или замена; проведение новых ЛЭП.

Начальный этап логично будет реализовать в местах добычи тория, например, в Западной Сибири. Там находятся крупные залежи ториевой руды и центры энергопотребления: Новосибирск, Омск, Томск, Новокузнецк, Барнаул и Тюмень.

Для этого необходимо нанять персонал для начального этапа:

- физики-ядерщики;
- инженеры;
- геодезисты;
- строительная бригада;
- менеджеры;

2. Масштабирование (15–20 лет).

Этап масштабирования подразумевает распространение технологии по территории страны в крупные города, в частности города, где преобладает электроэнергия с ТЭС, а затем и на города, в которых находятся АЭС. Вместе с распространением технологии необходимо развивать энергосети, а также искать методы улучшения технологии. Последующее функционирование требует участия квалифицированных кадров. В развитии технологии требуется взаимодействие с крупными научно-исследовательскими институтами России, а также изучение практического опыта зарубежных стран (например, Норвегии и Китая) в данной области.

Для подготовки и найма специалистов необходимо:

- доработать программу обучения в профильных вузах;
- вовлечь молодых ученых в реализацию и доработку проекта;
- создать на местах реализации проекта, комфортные социально-бытовые условия для специалистов и членов их семей;
- создание материально-технической базы, технологий и материалов, необходимых для реализации проекта;

Для наглядности дефицита АЭС в РФ, обратимся к рис. 3, где мы можем увидеть уровень энергопотребления на территории России.

Рис. 3. Карта энергопотребления РФ [3]

Проанализировав, можно понять, что наибольший уровень потребления энергии на Урале и в Западной Сибири, так как в данном регионе находится большое количество городов-миллионников и крупных предприятий. Однако обратившись к карте местоположения АЭС на рис. 4, можно увидеть, что концентрация атомных

электростанций в европейской части страны выше, чем в Западной Сибири в несколько раз.

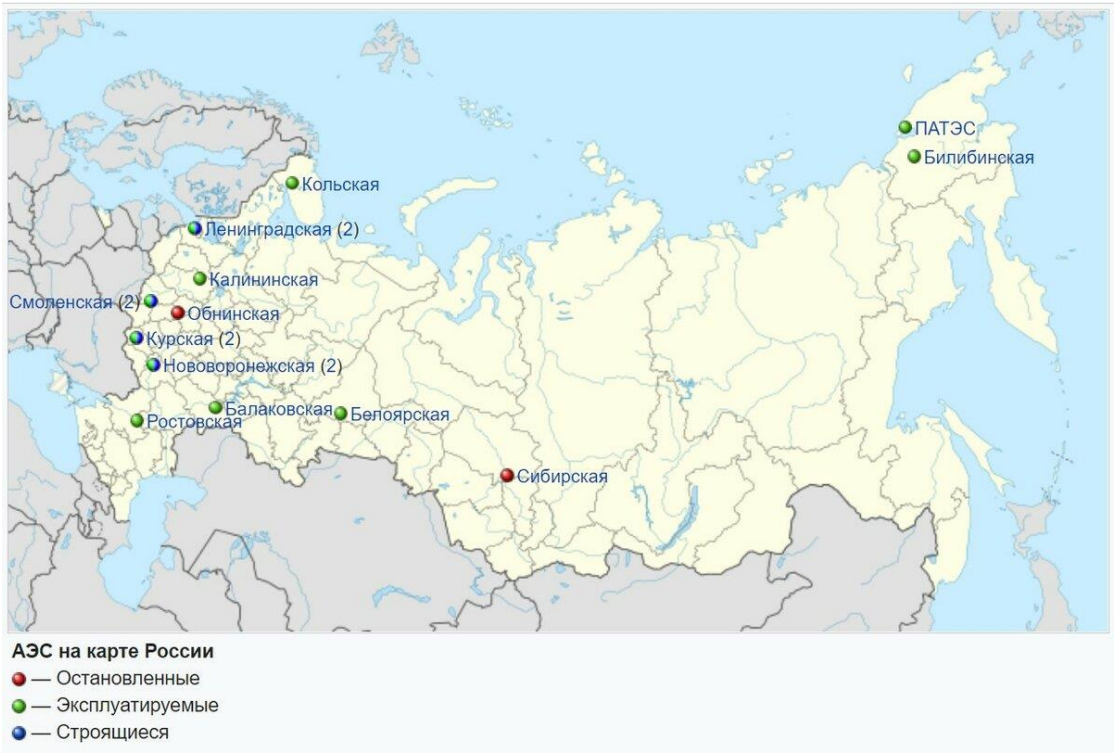


Рис. 4. Расположение АЭС на территории РФ [4]

Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что электроэнергия в данных районах получена с тепло и гидроэлектростанций. Как было сказано ранее, в сравнении с АЭС эффективность ТЭС низкая, а выбросы в атмосферу достаточно высоки. Также выше было упомянуто, что центры добычи ториевой руды находятся именно в Западной Сибири.

Наложив карты друг на друга, мы можем подтвердить данное суждение (рис. 5).

Рис. 5. Совмещенная карта энергопотребления и наличия АЭС

Совокупность этих условий дает понять, что наиболее выгодным местом для строительства первых ториевых электростанций будут эти регионы.

Научным партнером в реализации проекта в данных регионах может стать Новосибирский государственный технический университет, а именно его факультет энергетики. Студенты и выпускники смогут получить практику и рабочие места, а на электростанциях будут квалифицированные научные сотрудники.

Таким образом, будут решены вопросы электроснабжения предприятий и городов, добычи и поставки сырья, а также вопроса найма персонала.

Вывод

Реализация данного проекта позволит России к 2050 году сохранить лидирующие позиции в области атомной энергетики и решить некоторые ключевые проблемы, связанные с экологической обстановкой, существенно улучшить социально-экономические условия ряда субъектов Российской Федерации, а также создать предпосылки для экономического роста в смежных отраслях и соседних регионах. Проект будет основан не только на поддержке государственных компаний, но и на гражданском сознании человека.

Когда повестка «зеленой» энергетики будет актуальна, запрос общества на экологичность предприятий будет расти. Пока это не обсуждается в массах, переход на альтернативную энергетику будет проходить меньшими темпами. Как сформировано в выводах отчетов МАГАТЭ по ториевому циклу, как только стоимость одного килограмма урана превысит 300 долларов США, торий станет экономически выгоден для всех стран, к чему мир постепенно приближается. Поэтому Россия должна предвосхитить всеобщий ажиотаж и рывок к ториевой энергетике и начать создавать свою мощную базу ядерной энергетики на тории в Сибири и на Дальнем Востоке.

Литература

1. Как работают атомные электростанции [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://helperia.ru/a/kak-rabotayut-atomnye-elektrostancii (дата обращения 20.12.21).
2. Ториевые реакторы. Не наставшее будущее [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://alternathistory.com/torievye-reaktory-nenastavshee-budushhee/ (дата обращения 20.12.21).
3. Потребление электроэнергии по регионам России в 1990-2017 г.г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https:// aftershock.news/?q=node/ 765171&page= 1&destination= (дата обращения 21.12.21).
4. Расположение АЭС на карте РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://zen.yandex.ru/ media/energofiksik/ v-rossii-pobit- ocherednoi- rekord-sssr-5ff5a6bed1a90641ca257eba?&disable_feed_under_article=false (дата обращения 21.12.21).

СОДЕРЖАНИЕ

ТРАНСЛЯЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ……. 4

Абросимов К.И.
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ
НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ СИНТЕЗА РЕЧИ……... 5

Авдюшина А.Е., Платонов А.В.
АЛГОРИТМ ТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ…… 11

Антонов А.С.
ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ
ЧЕЛОВЕКООРИЕНТИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
БЛАГОУСТРОЙСТВА ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ…….…….... 16

Ахметзянова Д.Н.
ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ НА УРБАНИСТИЧЕСКИЕ
НАРРАТИВЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И РИСКИ……..……... 20

Башкатова М.Ю.
РОЛЬ ЦВЕТА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ
В ГОРОДАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА……. 24

Бученков Е.Е.
БИЗНЕС-ТЕЗИС «СТМАР»: ОСНОВАНИЯ ИЗБРАНИЯ
ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРИЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ СЕРВИСА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРКЕТИНГА……..…… 29

Волков А.А.
МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SPARQL ЗАПРОСОВ
ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ УДАЛЕННЫХ
ИСТОЧНИКОВ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ…… 32

Двойникова А.А.
РАСПОЗНАВАНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТИ СОБЕСЕДНИКОВ
С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА МЕЛ-СПЕКТРОГРАММ……. 38

Залкин В.М.
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
ПРОВЕРКИ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ
УЧЁТА ПОСЫЛОК И ДОКУМЕНТОВ…… 43

Иванов А.Б.
МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ СРАВНИТЕЛЬНОЙ
МЕТАГЕНОМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОМИКСНЫХ ДАННЫХ…….. 50

Казакова С.А.
МОДЕЛЬ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗВУКОВЫХ
АНОМАЛИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ВЫБРОСАМИ И ОБРАБОТКИ ВНЕВЫБОРОЧНЫХ ДАННЫХ……. 55

Калинин П.С.
ЭЛЕКТРОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КЛИНИКИ
И ПАЦИЕНТА С ПОМОЩЬЮ ЧАТ-БОТА: ВЫБОР
СЕРВИСОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИС…… 61

Кодуа И.Л.
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ДЕТЕКЦИИ
АНОМАЛИЙ В ЗВУКОВЫХ ДАННЫХ…….. 67

Куприянчик Е.М.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ
К РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ NOSQL И SQL СУБД…….. 72

Леонтьева П.А.
МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ЛИЦА
НА ОСНОВЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ МОДЕЛИ
PDM ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ……. 76

Лещук Н.С.
ПРИМЕНЕНИЕ ИКТ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МЕДИА:
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ……. 80

Матвеева А.С.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУРРОГАТНЫХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
COVID-19 С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ……... 87

Мосунов К.Д.
ПРИМЕНЕНИЕ ФОНЕТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЛОВ
В РАМКАХ ИСПРАВЛЕНИЯ ОПЕЧАТОК В РУССКОЯЗЫЧНЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСАХ…… 91

Никольская А.Д.
МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ
СООБЩЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ……. 96

Пац К.М, Глухов И.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВТОРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ
РЕЦЕПТОРА ВИТАМИНА D, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ЕГО
ЛИГАНД-СВЯЗЫВАЮЩЕГО САЙТА, С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО
ПАКЕТА ДЛЯ РАСЧЕТА СТРУКТУРНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ…….. 101

Попов В.В., Иванов А.Б.
СТАТИСТИЧЕСКИЙ ОТБОР ПРИЗНАКОВ
ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУПП МЕТАГЕНОМНЫХ
ОБРАЗЦОВ В ПРОГРАММЕ METAFAST…….. 106

Посулихина А.Д.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВИСА ОЦЕНКИ БЛАГОПОЛУЧНОСТИ
ГОРОДСКИХ РАЙОНОВ НА ОСНОВЕ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ……. 111

Прошян Г.А.
УПРАВЛЕНИЕ ЗВУЧАНИЕМ МУЗЫКАЛЬНОГО
ИНСТРУМЕНТА С ПОМОЩЬЮ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ…….. 117

Радюш Д.В.
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-СИМВОЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ
В РАЗРАБОТКЕ ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫХ СИСТЕМ……. 122

Рюмина Е.В.
МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ
ПЕРСОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ ЛИЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
ПО ВИЗУАЛЬНЫМ ДАННЫМ…… 127

Саханова А.А.
МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА
СЕМАНТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ
ОБРАЗА ГОРОДСКИХ КРЕАТИВЫХ ПРОСТРАНСТВ…….. 132

Тельбух В.В.
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ОБЛИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА НАЦИОНАЛЬНЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ
ПРОСТРАНСТВОМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ……. 139

Тимошкина А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ УМЕНЬШЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ……... 143

Тирский Б.Д., Рунушкина О.Р.
ПОСТРОЕНИЕ ПОРТРЕТОВ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ…… 148

Тирских Д.В.
АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАССТАНОВКА ЗНАКОВ
ПРЕПИНАНИЯ В РАСПОЗНАННОМ ТЕКСТЕ
МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ…… 153

Трегубова А.Р.
РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТНЫХ
РЕСУРСОВ ОТДЕЛА РАЗРАБОТКИ IT-КОМПАНИИ…… 159

Турсунбекова Ж.Х.
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ
РАЗВЕРТЫВАНИЯ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
С ПОМОЩЬЮ ANSIBLE И TERRAFORM…… 165

Хмелев Н.А.
НАХОЖДЕНИЕ ТОЧКИ СМЕНЫ ДИКТОРА
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАРИЗАЦИИ……. 169

Tsutsiev A.S.
CONCURRENCY-OPTIMAL DATA STRUCTURES: CONSTRUCTION
OF ADAPTIVE CONCURRENT SETS, ARRAYS AND LISTS…… 173

Черногор Е.А.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ
ВЕБ-РЕСУРСА МУЗЕЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ……. 182

Чурякова Т.А.
КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В ПЛАНИРОВАНИИ
РАЗМЕЩЕНИЯ ЗЕЛЕНЫХ ЗОН НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА……. 188

Шеметов Ф.А.
ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ…….. 192

Щепина Е.К.
ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ
ИНТЕРЕСОВ И АКТИВНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
ЦИФРОВЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ…… 197

Антипова Е.С.
АНАЛИЗ ЦИФРОВОГО СЛЕДА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ……... 204

ФИЗИКА……. 208

Адам Ю.А., Каргина Д.А., Яшин Д.А.
ПРОЦЕСС МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ ВИХРЕВОГО
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ…… 209

Андреичева Н., Подгорный М.П., Синицын М.А.
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ
НА ПРИМЕРЕ ТУБЕРКУЛЕЗА ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ
У ДЕТЕЙ. БУДУЩЕЕ ГЛАЗАМИ ВРАЧА……. 213

Ахатова А.Д., Болдарев А.С.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАВЕДЕННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ…….. 221

Бурмистров О.И.
БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ
В МРТ НА МОДЕ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА
В РЕЗОНАТОРЕ ТИПА «ПТИЧЬЯ КЛЕТКА»…… 226

Журба Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ
ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ
ГОРЯЧЕКАТАНОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА ОТ
ОКАЛИНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕПРЕРЫВНОГО
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1,06 МКМ…….. 231

Крупин Д.А., Кузнецова О.Б.
РАЗРАБОТКА КЮВЕТЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО
ТРАКТА, ВЫЗВАННЫХ HELICOBACTER PYLORI…… 234

Лейбов Л.С.
ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ПОВЫШЕННОЙ
ЗАЩИЩЕННОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИКИ ПОСТРОЕНИЯ
ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИИ МНОЖЕСТВЕННОГО
ДОСТУПА С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ…….. 237

Молодцова А.А., Розенблит А.Д., Дмитриев А.А., Бурмистров О.И.
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СИСТЕМЕ КИРАЛЬНОЙ
АКТИВНОЙ МАТЕРИИ НА ОСНОВЕ СКОПЛЕНИЯ РОБОТОВ…… 241

Образцова А.А.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРОВСКИТНЫХ
ДВУХСТОРОННИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПРИ ПОМОЩИ СВЕТОУЛАВЛИВАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОДА…….. 246

Осколкова Т.О., Орлова А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЗАТУХАНИЯ
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК
В СОСТАВЕ СУХИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР…… 252

Смирнов В.А., Бузаков М.К., Сенникова Д.В., Молодцова А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ
ВИБРИРУЮЩЕГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА……... 258

Тарасов И.П., Иванов С.А.
ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
С ОПТИЧЕСКИМИ АТЕРИАЛАМИ, ПЕРСПЕКТИВЫ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНЫМ СТЕКЛОМ…….. 264

Филимонова Т.А., Смирнов П.А.
ПЕРОВСКИТНЫЕ ШАХМАТЫ: СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОЙ
ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ «ОДИН-КО-МНОГИМ»…….. 268

ХИМИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ,
ЗЕЛЁНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ…….. 273

Ларина В.В., Бахтиярова А.Х., Попов А.Д., Сухих С.А.
СКРИНИНГ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА
ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ БАЛТИЙСКОГО РЕГИОНА…….. 274

Веселкина У.С., Александрова А.В., Кочурова А.И.
РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ
ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ПРОДУКТОВ У ТУРИСТОВ И ОХОТНИКОВ..... 277

Веселкина У.С., Александрова А.В., Кочурова А.И., Криворотов Д.В.
РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШКА МОРКОВНОГО СОКА,
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ..... 283

Ларина В.В., Воронова С.С., Попов А.Д., Бабич О.О.
ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ
БАВ ИЗ КОНСКОГО КАШТАНА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО
НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ…… 287

Гончаров В.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ
БИОТОПЛИВА ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК……. 293

Загаринская А.Н.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ…… 296

Иванова А.Н., Слободов А.А., Крицкий В.Г., Гаврилов А.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ПРОДУКТОВ
КОРРОЗИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ……... 299

Кашурин А.И., Лунева О.В.
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ
НА ОСНОВЕ АКРИЛАТОВ И КОЛЛАГЕНА…… 304

Лобанов М.Е., Савельева М.С.
РАЗРАБОТКА МИКРОРАЗМЕРНЫХ
МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ НОСИТЕЛЕЙ
С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ
ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ВНУТРИПУЗЫРНОЙ ДОСТАВКИ…… 309

Фофанов В.С., Мишин К.К., Кочура Д.М., Криворотов Д.В.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ АНТОЦИАНОВ
ИЗ ПЛОДОВ И ЖОМА ЯГОД VACCINUM MYRTILLUS…….. 316

ЭКОЛОГИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ…… 320

Афанасенкова А., Захаров В.А.
ВЛИЯНИЕ НЕФИНАНСОВОЙ ОТЧЁТНОСТИ
НА УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
КОМПАНИИ AES CORPORATION……. 321

Барбанэль П.Ф.
УЧЕТ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ
С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ…… 326

Воротниченко Е.Р., Ершова А.А.
ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОБЕРЕЖИЙ
АРХИПЕЛАГОВ НОВАЯ ЗЕМЛЯ И ЗЕМЛИ
ФРАНЦА-ИОСИФА МОРСКИМ МУСОРОМ…… 331

Гнатенко К.В., Твердая А.В.
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИИ НЕПРИЯТНО ПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ…….. 337

Ермоченко А.И., Федянина А., Юплова В.В., Савоскула В.А.
ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА КАК ИНСТРУМЕНТ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ…… 342

Ишутина Е.О.
ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕРОДА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ…… 347

Корнатовский А.Ф.
ЭНЕГРОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
УТИЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ НА БАЗЕ МЕТОДА
СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ВОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ…… 351

Кузнецова А.П.
РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ БИОРАЗЛАГАЕМОСТИ
СОГЛАСНО ISO 17556 И РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА…… 358

Лоскутова А.С., Кузнецова К.Г., Жустерова П.К., Прокошева А.В.
МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ПРОДУКТАМ
ИЗ ЛИЧИНОК МУХ *HERMETIA ILLUCENS*……... 363

Мальгинова Н.А.
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГАЗА……. 369

Молодых А.П., Николаев Е.М.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ И СОСТАВУ
МНОГОРАЗОВОЙ КОМПОСТИРУЕМОЙ ПОСУДЫ…….. 372

Монзуль Н.А.
ЗЕЛЁНАЯ ЗВЕЗДА MICHELIN:
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЯ ГАСТРОНОМИИ……. 377

Николаев Е.М.
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯБЛОЧНОГО ЖМЫХА
В ПОЛУЧЕНИИ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ……. 381

Подледнева Л.В.
МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА……. 388

Рахманова К.Р.
ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ *PLEUROTUS OSTREATUS* ПРИ ТВЕРДОФАЗНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ…….. 392

Туганова Р.С., Юльметова Р.Ф.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ…… 396

Фахртдинова С.З., Тюрикова Е.П., Карпова Н.Г.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ «ОТПЕЧАТКОВ» ФРЕОНОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ..... 400

Федянина А., Ермоченко А.И., Савоскула В.А.
ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЧЕЛОВЕК: НОВАЯ ПАРАДИГМА БЛАГОПОЛУЧИЯ?..... 405

Хамзина А.М.
ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА ДЛЯ ДВУХЛУЧЕВОГО АНАЛИЗАТОРА ФРЕОНОВ..... 409

Царькова М.А.
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА В БИОЭТАНОЛ…….. 413

Шашин К.Д., Шипилова М.В., Урецкая А.В., Коврижных А.М.
МЕТОД ОЧИСТКИ ВОДОЁМОВ С ПОМОЩЬЮ БИОФИЛЬТРА……. 420

Юплова В.В., Ермоченко А.И.
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ «ЛИЧНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД» ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСВЕЩЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА……. 426

Хуторная Ю.А.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОТЕРЬ ПИЩЕВЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕПОЧКЕ СОЗДАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ..... 429

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ……... 435

Иконникова А.Ю.
АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОВ ПОЛУЧЕНИЯ СПГ ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ СЫРЬЕВОГО ПОТОКА…… 436

Баранов А.Ю., Майкова Т.С.
ПРОИЗВОДСТВО ВТОРИЧНОГО КРИОАГЕНТА НА ТЕРМИНАЛАХ РЕГАЗИФИКАЦИИ…… 441

Макатов К.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОТОТИПА ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛИТОЧНОГО
ЗАМОРАЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛН…… 445

Малькова Я.Ю.
ТЕХНОЛОГИИ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В «ЗЕЛЕНОЙ» ЭНЕРГЕТИКЕ…... 452

Мирзоев Д.Х.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АСУТП ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ…… 455

Пелагейкина А.О.
МЕМБРАННО-ЭЛЕКТРОДНЫЙ БЛОК С МЕМБРАНОЙ
С КОРОТКИМИ БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ…….. 458

Ракшин А.Д.
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ
СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
КРУПНОТОННАЖНОГО ЗАВОДА СПГ…… 461

Чубова С.Д.
АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СОСТАВУ
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА МИРОВЫХ РЫНКАХ…… 464

Шеин В.М., Никитин А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
(ВОДЯНЫХ) ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ
В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ……. 468

Яковлева С.И.
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ТОРИЙ
В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ……. 473

XI Конгресс молодых учёных
Сборник научных трудов

Том 2

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Дизайн обложки Н.О. Терещенко
Вёрстка Я.Я. Платунова
Подписано к печати 09.11.2022
Заказ № 4681 от 09.11.2022
Тираж 100 экз.

Печатается в авторской редакции

Отпечатано: Учреждение «Университетские коммуникации»
199034, Санкт-Петербург, В.О., Биржевая линия, 16