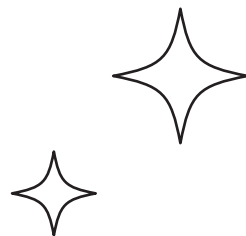


**ИТМО**



# **АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ**

**молодых ученых  
Университета ИТМО**



**ТОМ 2**

**Санкт-Петербург  
2023 г.**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
Университета ИТМО**

**Том 2**

**ИТМО**

Санкт-Петербург  
2023

УДК 004, 063, 065, 504

ББК 20, 32, 40

Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 2. – СПб.: Университет ИТМО, 2023. – 405 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на Пятьдесят второй (LII) научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО, проходившей с 31 января по 03 февраля 2023 года, по тематикам: исследований в области инфохимии для решения фундаментальных и промышленных задач химии и биотехнологии; деятельности образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"; современные исследования биотехнологий; экология и устойчивое развитие.

ISBN 978-5-7577-0693-1

ISBN 978-5-7577-0695-5 (Том 2)

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

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, 2023

© Авторы, 2023

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

---

**по направлению исследований в области инфохимии для решения фундаментальных и промышленных задач химии и биотехнологии**

**Председатель редколлегии:**

*Скорб Екатерина Владимировна, доктор химических наук, заведующий лабораторией интеллектуальных технологий в инфохимии*

**Члены редколлегии:**

*Масалович Мария Сергеевна, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории интеллектуальных технологий в инфохимии и научно-образовательного центра инфохимии*

*Орлова Татьяна, PhD, физико-математические науки, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра инфохимии*

*Муравьев Антон Андреевич, кандидат химических наук, доцент научно-образовательного центра инфохимии*

*Балдина Анна Андреевна, ассистент научно-образовательного центра инфохимии*

*Новиков Александр Сергеевич, кандидат химических наук, доцент научно-образовательного центра инфохимии*

**по направлению деятельности образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"**

**Председатель редколлегии:**

*Баранов Игорь Владимирович, профессор, доктор технических наук, директор образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"*

**Члены редколлегии:**

*Румянцева Ольга Николаевна, доцент, кандидат технических наук, заместитель директора образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"*

*Никитин Андрей Алексеевич, доцент, кандидат технических наук, доцент образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"*

**по направлению современные исследования биотехнологий**

**Председатель редколлегии:**

*Науменко Наталья Владимировна, доктор технических наук*

**Члены редколлегии:**

*Кригер Ольга Владимировна, доктор технических наук, доцент факультет биотехнологий*

*Калинина Ирина Валерьевна, доктор технических наук*

*Еремеева Наталья Борисовна, кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий*

*Сазонова Екатерина Константиновна, кандидат технических наук, доцент факультет биотехнологий*

**по направлению экология и устойчивое развитие**

**Председатель редколлегии:**

*Тамбулатова Екатерина Викторовна, кандидат технических наук, декан факультет экотехнологий*

**Члены редколлегии:**

*Кустикова Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент факультета экотехнологий*

*Сергиенко Ольга Ивановна, доцент факультета экотехнологий*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на Пятьдесят второй (LI) научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО, проходившей 31 января – 03 февраля 2023 г., по тематикам: исследований в области инфохимии для решения фундаментальных и промышленных задач химии и биотехнологии; деятельности образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"; современные исследования биотехнологий; экология и устойчивое развитие.

Конференция проводится в целях ознакомления общественности с результатами научных исследований, выполненных в рамках: государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, стратегии развития Университета ИТМО до 2027 года, грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых, грантов РФФИ, РНФ, по постановлению Правительства РФ № 1251 от 16 октября 2017 года «Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета на оказание государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций и Положения о проведении конкурсного отбора на предоставление грантов на государственную поддержку центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций», по постановлению Правительства РФ № 220 от 09 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в Российские образовательные организации высшего образования, научные учреждения и государственные научные центры Российской Федерации», государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций, Государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», включающей в себя федеральные проекты национального проекта «Наука и университеты» и Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», в рамках федерального проекта «Развитие масштабных научных и научно-технологических проектов по приоритетным исследовательским направлениям» национального проекта «Наука и университеты» в университете выполняются работы по Федеральной научно-технической программе развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019 – 2027 годы (ПП 16 марта 2020 г. № 287) и по инициативным научно-исследовательским проектам, выполняемыми преподавателями, научными сотрудниками, молодыми учеными, аспирантами, магистрантами и студентами Университета, в том числе в содружестве с предприятиями, организациями Российской Федерации, а также международными сообществами для увеличения эффективности научно-исследовательской деятельности и подготовки кадров и специалистов высшей квалификации.

**Исследования в области инфохимии для решения  
фундаментальных и промышленных задач химии  
и биотехнологии**

UDK 546. 824

## SYSTEMS FOR THE TARGETED DELIVERY OF DRUGS UNDER THE INFLUENCE OF ULTRASOUND

*Goncharov V.V.<sup>1</sup> (student), Petrova M.S.<sup>1</sup> (student), Belyaev V.E.<sup>1</sup> (student), Domareva N.P.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – Doctor of Chemical Sciences, Professor Skorb E.V.<sup>1</sup>, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Associate Professor Ulasevich S.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ITMO University

e-mail: [ulasevich@infochemistry.ru](mailto:ulasevich@infochemistry.ru)

*The work is carried out within the framework of the Russian Science Foundation project No. 19-79-10244 "Microdosing and micromanipulator systems based on mesoporous titanium dioxide modified with polyelectrolyte membranes for biomedical applications"*

In this study, titanium dioxide nanotubes are produced on the titanium of biocompatible grade BT 1-0. The modified surface can serve as a drug-delivery system due to its sufficiently high specific surface area. The effect of ultrasonic treatment at constant frequency of 35 kHz on tetracycline release rate has been studied.

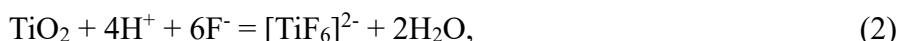
**Keywords**

Drug delivery, ultrasound, tetracycline, titanium dioxide nanotubes, modified surface.

Characteristics of different titanium alloy, such as resistance to biological fluids, biocompatibility, flexibility, and good strength have ensured their widespread use in various fields of medicine. Macro- and nanostructuring of titanium surface makes it possible to improve fibronectin and vitronectin adhesion as well as stimulate cell migration. It promotes the bone tissue formation around the implant [1– 3]. A surface layer of titania nanotubes loaded with a drug can lead to a more effective suppress of inflammatory processes result in osseointegration of the implants into bone tissue. Targeted drug delivery neutralises the systemic side effects that occur after implant surgery. The local delivery allows a significant reduction in drug dosage compared to pills treatment [4, 5].

The aim of this work is to develop systems for targeted drug delivery that can be activated by ultrasound (US) action. The polyelectrolyte layers were deposited to prolong the antibiotic release.

Titanium dioxide (TNT) nanotubes were fabricated by anodizing of previously polished titanium in ethylene glycol solution containing 0.75 wt.% ammonium fluoride. The stage anodization was carried out at a constant voltage of 40V for 1 hour as shown in Figure 1. Equations (1–3) show the reactions involved in anodizing of titanium:



The samples were rinsed with Milli-Q water and air dried for 1-2 h. To improve the TiO<sub>2</sub> adhesion, the samples were annealed at 450°C for 3 h at a heating rate of equal to 5°C/min. Figure 2a shows the SEM images of titania surface structure. As seen in Figure 2a, the nanotubes have an average diameter of about 50 nm. The layer thickness is *ca.* 5 μm.



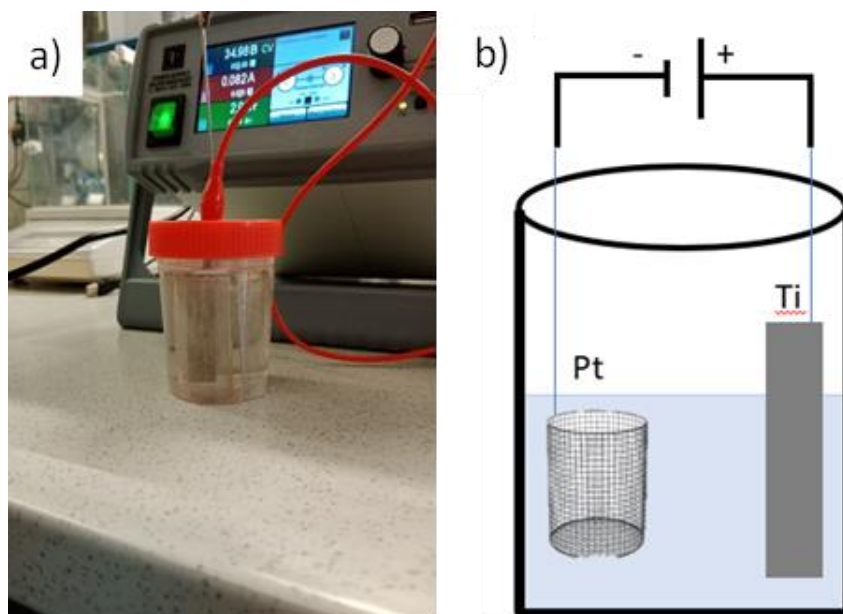


Fig. 1. The photo (a) and scheme (b) of anodization process of titanium plate

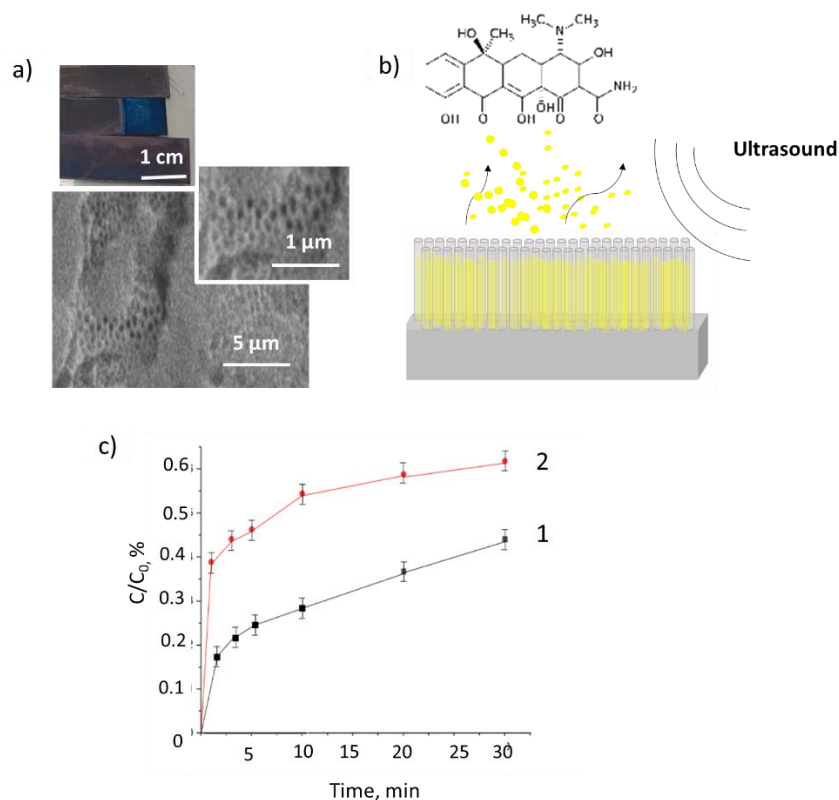


Fig. 2. a) SEM images (top view) of Ti/TiO<sub>2</sub> surface after anodizing and heat treatment; Inserts shows the sample photo; c) surface view of the obtained sample b) Scheme of US-assisted release; c) Tetracycline release from TiO<sub>2</sub> surface without ultrasound (curve 1) and under ultrasound (curve 2) action

The loading of tetracycline into the TiO<sub>2</sub> pores was carried out from an antibiotic aqueous solution at a concentration of 1 mg/mL for 24 h. The release kinetics was investigated under the action of ultrasound with a frequency of 35 kHz. The US-free release was used as a control. The aliquots were taken from solution after 1, 3, 5, 7, 10, 20 and 30 min to analyze the substance release. The amount of released substance was determined spectrophotometrically. Figure 2c shows that application of ultrasound promotes more rapid tetracycline release during the 1–30 min compared to the control sample without ultrasound.

Thus, highly ordered titanium dioxide nanotubes have been obtained. The US-assisted release provides faster antibiotic release compared to control one. Besides, the ability of ultrasound to penetrate the human body opens up opportunities for delayed release of the antibiotic.

### References

1. Dahiya V. et al. Surface topography of dental implants: A review // *Journal of Dental Implants*. 2014. T. 4. №. 1. С. 66.
2. Chaabane C. et al. Biological responses in stented arteries // *Cardiovascular research*. 2013. T. 99. №. 2. С. 353–363.
3. Martínez-Calderon M. et al. Surface micro-and nano-texturing of stainless steel by femtosecond laser for the control of cell migration // *Scientific reports*. 2016. T. 6. №. 1. С. 1–10.
4. Shokuhfar T. et al. Intercalation of anti-inflammatory drug molecules within TiO<sub>2</sub> nanotubes // *Rsc Advances*. 2013. T. 3. №. 38. С. 17380–17386.
5. Gulati K., Aw M. S., Losic D. Drug-eluting Ti wires with titania nanotube arrays for bone fixation and reduced bone infection // *Nanoscale research letters*. 2011. T. 6. С. 1–6.

УДК 004.652.8

## ХИМИЧЕСКИЙ ПОИСКОВИК

Лузанова А.М.<sup>1</sup> (студент), Федеров Н.С.<sup>1</sup> (студент), Головинский Р.П.<sup>1</sup> (студент),  
Тонкий И.С.<sup>1</sup> (студент), Щербакова Е.А.<sup>1</sup> (студент), Малышев И.Д.<sup>1</sup> (студент)

Научный руководитель – доктор химических наук Скорб Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: alinaluzanova@gmail.com

В работе представлена модель инновационного химического поисковика, основанная на базе данных веществ и химических реакций, и на модуле ее автоматического заполнения. Структура базы данных представлена в виде двудольного графа, в узлах которого располагаются два вида сущностей — вещества и химические реакции. Данная база заполняется из открытых источников модуля автоматического заполнения. Модуль, в свою очередь, состоит из системы парсинга химических реакций и программы для заполнения базы.

**Ключевые слова**

Поисковик, база данных, распознавание изображений, набор данных, нейросеть, SMILES, двудольный граф.

Над идеей универсального цифрового хранилища химических знаний задумывались давно, однако только в конце XX века стали появляться базы данных, значительно упростившие работу ученых. В настоящий момент существует огромное разнообразие подобных источников: от узконаправленных, к примеру Crystallography Open Database [1], содержащая в себе информацию о кристаллических решетках и их параметрах, до баз данных широкого профиля. Среди них можно выделить PubChem [2], ChemSpider [3], ZINC database [4]. Они содержат в себе структуры веществ во всевозможных форматах записи, общие химические и физические параметры. Помимо этого, существуют базы данных реакций, направленные на планирование синтеза и предсказания протекания тех или иных процессов. Наиболее известная из них — Reaxys [5]. Несмотря на это, у подавляющего большинства готовых решений есть проблемы, затрудняющие их использование. К ним можно отнести ограниченность доступа, отсутствие удобной фильтрации, недостоверность и дублирование информации. Более того, большинство существующих баз данных заполняются вручную, что является не самым технологичным и быстрым способом. Принимая во внимание все вышеизложенное, в настоящем исследовании предлагается концепция химического поисковика, который в будущем поможет значительно упростить, удешевить и ускорить работу химических лабораторий и производств.

В основу концепции химического поисковика легли база данных веществ и реакций и модуль автоматического заполнения. База данных представлена в виде двудольного графа: одни узлы соответствуют веществам, другие — реакциям (рис. 1). Подобная архитектура выбрана не случайно — преимуществом этого представления является возможность учета всех причинно-следственных связей. База данных поддерживает все алгоритмы работы с данными. К ним можно отнести алгоритм Дейкстры, поиск в ширину и поиск в глубину. База реализуется с помощью открытой графовой системы Neo4j. Она отличается высокой производительностью, гибкостью и удобным управлением отношениями между данными. В процессе разработки выяснилось, что брать уже известную информацию из новых статей нецелесообразно. Эти данные содержатся в открытых источниках сети интернет, а значит, ее можно сразу загрузить в базу, обходя этап использования модуля автоматического заполнения. Он необходим для расширения базы неизвестными ранее соединениями, а благодаря автоматизации этот процесс происходит значительно быстрее в сравнении с ручным вводом.

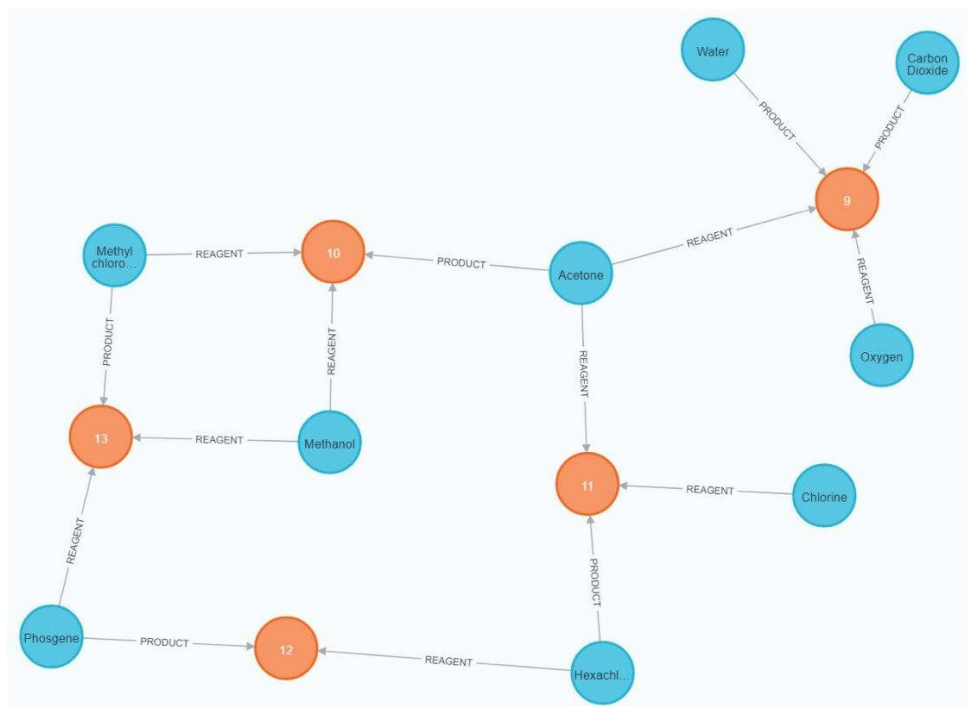


Рис. 1. Графовое представление базы данных

Выбор данной архитектуры также мотивирован высокими показателями работы программного обеспечения Chematica [6], разработанного под руководством Бартоша А. Гжибовски. Данный сервис, направленный на прогнозирование пути протекания реакций, имеет похожую структуру базы данных — двудольный граф (рис. 2).

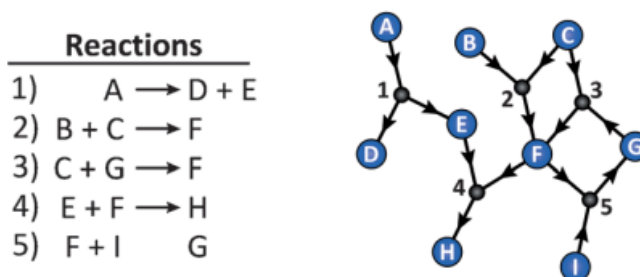


Рис. 2. Двудольный граф в Chematica [6]

Модуль автоматического заполнения базы данных является составным инструментом. Он основан на парсинг-системе, направленной на распознавание химической реакции и ее параметров, и на системе автоматического добавления считываемых данных в базу. В настоящее время существует два вида алгоритмов, направленных на распознавание изображений молекул. Первый тип механизмов более классический: он основан на определенных правилах. Алгоритм состоит из процесса перевода графических изображений молекул в машиночитаемый формат и называется оптическим распознаванием химической структуры (OCSR) [7]. Метод основан на векторизации изображений и интерпретации связей и атомов как векторов и узлов. На них основана работа таких систем распознавания, как Molvec [8], OSRA [7], Imago [9]. Такой способ относительно менее гибок, но имеет существенное преимущество — надежность.

В процессе создания парсинг системы большое внимание было уделено программе Molvec. Среди ее преимуществ можно выделить удобство использования языка программирования Java, на котором написана программа, открытость кода и высокие показатели точности работы программы. В процессе тестирования Molvec было начато создание уникального датасета изображение молекул, строение которых, по предположению,

может вызвать затруднения работы программы. В данный датасет были включены молекулы с плохо читаемыми радикалами (рис. 3), с группами атомов, имеющих сложную стереохимию (рис. 4), большие молекулы (от 45 атомов) (рис. 5).

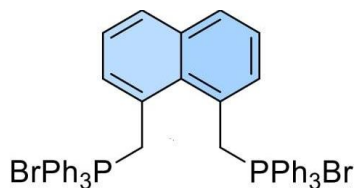


Рис. 3. Радикал в положении 1 читается нормально, аналогичный в положении 8 не читается

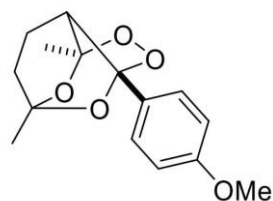


Рис. 4. Наличие хиральности затрудняет считывание

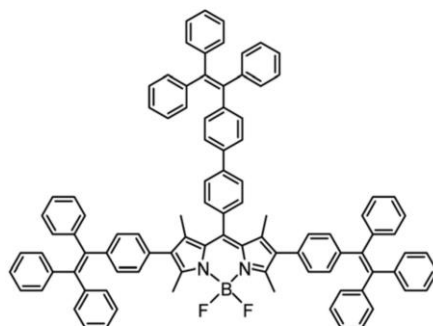


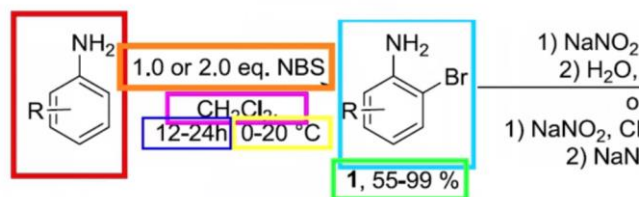
Рис. 5. Молекула с большим количеством атомов

Также на точность распознавания молекулы сильно влияет разрешение изображения, подаваемого на вход. Даже не критичное для человеческого глаза ухудшение качества изображения сказывается на результате работы программы.

Помимо алгоритмов, в основе которых лежат правила распознавания, последние несколько лет прослеживается тенденция в развитии нейронных сетей, обучаемых и проверяемых на различных датасетах. Самые популярные: STAKER, UPSTO, CLEF, UoB, JPO. Помимо этого, нейронные сети обучались на фармакологических базах данных и созданных непосредственно разработчиками сети, как сделали авторы проекта Img2Mol [10]. В число рассмотренных в рамках исследования вошли такие нейросети, как Img2mol [10], Chemgrapher [11], DECIMER [12], MICER [13], Syntelly [14]. Последняя была создана командой под руководством Михаила Федорова. Syntelly содержит в себе трансформер Image2SMILES, который переводит изображение молекулы в формат SMILES.

После того, как система автозаполнения базы данных заканчивает процесс обработки изображения молекул, начинается определение параметров реакции. Необходимо установить все указанные авторами условия: температуру и время протекания процесса, растворители, катализаторы, концентрации реагентов (рис. 6).

eous solution of sulfuric acid,<sup>18</sup> whereas polyhalogenate  
lines were diazotized under water-free conditions, in trifluor



cheme 4. General synthetic strategy for the preparation of

Рис. 6. Выделение программой параметров реакции

Далее информация проходит процесс энкодинга и декодинга, после чего распределяется в базу данных установленным образом.

На сегодняшний день реализована определенная часть концепции химического поисковика. Для лучшего понимания современных концепций организации, хранения и обработки химического знания был проведен широкий обзор изучаемой области. База данных с архитектурой двудольного графа находится на стадии заполнения. Расширяется уникальный датасет с молекулами, сложно поддающимися распознаванию. Molvec совершенствуется путем написания тестов и модификации для удобства распознавания большого числа изображений молекул. Уже рассмотрено три нейронные сети, направленные на парсинг молекул. Среди них две: *Img2Mol* и *Image2SMILES* протестированные вручную, нейронная сеть *DECIMER* находится в процессе тестирования. На данный момент Molvec показывает большую точность, чем нейросети. Также создан макет сайта химического поисковика, через который будет осуществляться доступ к базе. При загрузке статьи происходит распознавание молекул и внесение их в базу при условии, что полученных формул изначально там не было. В планах совершенствование макета и добавление на сайт фильтрации, по которой можно будет легко и быстро найти необходимое соединение или реакцию. Также на этапе макета находится Java-приложение поисковика, которое, как и веб-приложение, будет подключено к базе данных, а также включит в себя систему распознавания по фото и удобные фильтры для поиска. Помимо этого, на основе уникального набора изображений молекул реально разработать собственную нейронную сеть, способную на оптическое распознавание структур. Несмотря на то, что впереди еще много работы, фундамент заложен и команда уверенно движется к поставленной цели по созданию продукта, который станет незаменимым помощником каждого химика.

#### Список использованных источников

1. Crystallography Open Database. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.crystallography.net/cod/> (дата обращения: 06.03.2023).
2. PubChem. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 06.03.2023).
3. ChemSpider. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chemspider.com/> (дата обращения: 06.03.2023).
4. ZINC database. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zinc.docking.org/> (дата обращения: 06.03.2023).
5. Reaxys. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.reaxys.com/#/login> (дата обращения: 06.03.2023).
6. Molga K., Szymkuć S., Grzybowski B.A. Chemist Ex Machina: Advanced Synthesis Planning by Computers // *Acc. Chem. Res.* 2021. №. 54(5). Pp. 1094–1106.
7. Filippov I.V., Nicklaus M.C. Optical Structure Recognition Software To Recover Chemical Information: OSRA, An Open Source Solution // *J. Chem. Inf. Model.* 2009. №. 49(3). Pp. 740–743.
8. Peryea T., Katzel D., Zhao T., Southall N., Nguyen D.-T. Merge pull request // GitHub. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://github.com/ncats/molvec?ysclid=le7d2l5m9l253888001> (дата обращения: 06.03.2023).
9. Kviatkovskii M., Samoylov V., Savelyev A. // GitHub. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/epam/Imago> (дата обращения: 06.03.2023).
10. Clevert D.-A., Le T., Winter R., Montanari F. *Img2Mol* – accurate SMILES recognition from molecular graphical depictions // *Chem. Sci.* 2021. №. 12. Pp. 14174–14181.
11. Oldenhof M., Arany A., Moreau Y., Simm J. ChemGrapher: Optical Graph Recognition of Chemical Compounds by Deep Learning // *Journal of Chemical Information and Modeling.* 2020. №. 60(10). Pp. 4506–4517.
12. Rajan K., Zielesny A., Steinbeck C. DECIMER: towards deep learning for chemical image recognition // *Journal of Chemoinformatic.* 2020. №. 12(65). <https://doi.org/10.1186/s13321-020-00469-w>.

13. Yi J., Wu C., Zhang X., Xiao X., Qiu Y., Zhao W., Hou T., Cao D. MICER: a pre-trained encoder–decoder architecture for molecular image captioning // *Bioinformatics*. 2022. №. 38(19). Pp. 4562–4572.
14. Khokhlov I., Krasnov L., Fedorov M.V., Sosnin S. Image2SMILES: Transformer-Based Molecular Optical Recognition Engine // *Chemistry – Methods*. 2022. №. 2(1). DOI: 10.1002/cmtd.202100069.

УДК 544.773.3.023.2

## САМОСБОРКА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА НА ГРАНИЦЕ ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ МЕТОДА ГИГАНТСКОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

*Павлова А.А.<sup>1</sup> (студент), Ахундзянова А.О.<sup>1</sup> (студент), Король А.И.<sup>1</sup> (студент),  
Малева К.А.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат химических наук, профессор Смирнов Е.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: arinapavlova29@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы РНФ №22–73–00206 «Самосборка наночастиц золота и серебра на границе жидкость-жидкость как платформа для метода гигантского комбинационного рассеяния»*

---

Целью данной работы является создание подложек на основе наночастиц золота для повышения интенсивности сигнала рамановского рассеяния. В последние годы был предложен ряд способов улучшения характеристик таких подложек, в том числе, равномерности сигнала рассеяния и его воспроизводимости по всей усиливающей поверхности. Одним из перспективных методов создания таких подложек является самосборка наночастиц на границе раздела двух жидких или жидкой и воздушной фазы, который позволяет получить упорядоченные массивы наночастиц. Упорядочение позволяет получать более воспроизводимый и равномерный сигнал рамановского рассеяния при прочих равных условиях.

### **Ключевые слова**

Наночастицы золота, самосборка, граница раздела фаз, рамановская спектроскопия, гигантское комбинационное рассеяние (ГКР).

---

Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) или рамановская спектроскопия – один из самых перспективных и быстро развивающихся методов как качественного, так и количественного анализа широкого круга аналитов. Рамановская спектроскопия имеет большое число применений в абсолютно разных сферах деятельности: в фармацевтике и медицине, криминалистике, экологии и многих других отраслях [1–4].

Уникальным свойством рамановской спектроскопии является идентификация веществ в области «отпечатков пальцев» ( $650\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ ), которая позволяет определить индивидуальные соединения в объектах сложного состава. Однако, основной недостаток данной спектроскопии – слабая интенсивность рамановского сигнала. Подходы к решению задачи усиления сигнала были обобщены в работах [5, 6]. Одним из перспективных направлений создания усиливающих подложек является самосборка наночастиц на границе раздела фаз [7, 8, 9].

В данной работе основная задача – усиления интенсивности сигнала рамановской спектроскопии – решается за счёт простого подхода к самосборке наночастиц золота без функционализации наночастиц или использования ковалентных линкернов по ранее описанной методике [10]. При этом синтез наночастиц был осуществлён классическим методом Френсом, который заключается в восстановлении тетрахлоороаурата (III) водорода с помощью одного из следующих восстановителей: цитрата натрия, аскорбата калия или аскорбиновой кислоты [11, 12].

Полученные коллоидные растворы наночастиц охарактеризовали с помощью спектроскопии в видимой области (рис. 1,а) и динамического светорассеяния (рис. 1,б). По спектрам поглощения рассчитывали средний диаметр частиц и концентрацию, согласно методике, предложенной в работе [13]. Тогда как динамического светорассеяния использовали

---



для подтверждения среднего диаметра частиц и получения данных о стабильности коллоидов (измерение дзета-потенциала). Синтезированные золотые наночастицы имели средний диаметр частиц в диапазоне от 14 до 58 нм и при этом были стабильны, так как средний дзета-потенциал составил 25–30 мВ, что выше порога стабильности. Также из спектроскопии в видимой области можно заметить смещение пика поглощения от объема добавляемого восстановителя на стадии синтеза. С увеличением объема добавляемого восстановителя пик поглощения смещается в более коротковолновую область. Из данных динамического светорассеяния (рис. 1,б) среднее распределение наночастиц по размерам смещается вправо при уменьшении объема восстановителя, что согласуется с данными, полученными из спектров поглощения.

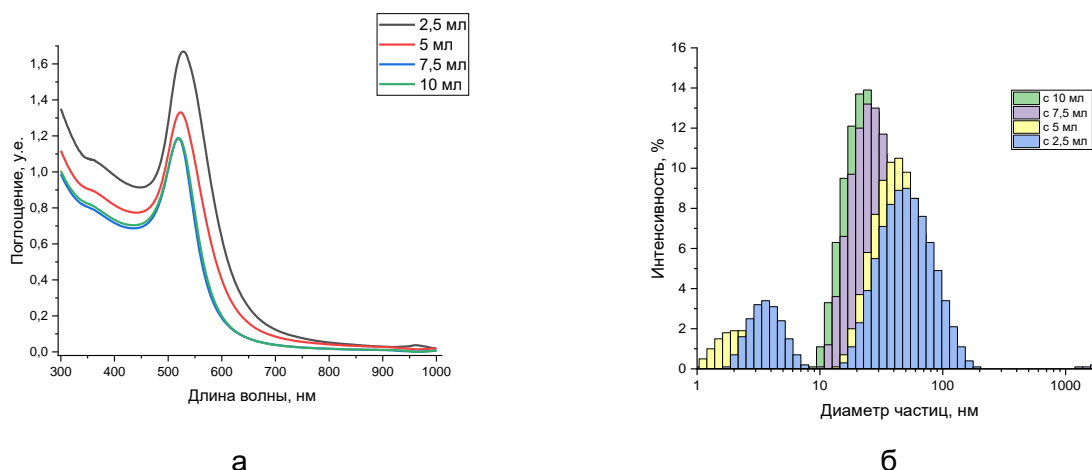


Рис. 1. а) Спектры поглощения образцов, синтезированных с помощью цитрата натрия, б) Распределение частиц по размерам, полученных для образцов с разными объемами цитрата натрия

Далее, для всех синтезированных коллоидных растворов была проведена самосборка на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. Описываемый подход к созданию самосборок наночастиц золота заключается в использовании молекул тетратиафульвалена (ТТФ) в органической фазе (дихлорэтане) при контакте с цитратными наночастицами при сильном перемешивании, эмульгировании смеси, что приводит к образованию непрерывной блестящей пленки золота (рис. 2) [14]. Полученные сборки наночастиц золота могут самовосстанавливаться после процесса повторного диспергирования. Расчёт количества наночастиц, необходимого для одного монослоя плотноупакованных наночастиц в гексагональную упаковку проводили на основании среднего диаметра и концентрации, полученных выше.

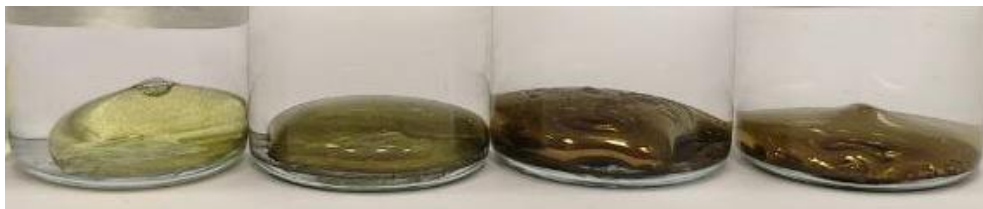


Рис. 2. Ступенчатое увеличение покрытия наночастиц золота на границе раздела вода с 1,2-дихлорэтаном. Слева направо: 0.25, 0.5, 1 и 2 монослоя наночастиц

Далее перенос плёнок осуществляли с помощью методов сверху-вниз и снизу-вверх, которые обозначены, соответственно, как методы аквапринта (схожего с переносом плёнок методом “lift-on”) и drain-to-deposit [15, 16]. В обоих случаях сначала осуществляли перенос заранее подготовленных плёнок на границу раздела вода-органика (смесь гексана с 1,2-дихлорэтаном в соотношении 1 к 1), а затем удаляли органический слой. Далее в случае метода drain-to-deposit пленку вместе с интерфейсом опускают на заранее расположенные под интерфейсом подложки. На рисунке 3 представлено изображение установки, а также приведён пример полученных плёнок на кремниевых подложках.



Рис. 3. Перенос плёнок наночастиц методом drain-to-deposit: а) общий вид установки для переноса плёнок; б) расположение подложек под плёнкой; в) кремниевые подложки с перенесённой плёнкой

В случае метода аквапринта подложки погружают сверху-вниз в пленку из наночастиц, и специальная установка для этого не требуется, достаточно химического стакана. На рисунке 4 подробнее изображен этот метод и подложки, полученные в результате.

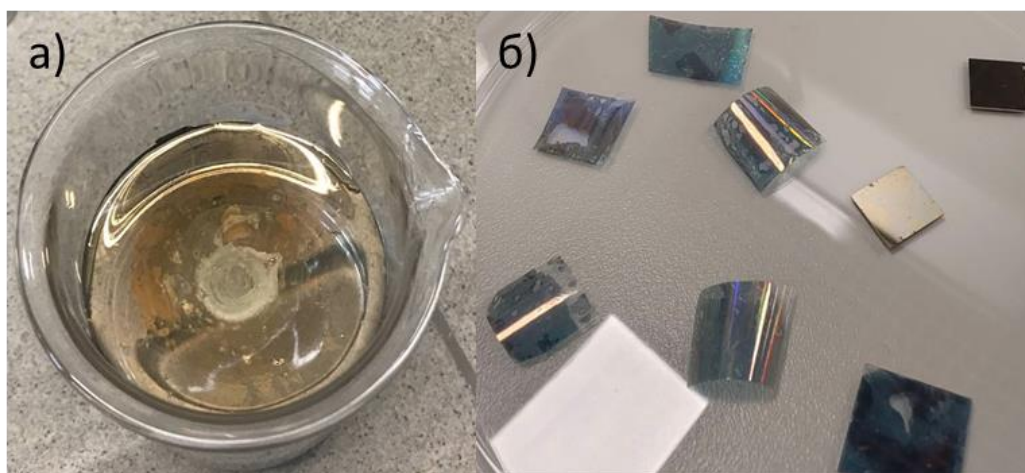


Рис. 4. Перенос плёнок наночастиц методом аквапринта: а) исходная плёнка золотых наночастиц; б) кремниевые и полимерные подложки с перенесённой плёнкой из наночастиц

Сравнение представленных методов опытным путем показывает, что перенос пленок на кремниевые подложки получается более равномерным как с помощью аквапринта, так и с помощью метода drain-to-deposit. Однако с менее твердыми и более легкими подложками лучше работать методом аквапринта.

Далее полученные пленки упорядоченных наночастиц предлагается использовать в рамановской спектроскопии для усиления слабого сигнала рассеяния. Все рамановские спектры снимали на рамановском микроскопе InVia (Renishaw, UK) с использованием красного лазера с длиной волны 633 нм. На рисунке 5 представлены спектры рамановского рассеяния на

кремниевых подложка с наночастицами, полученными при использовании 10 мл и 2,5 мл цитрата натрия (т.е. 17 и 44 нм в диаметре). На спектре исходной подложки присутствуют хорошо различимые пики ГТФ с максимумами  $490\text{--}505\text{ см}^{-1}$  и  $750\text{ см}^{-1}$ , а также пик кремния при  $521\text{ см}^{-1}$  [17]. Добавление красителя родамина 6Ж в объеме 30 мкл концентрацией  $10^{-6}\text{ М}$  в этаноле приводит к появлению серии новых пиков:  $770, 1180, 1310, 1360, 1510\text{ см}^{-1}$ , что соответствует данным из статьи [18]. Это свидетельствует об адсорбции красителя на поверхности подложки в горячих точках. Последнее, в свою очередь, приводит к усилению сигнала.

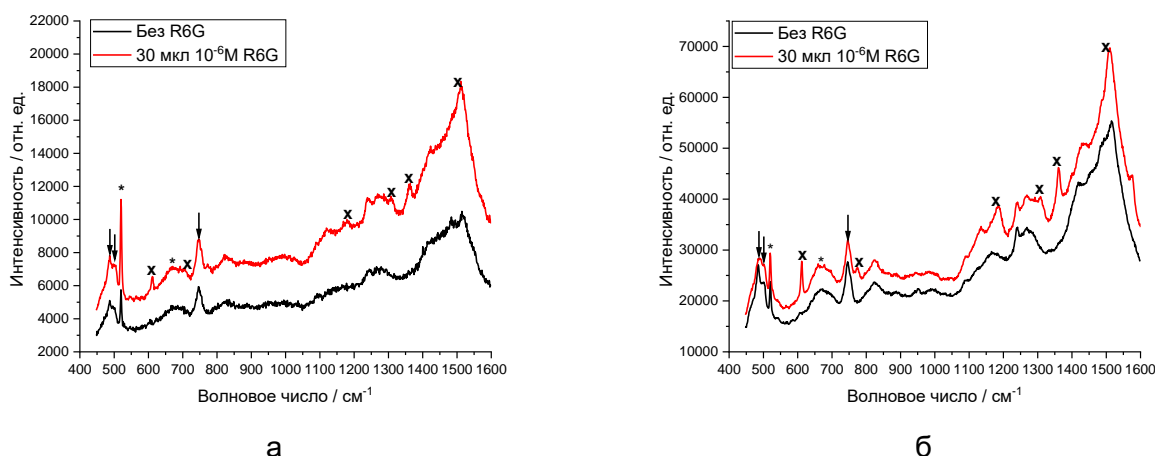


Рис. 5. Спектры рамановского рассеяния полученных подложек до и после добавления красителя родамин 6Ж (R6G): а) для наночастиц среднего диаметра 12 нм; б) для наночастиц среднего диаметра 44 нм

Таким образом, в ходе работы был продемонстрирован новый подход к созданию усиливающих подложек для рамановской спектроскопии, который отличается простотой исполнения и невысокой стоимостью. Нанесение красителя родамин 6Ж приводит к появлению характерных пиков усиленного рамановского рассеяния. Последнее эквивалентно коэффициенту усиления  $10^4\text{--}10^5$ . Дальнейшая работа будет посвящена усовершенствованию методики и увеличению коэффициента усиления.

#### Список используемой литературы:

1. Saleh T.A., Alshalalfeh M.M., Onawole A., Al-Saadi A. Ultra-trace detection of methimazole by surface-enhanced Raman spectroscopy using gold substrate // *Vibrational Spectroscopy*. 2017. Т. 90. С. 96–103.
2. Izake E.L. Forensic and homeland security applications of modern portable Raman spectroscopy // *Forensic science international*. 2010. Т. 202. №. 1–3. С. 1–8.
3. Zhong Z.M., Jiang J.-M., Qu D.-B., Wang J., Li X.-P., Lu K.-W., Xu B., Chen J.-T. Esophageal perforation related to anterior cervical spinal surgery // *Journal of Clinical Neuroscience*. 2013. Т. 20. №. 10. С. 1402–1405.
4. Li R. et al. Simultaneous in situ extraction and self-assembly of plasmonic colloidal gold superparticles for SERS detection of organochlorine pesticides in water // *Analytical Chemistry*. 2021. Т. 93. №. 10. С. 4657–4665.
5. Li J. F. et al. Core-shell nanoparticle-enhanced Raman spectroscopy // *Chemical reviews*. 2017. Т. 117. №. 7. С. 5002–5069.
6. Langer J. et al. Present and Future of Surface-Enhanced Raman Scattering // *ACS Nano*. 2019. Т. 14. № 1. С. 28–117.
7. Ye Z. et al. Self-assembly of colloidal nanoparticles into 2D arrays at water-oil interfaces: rational construction of stable SERS substrates with accessible enhancing surfaces and tailored plasmonic response // *Nanoscale*. 2021. Т. 13. №. 12. С. 5937–5953.

8. Scanlon M. D. et al. Gold nanofilms at liquid–liquid interfaces: an emerging platform for redox electrocatalysis, nanoplasmonic sensors, and electrovariable optics // *Chemical reviews*. 2018. Т. 118. №. 7. С. 3722–3751.
9. Tian T. et al. Self-assembled plasmonic nanoarrays for enhanced bacterial identification and discrimination // *Biosensors and Bioelectronics*. 2022. Т. 197. С. 113778.
10. Smirnov E. et al. Gold metal liquid-like droplets // *ACS nano*. 2014. Т. 8. №. 9. С. 9471–9481.
11. Smirnov E. *Assemblies of Gold Nanoparticles at Liquid-Liquid Interfaces: From Liquid Optics to Electrocatalysis*. – Springer. 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-77914-0.
12. Frens G. Controlled nucleation for the regulation of the particle size in monodisperse gold suspensions // *Nature physical science*. 1973. Т. 241. №. 105. С. 20–22.
13. Haiss W. et al. Determination of Size and Concentration of Gold Nanoparticles from UV–Vis Spectra // *Anal. Chem*. 2007. Т. 79. №. 11. С. 4215–4221.
14. Smirnov E. et al. Gold metal liquid-like droplets // *ACS nano*. 2014. Т. 8. №. 9. С. 9471–9481.
15. Song L. et al. Instant interfacial self-assembly for homogeneous nanoparticle monolayer enabled conformal “lift-on” thin film technology // *Science Advances*. 2021. Т. 7. №. 52. С. eabk2852.
16. Yang G., Hallinan D. T. Self-assembly of large-scale crack-free gold nanoparticle films using a ‘drain-to-deposit’ strategy // *Nanotechnology*. 2016. Т. 27. №. 22. С. 225604.
17. Sandroff C. J. et al. Charge transfer from tetrathiafulvalene to silver and gold surfaces studied by surface-enhanced Raman scattering // *The Journal of Physical Chemistry*. 1983. Т. 87. №. 12. С. 2127–2133.
18. Huo C. et al. Stable SERS substrate based on highly reflective metal liquid-like films wrapped hydrogels for direct determination of small molecules in a high protein matrix // *Talanta*. 2021. Т. 234. С. 122678.

УДК 622.244

## ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В НЕФТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Петрова М.С.<sup>1</sup> (студент), Гончаров В.В.<sup>1</sup> (студент), Домарева Н.П.<sup>1</sup> (студент),  
Беляев В.Е.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – доктор химических наук Скорб Е.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: mary1349@mail.ru*

---

В работе рассмотрено применение электрохимического метода для детектирования концентрации ингибиторов коррозии в нефтяной смеси. В ходе исследования собраны вольтамперные характеристики различных ингибиторов в пластовой воде, полученная база данных обработана методами машинного обучения. Рассчитана вероятность предсказаний концентрации исследуемого образца.

### **Ключевые слова**

Ингибитор коррозии, нефть, пластовая вода, вольтамперограмма, потенциостат, электрохимических метод.

---

При хранении и транспортировке водонефтяных смесей металлические носители, используемые на месторождениях нефти, подвергаются сильной коррозии. Это приводит к выходу из строя оборудования и необходимости его замены. Использование ингибиторов коррозии предотвращает разрушение стальных конструкций, нефтеразливы в реки и водоемы. Имеется необходимость детектирования концентрации ингибитора, поскольку низкое содержание вещества в сложной водонефтяной эмульсии разрушает металлические подземные сооружения в то время, как очень высокое содержание приводит к поставке некачественного сырья и невозможности его дальнейшей переработки в топливные продукты. Актуальность исследования состоит в необходимости контроля концентрации ингибитора коррозии в сложной водонефтяной смеси, в том числе в поточной режиме [1].

Изучаемый водонефтяной флюид представляет собой смесь воды и нефти с четко фиксируемой границей раздела фаз. Ингибитор коррозии закономерно распределяется между водной и нефтяной фазами водонефтяного флюида, что дает возможность детектирования концентрации в пластовой воде, попутно добываемой с нефтью [2].

Измерение содержания ингибитора проводилось электрохимическим методом. Циклическая вольтамперометрия представляет собой вольтамперометрический метод, в котором фиксируется изменение во времени тока, протекающего через изучаемую систему при наложении на нее изменяющегося во времени напряжения [3]. Данным способом было изучено 10 различных концентраций 4 разных ингибиторов коррозии: ТН-ИК8, ИТПС-508, Сонкор 9920 А, Сатис марки В. Собранная база данных представляет собой набор вольтамперограмм изученных образцов.

На рисунках 1 и 2 представлены электрохимические характеристики образцов пластовой воды с различным содержанием ингибитора коррозии. На примере одного из четырех ингибитор можно визуальнo оценить различие вольтамперограмм. Таким образом, пики окисления и восстановления на первом рисунке занимают меньшую площадь графика, чем пики на втором рисунке. Это выявляет закономерность: чем больше ингибитора коррозии ТН-ИК8 добавлено в исследуемый образец, тем эффективнее он защищает стальной электрод от коррозии, и тем меньше по величине и диапазону пики окисления и восстановления.

---

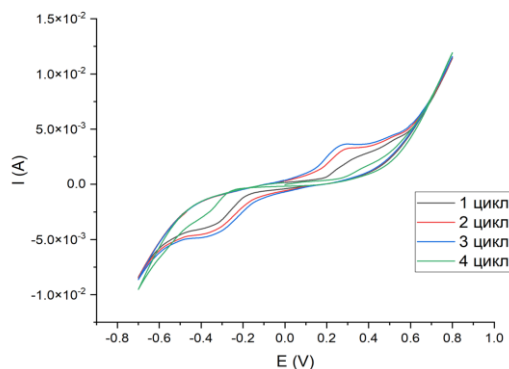


Рис. 1. Электрохимические характеристики пластовой воды с добавлением ингибитора ТН-ИК8 (концентрация 50 г/м<sup>3</sup>)

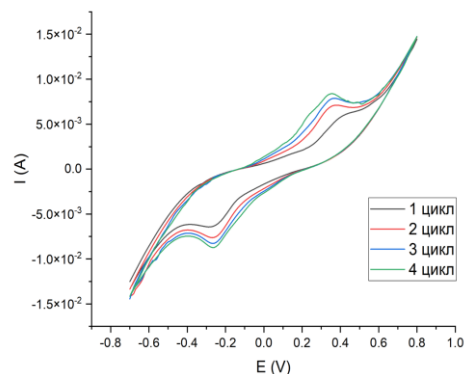


Рис. 2. Электрохимические характеристики пластовой воды с добавлением ингибитора ТН-ИК8 (концентрация 10 г/м<sup>3</sup>)

Для создания базы данных на основе результатов экспериментов использовался язык программирования python и его библиотеки numpy и pandas. Результаты были обработаны методами машинного обучения и протестированы различными способами на основе сравнения всех пяти циклов вольтамперограмм, а также сравнения только пятых циклов.

На рисунке 3 представлены результаты тестирования обученной модели. Процент предсказанных концентраций на основе модели машинного обучения составляет 86%.

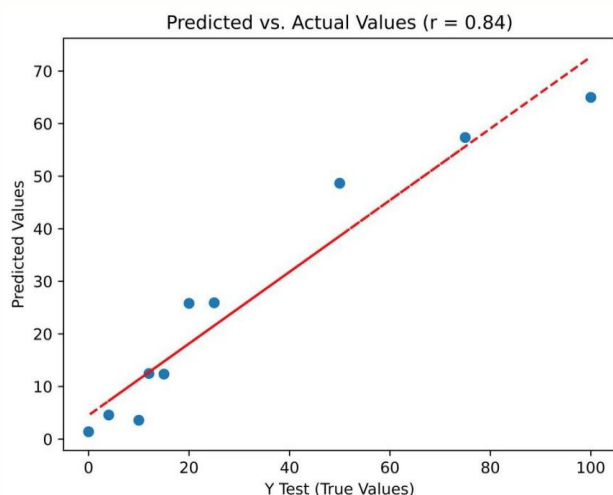


Рис. 3. Результат тестирования модели машинного обучения

Это позволяет сделать вывод об эффективности применения электрохимического метода в изучении составов сложной водонефтяной смеси и перспективности использования разрабатываемой методики непосредственно на месторождениях нефти.

В рамках исследования также разработана модель отечественного восьмиканального потенциостата; изучена и доказана эффективность применения медных, графитовых и латунных электродов для разработки электродной системы, позволяющей детектировать концентрации ингибитора коррозии (начиная с 2 г/м<sup>3</sup>), в том числе в поточном режиме.

#### Список использованных источников

1. Elkadi L., Mernari B., Traisnel M., Bentiss F., Lagrenee M. The inhibition action of 3, 6-bis (2-methoxyphenyl)-1, 2-dihydro-1, 2, 4, 5-tetrazine on the corrosion of mild steel in acidic media // *Corrosion Science*. 2000. V. 42. №. 4. Pp. 703–719.
2. Булачев Н.Д. Методы борьбы с коррозией металлов в условиях нефтедобычи // *The Second European Conference on Earth Sciences*. 2015. №. 5. С. 56–65.
3. Ван К., Варела Ф.Б., Тан М.Ю. Влияние площади поверхности электрода на мониторинг инициирования коррозии стали Х65 в грунте // *Коррозионная наука*. 2019. Т. 152. С. 218–225.

**Деятельность образовательного центра  
"Энергоэффективные инженерные системы"**

УДК 621.6.057

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОГРУЖНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА СИСТЕМЫ ОТГРУЗКИ СПГ

*Давыденко М.И.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Баранов А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: mishellooh@yandex.ru*

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

---

Разработаны математические модели для различных режимов эксплуатации ПНСГ в зависимости от способа подачи СПГ на гидротурбины. Получены математические модели для процесса пуска насосного агрегата при различных условиях открытия регулирующего вентиля на подающем трубопровода СПГ. Проведен расчет режимов эксплуатации ПНСГ, результаты проанализированы на предмет соответствия существующим операционным параметрам работы ПНСГ в условиях эксплуатации.

### **Ключевые слова**

Крупнотоннажные хранилища; сжиженный природный газ; центробежный насос; гидравлическая турбина; погружной насос отгрузки; математическая модель.

---

Погружные насосы сжиженного природного газа (ПНСГ) являются наиболее критичным узлом технологического блока накопления-выдачи СПГ. В крупнотоннажном производстве СПГ преимущественно используют погружные центробежные насосы с электроприводом. Насосный агрегат эксплуатируется в слое криогенной жидкости высотой до 50 м и при температуре 111 К, поэтому в случае поломки любого узла требуется полная замена насосного агрегата. Исходя из эксплуатационных характеристик существующих марок погружных насосов для отгрузки СПГ, основным видом данных насосов является центробежный насос с электрическим приводом. Однако, наличие электропривода значительно повышает риск аварийности системы, насосы такого типа требуют полной ревизии при поломке или отказе, а также не подлежат ремонту и нуждаются в полном выводе из эксплуатации. Существенным недостатком существующей конструкции ПНСГ является то, что при работе насоса данного типа примерно 30% энергии, затраченной электроприводом, рассеивается в криогенной жидкости, что приводит к возникновению дополнительных потерь СПГ. Для повышения надежности погружного насосного агрегата рационально исключить электрический привод из конструкции ПНСГ.

В опубликованных ранее исследованиях [1] была проанализирована возможность модернизации конструкции ПНСГ в целях снижения эксплуатационных издержек, связанных с наличием в конструкции электропривода, а также увеличения общей энергоэффективности системы. Согласно полученным результатам, для модернизации конструкции была выбрана замена электропривода на гидротурбину, соосно размещаемую с рабочим колесом центробежного насоса и использующую в качестве рабочей жидкости продукционный СПГ. Поток СПГ, поступающий в гидротурбину, имеет высокое давление магистрального газопровода (7 МПа) и температуру около 111 К, т.е. находится недогретом состоянии, его свойства сходны со свойствами любой традиционной жидкости. При направлении данного потока гидротурбину, потенциальная энергия потока преобразуется в энергию вращения рабочего колеса турбины, затрачиваемую на вращение рабочего колеса насоса.

---



Для оценки работоспособности агрегата ПНСПГ с приводом от гидротурбины необходимо составить математическую модель рабочего колеса гидротурбины в условия отгрузки СПГ из крупнотоннажной накопительной емкости. Энергия, затрачиваемая на вытеснение единицы массы СПГ за пределы хранилища зависит от степени наполнения резервуара. Уровень СПГ в хранилище является функцией времени. Уравнение для расчета энергии вытеснения СПГ выглядит следующим образом [2]:

$$E_{\text{выт}} = g \cdot (Y_{\text{max}} - y_{\text{СПГ}}), y_{\text{СПГ}} = f(\tau), \quad (1)$$

где  $Y_{\text{max}}$  – максимальная высота емкости,

$Y_{\text{max}} = 27$  м;

$y_{\text{СПГ}}$  – уровень СПГ с емкости в каждый момент времени.

При отгрузке СПГ из крупнотоннажных хранилищ возможны два варианта организации данного процесса:

- отгрузка при постоянном расходе СПГ высокого давления на рабочем колесе гидротурбины и переменном расходе в линии выдачи;
- отгрузка при постоянном расходе в линии выдачи и переменном расходе СПГ высокого давления на турбине.

При постоянной величине расхода СПГ высокого давления на турбине полная мощность турбины зависит исключительно от уровня СПГ в накопителе в данный момент времени. Приращение мощности турбины определяется приращением разности уровней СПГ «до» и «после» перемещения массы СПГ в линию выдачи.

Система уравнений, описывающая режим работы агрегата с гидроприводом, для первого варианта эксплуатации, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\text{тур}} = \text{const} \\ N_{\text{тур}} = m_{\text{тур}} \cdot N_{\text{тур}}^{\text{уд}} = \frac{m_{\text{тур}} \cdot g}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{тур}}} \cdot \frac{\delta y_{\text{СПГ}}}{\delta \tau} \\ N_{\text{нас}} = \eta_{\text{нас}} \cdot N_{\text{тур}} = \frac{m_{\text{тур}} \cdot g}{\eta_{\text{тур}}} \cdot \frac{\delta y_{\text{СПГ}}}{\delta \tau} \\ m_{\text{нас}} = \frac{N_{\text{нас}}}{\rho \cdot g \cdot y_{\text{н}}}, \text{ где } y_{\text{н}} - \text{напор насоса} \end{array} \right. \quad (2)$$

В случае эксплуатации насосного агрегата с переменным расходом потока высокого давления на турбине линия выдачи СПГ работает в номинальном режиме при постоянном режиме. Мощность, развиваемая насосом, является функцией уровня СПГ в накопительной емкости. При отгрузке СПГ величина потенциальной энергии, которую необходимо передать массе криогенного продукта для перемещения в линию выдачи увеличивается, следовательно, потребляемая насосом мощность с течением времени увеличивается. Регулирование величины расхода потока СПГ высокого давления через турбину должно обеспечивать мощность, при которой расход продукта в линии выдачи будет оставаться постоянным.

Система уравнений, описывающая режим работы агрегата с гидроприводом, для второго варианта эксплуатации, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\text{нас}} = \text{const} \\ N_{\text{нас}} = m_{\text{нас}} \cdot N_{\text{тур}}^{\text{уд}} = \frac{m_{\text{нас}} \cdot g}{\eta_{\text{нас}}} \cdot \frac{\delta y_{\text{СПГ}}}{\delta \tau} \\ N_{\text{тур}} = \frac{N_{\text{нас}}}{\eta_{\text{тур}}} = \frac{m_{\text{нас}} \cdot g}{\eta_{\text{тур}} \cdot \eta_{\text{тур}}} \cdot \frac{\delta y_{\text{СПГ}}}{\delta \tau} \\ m_{\text{тур}} = \frac{N_{\text{нас}}}{\rho \cdot g \cdot Y_{\text{тур}}}, \text{ где } Y_{\text{тур}} - \text{напор в линии подачи СПГ в емкость} \end{array} \right. \quad (3)$$

С помощью уравнений (2–3) был проведен расчет основных операционных характеристик для двух режимов работы модернизированной конструкции ПНСПГ в процессе отгрузки СПГ из накопительной емкости. При постоянном расходе СПГ через гидротурбину был принят равным 4,4 кг/с. При этом средний расход подачи насоса составил 159,94 кг/с, что соответствует номинальным значениям, принятым к эксплуатации.

Для моделирования процесса запуска агрегата в работу и ускорения рабочего колеса гидротурбины из состояния покоя используется дифференциальное уравнение момента. Общий вид дифференциального уравнения момента вращения ротора (вала) [3]:

$$M = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha'} \quad (4)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения ротора (вала);

$J$  – момент инерции;

$\alpha$  – угол поворота ротора (вала).

Процесс запуска агрегата в работу рассматривается для двух различных задач.

Значит работа с постоянным открытием вентиля подачи вот этого СПГ высокого давления. Неизменная степень открытия запорного органа – принято, что открытие вентиля на подающем трубопроводе СПГ происходит за бесконечно малый промежуток времени.

Режим работы с переменным открытием. Вентиль открывает постепенно, в течение определенного промежутка времени от степени открытия 0 до номинальной степени открытия.

Для первого случая  $\Delta z = 0$  момент двигателя есть функция угловой скорости:

$$M_d(t) = \frac{(M_{до} (1 + \frac{\Delta z}{z_0} \frac{\Delta \omega}{\omega_0}) - M_{т0} - \Delta M_c)}{\eta_{тур}} = \frac{(M_{до} (1 - \frac{\Delta \omega}{\omega_i}) - M_{т0} - \Delta M_c)}{\eta_{тур}} \quad (5)$$

$$M_d(t) = \frac{M_{до} - M_{т0} - \Delta M_c}{\eta_{тур}} - \frac{M_{до}}{\eta_{тур}} \frac{\Delta \omega}{\omega_i} = K - K_1 \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

где  $K = \frac{M_{до} - M_{т0} - \Delta M_c}{\eta_{тур}}$ ,

$K_1 = \frac{M_{до}}{\omega_i \eta_{тур}}$ .

Учитывая уравнение (6), а также известные математические выражения для  $M_{рк}(t)$  и  $M_{вт}(t)$  [4, 5], дифференциальное уравнение момента примет вид:

$$J \frac{d\omega}{dt} = K - K_1 \frac{d\omega}{dt} - 2 \frac{\pi \mu R_2^4}{a} \omega - 3,3565 \cdot 10^4 l d^3 \mu \omega, \quad (7)$$

$$\frac{d\omega}{dt} (J + K_1) + \omega \left( 2 \frac{\pi \mu R_2^4}{a} + 3,3565 \cdot 10^4 l d^3 \mu \right) = K. \quad (8)$$

Зададим постоянные коэффициенты:  $A = (J + K_1)$  и  $B = \left( 2 \frac{\pi \mu R_2^4}{a} + 3,3565 \cdot 10^4 l d^3 \mu \right)$ .

Тогда уравнение (8) принимает вид:

$$\omega' + \omega \frac{B}{A} = \frac{K}{A}. \quad (9)$$

Уравнение (16) представляет собой линейное дифференциальное уравнение второго порядка, решение которого представляет собой решение задач Коши при заданном начальном условии. На основании существующих методик решения неоднородных дифференциальных уравнений, система уравнений, описывающая процесс запуска в работу соосно установленных гидротурбины и насоса для случая мгновенного открытия запирающего вентиля:

$$\begin{cases} \omega_T(t) = K_4 (1 - e^{-K_3 t}) \\ \omega_H(t) = \frac{K}{B} \left( 1 - e^{-\frac{B}{A} t} \right) \end{cases} \quad (10)$$

Для второго варианта запуска системы в работу уравнение (9) принимает вид:

$$\omega' + \omega \frac{B}{A} = \frac{C}{A} + \frac{C_1}{A} \Delta z. \quad (11)$$

Система уравнений для второго режима пуска системы в работу, при постепенном изменении степени открытия проходного сечения трубопровода имеет вид:

$$\begin{cases} \omega_T(t) = K_4(1 - e^{-K_3 t}) \\ \omega_H = \left(\frac{c}{A} + \frac{c_1}{A} \Delta z\right) \left(1 - e^{-\frac{B}{A} t}\right). \end{cases} \quad (12)$$

Решение систем уравнений (10) и (12) осуществлено с помощью программных продуктов. Исходные характеристики насоса и гидрогенератора турбины взяты из операционных инструкций по эксплуатации существующих моделей радиально-осевой гидротурбины и центробежного насоса. В качестве номинального (постоянного) значения степени открытия сечения регулирующего вентиля на подводящем трубопроводе СПГ для первого режима работы в первом приближении принято значение 0,75, при максимальном значении 1,0. Полученные значения угловых скоростей вращения вала ПНСПГ по результатам расчета для обоих режимов соответствуют номинальным значениям. Для режима пуска с постоянной степенью открытия запорного устройства угловая скорость вращения вала ПНСПГ составляет 3241 об/мин, для режима постепенного открытия вентиля угловая скорость вала составляет 2995 об/мин. Полученные значения соответствуют допустимым режимам работы для выбранных агрегатов в заданных условиях работы.

Стоит отметить, что стабилизация частот вращения для обоих режимов наступает на 30–35 секунде после пуска агрегата. Быстрая стабилизация вращения способствует снижению вероятности возникновения кавитационных явления на лопастях гидротурбины и насоса, а также быстрому выходу на оптимальные режимы выдачи СПГ из резервуара хранения.

Проведен расчетный анализ работы гидравлической турбины привода центробежного ПНСПГ. Рассмотрены основные режимы работы погружного насоса СПГ. Составлены системы уравнений, описывающие режимы работы насосного агрегата в процессе отгрузки. Составлены системы уравнений для режима работы для двух вариантов эксплуатации ПНСПГ: для постоянного или переменного уровня подачи СПГ на рабочее колесо гидротурбины. Исследован процесс пуска агрегата из состояния покоя. Разработаны математические модели процесса запуска агрегата для различных вариантов открытия запорного органа на подающем трубопроводе СПГ. Системы уравнений верифицированы путем численного моделирования всех процессов на основании известных действующих параметров работы системы отгрузки и устанавливаемых на производствах погружных насосов.

#### Список использованных источников

1. Давыденко М.И., Баранов А.Ю. Применение гидротурбины в качестве привода погружного центробежного насоса для отгрузки сжиженного природного газа из крупнотоннажных хранилищ // Материалы IX Международной научно-технической конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке". 2019. Т. I. С. 193–198.
2. Ковалев Н.Н. Гидротурбины: конструкции и вопросы проектирования – СПб: Машиностроение. 2017. 584 с.
3. Teregulov R.K. Perfection of technologies for production and storage of liquefied natural gas: Candidate thesis (engineering) // Ufa State Petroleum Technological University. 2009.
4. Zhu B., Wang X., Tan L. Optimization design of a reversible pump–turbine runner with high efficiency and stability // Renew. Energy. 2015. С. 366–376
5. Михайлов А.К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование – М.: Машиностроение. 1977. 288 с.

УДК 621.577

## РАЗВИТИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ И СПИРАЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ

*Живаев В.С.<sup>1</sup> (студент), Малышев А.А.<sup>1</sup>, Малинина О.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №622295 «Экологически безопасные технологии энергосбережения и повышения эффективности низкотемпературных систем и преобразователей энергии»*

---

В данном исследовании установлена возможность использования хладагентов класса гидрофторолефины (HFO), в частности R1234yf, в теплонасосных установках (ТНУ) с последующим выяснением эффективности системы в сравнении с широко применяемыми аналогами: R134a, R717, R410a. Через расширенный эксергетический анализ выявлены слабые места исследуемых установок и, в следствие, предложены варианты устранения выявленных недостатков с целью повышения энергоэффективности систем. Показаны изменения коэффициентов оценки эффективности при смене типа компрессорного элемента.

### **Ключевые слова**

Тепловой насос, спиральный компрессор гидрофторолефины, эксергетический анализ, оценка производительности.

---

Тепловые насосы (ТН) широко используются для охлаждения и обогрева. Но, как и любая система, она не лишена недостатков. Существуют три основных способа повышения производительности ТН, работающих при заданных внешних условиях. Первый заключается в разработке более эффективных компонентов системы, например теплообменники с улучшенной теплопередачей или компрессор с улучшенной производительностью. Второй — модификация цикла, по которому работает система, в соответствии с внешними условиями, чтобы установка работала наиболее эффективно и экономна. При таком подходе активно улучшаются каскадные системы.

Третий — оптимизация условий рабочего цикла, таких как переохлаждение, полезный перегрев. Тем не менее, растущий интерес к энергоэффективности привел к тому, что сфера применения теплонасосных установок заметно расширилась. Исследователи активно прорабатывают вопрос повышения эффективности используемых решений в пароконденсационных установках.

Эксергетический анализ использовался как мощный инструмент для изучения и оптимизации различных типов энергетических систем. Однако стандартная методология не включает оценку эксергетических потерь. Расширенный эксергетический анализ позволяет лучше понять значения эксергетических потерь для повышения эффективности системы. Это рассмотрение имеет большое значение для понимания поведения различных компонентов при заданных условиях внешней среды для определения потенциальных улучшений. Использование расширенной методологии в случае ТН дает сделать вывод, касаясь эффективности компрессора или конденсатора, которая тесно связана с внутренними рабочими условиями, и испарителя, КПД которого можно будет повысить за счет структурных усовершенствований элемента.

Для проведения анализа в качестве эталона был взят тепловой насос типа «Вода-Воздух», работающий на R-134a и представленный в статье [8]. Была построена модель этого ТН, которая была проверена с помощью соотнесения расчетных данных с экспериментальными данными.

---

Расчетная модель показала допустимую погрешность в размере 7%. В дальнейшем модель использована для анализа системы в широком диапазоне температур с несколькими РВ и различными источниками низкопотенциальной энергии. На основе расчетов под расширенной методологии было определено относительное влияние каждого компонента на общие потери в системе.

Важно отметить, что эксергетический анализ применительно к теплонаносным установкам позволяет дополнительно оценить производительность, и как следствие, заметно улучшить работу холодильных установок, задавая должным образом переохлаждение и перегрев системы.

На рисунке 1 приведен цикл расчетной модели ТН, взятой за основу.

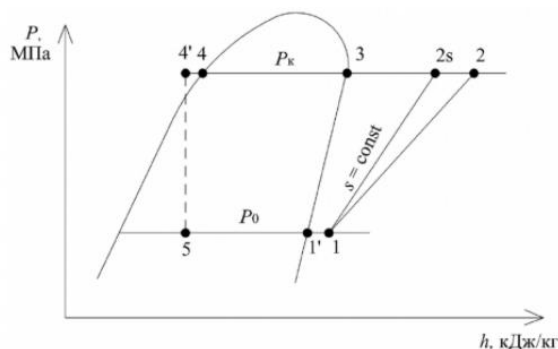


Рис. 1. Цикл теплового насоса

### Эксергетический анализ

Наиболее подробно основы эксергетического анализа описаны в трудах [5]. В качестве примера анализа установки «Вода-Воздух» можно взять расчет в трудах [8], где подробно описаны тонкости выполнения вычислений. В своих трудах мы уже приводили детальную оценку и расчеты систем «Воздух-Воздух», «Вода-Воздух», «Воздух-Вода», поэтому в данной работе на этом останавливаться не будем. Первым этапом заключается в нахождении влияния внешней температуры на эффективность каждого элемента теплонаносной установки (ТНУ). Данная зависимость позволяет оценить КПД каждого элемента, выявив низкоэффективные места. В таблице 1 продемонстрировано влияние температуры окружающей среды на величину эксергетических потерь процессов в элементах ТНУ для системы «Вода-Воздух». В данном типе установки источником низкопотенциальной теплоты выступает вода при постоянной температуре – 5°C.

Таблица 1

### Влияние температуры окружающей среды на величину эксергетических потерь процессов в элементах ТНУ для системы «Вода-Воздух»

Наименование элементов ТНУ	Температура окружающей среды, °С		
	-10	-5	0
Компрессор $DEx_{км} = N_{эл} - \Delta Ex_{км}$ , кВт	1,128	1,138	1,149
Конденсатор $DEx_{кд} = [Ex_{кд}] - \Delta Ex_{кп}$ , кВт	1,357	1,358	1,409
Испаритель $DEx_{и} = [Ex_{с}] - \Delta Ex_{и}$ , кВт	0,29	0,24	0,18
Терморегулирующий вентиль $DEx_{рв} = [Ex_{рв}]$ , кВт	0,511	0,521	0,531

При приближении температуры окружающей среды величина эксергетических потерь увеличивается во всех элементах, кроме испарителя. В качестве теплообменного аппарата (ТА), выполняющего функцию испарителя используются пластинчатые ТА. Их эффективность может быть дополнительно увеличена за счет установки рекуператоров и регенераторов, но для исключения их влияния в расчетах не учитывалось наличие данных элементов. В трудах [1] выводится тезис, демонстрирующий превосходство микроканальных аппаратов над пластинчатыми за счет изменения процесса кипения в трубах ТА. Требуются дополнительные расчеты для оценки влияния смены типа ТА конденсатора и испарителя на эксергетический КПД данных элементов и всей системы в целом.

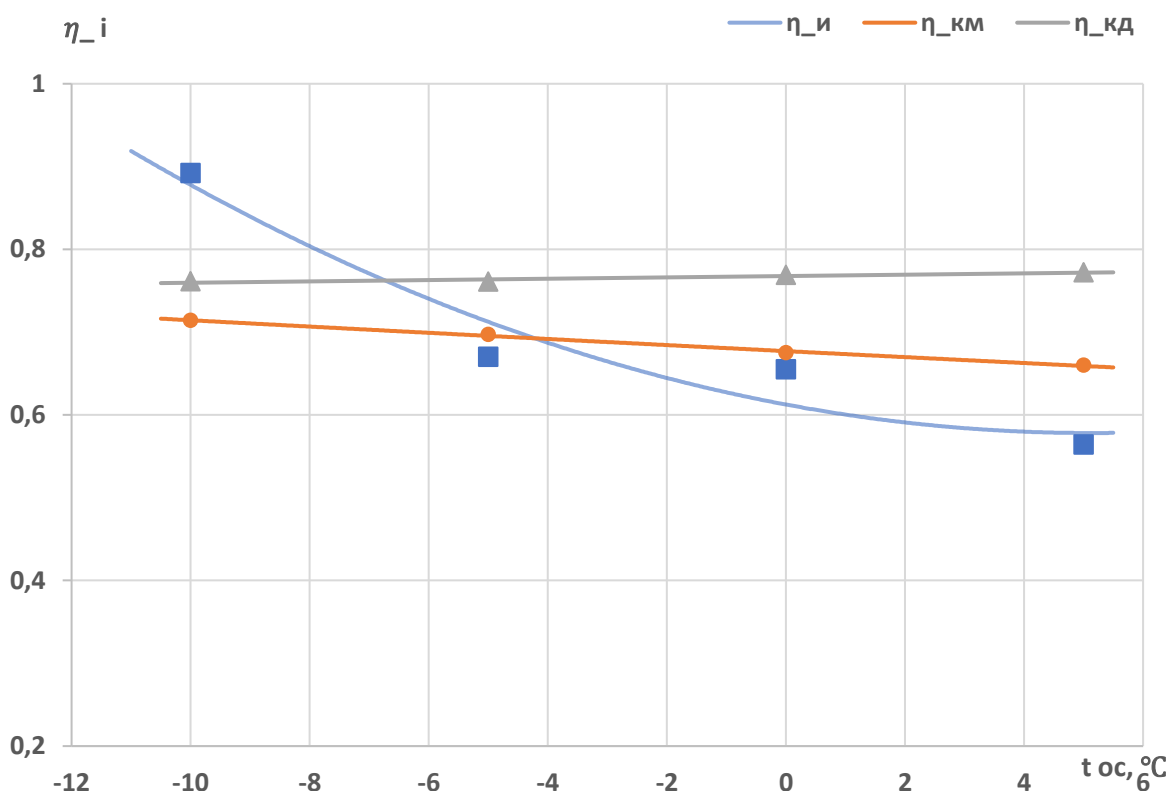


Рис. 2. Зависимость эксергетического КПД отдельных элементов ТНУ от температуры окружающей среды для ТНУ «Воздух-Вода»

На рисунке 2 продемонстрирована общая тенденция для всех типов установок, выраженная воздействием температурой окружающей среды на эксергетический КПД элемента на примере ТНУ «Воздух-Вода». Эксергетический КПД испарителя заметно уменьшается при достижении положительной температуры воздуха — источника низкопотенциальной теплоты.

Конденсатор имеет наименьшие отклонения значений  $\eta_{экс}$  от общего тренда, поскольку обусловлено наибольшим эксергетическим потенциалом данного элемента в ТНУ. Следует обозначить, что величина эксергетического КПД обладает условным характером в данном случае, потому что эффективность конденсатора зависит от параметров конденсации со стороны хладагента и характеристик конвекции в жидкости, что влияет на точность данных.

#### Использование спирального компрессора в схеме ТНУ

В ходе оценке количества эксергетических потерь, замечено, что для всех типов установок компрессор находится на лидирующих позициях с точки зрения величины значений. Основное влияние на данный элемент в ходе анализа оказывают энергетические показатели, такие как коэффициент подачи, индикаторный КПД и т.д. [2–3]. В таблице 2 представлены численные значения величин, которые использовались для расчетов с применением поршневого компрессора. Данные взяты, основываясь на теоретических зависимостях, указанных в работе [5].

Таблица 2

<b>Данные для расчетов с применением поршневого компрессора</b>		
	<b>Поршневой КМ</b>	<b>Спиральный КМ</b>
Эффективный КПД компрессора $\eta_e$	0,77	0,87
Индикаторный КПД компрессора $\eta_i$	0,86	0,85
Коэффициент подачи компрессора $\lambda$	0,71	0,92
КПД электродвигателя $\eta_{эл.дв.}$	0,85	0,87

Основываясь на данных, приведенных в трудах [7] и свидетельствующих о преимуществах спирального компрессора, принято решение провести серию расчетов с целью дополнительного увеличения общего эксергетического КПД.

В трудах [6] наиболее подробно описаны энергетические показатели для спирального КМ. Тем не менее для повышения точности результатов требуется уточнение энергетических показателей, поскольку требуется пересмотреть действительный объемный расход, который обратно пропорционально влияет на коэффициент подачи. Сложность определения  $V_a^T$  заключается в необходимости оценки геометрических параметров компрессорного модуля. К сожалению, ни одна программа подбора наиболее точно не дает оценить данный параметр с необходимой погрешностью., поэтому анализ основывается на общих теоретических зависимостях энергетических коэффициентов для каждого типа хладагентов и компрессоров.

В ходе аппроксимации эффективный КПД увеличился на 13% и составил 0,87, остальные параметры также возросли, кроме индикаторного КПД  $\eta_i$ , который в свою очередь уменьшился на 1%. Изменение внутренних показателей компрессорного модуля спровоцировало увеличение эффективности установки в среднем на 5%, но при этом отопительного коэффициента при использовании спирального компрессора достигает значений от 8,4 до 9,4%, а эксергетического КПД от 8,1 до 10,4%

На рисунке 3 и 4 продемонстрированы усредненные значения приращения  $\eta_{экс}$  и  $\mu$  для каждого хладагента по всем типам установок.

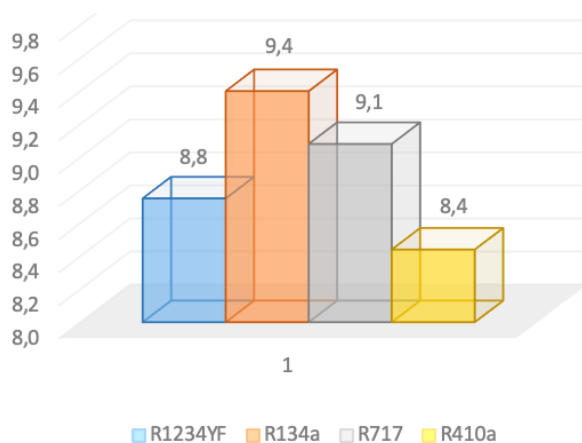


Рис. 3. Средний прирост отопительного коэффициента для всех типов ТНУ

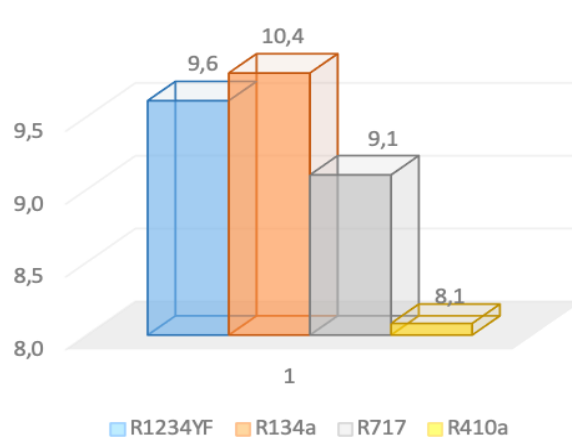


Рис. 4. Средний прирост эксергетического КПД для всех типов ТНУ

Изменение типа компрессора за счет смены энергетических показателей заметно увеличивает КПД всей системы, в некоторых случаях более чем на 10%. Из анализа диаграммы на рисунке 4 установлено, что смена силовой установки наиболее положительно сказывается на ТНУ, использующих R-134a в качестве рабочего вещества (РВ), R-1234yf идет следом.

В ходе данной работы с использованием анализа термодинамических свойств и эксергетического анализа можно сделать вывод, что использование спирального компрессора

совместно с гидрофторолефинами, R-1234yf в частности, положительно влияет на итоговую эффективность всей системы, сопровождая увеличением отопительного коэффициента и эксергетическим КПД.

#### **Список использованных источников**

1. Dong Junqi, Wang Yibiao, Jia Shiwei, Zhang Xianhui, Huang Linjie, Experimental study of R744 heat pump system for electric vehicle application // Applied Thermal Engineering. 2021. Vol. 183. P. 1.
2. Sonnekalb M., Kohler J., Air conditioning unit using CO<sub>2</sub> as refrigerant installed in a bus [A]. Proceeding of International Conference on Ozone Protection Technologies[C], Washing-ton. 1996. Pp. 825–834.
3. Heat Pumps - Analysis and key findings. A report by the International Energy Agency. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/heat-pumps> (дата обращения: 20.02.2023).
4. Jiatong Jiang , Bin Hu, R.Z. Wang, Na Deng, Feng Cao, Chi-Chuan Wang A review and perspective on industry high-temperature heat pumps // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. Vol. 161. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112106.
5. Малинина О.С, Малышев А.А. Низкотемпературные системы. Введение и инновационные направления развития: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО. 2020. 56 с.
6. Холодильные машины. Учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур». Под общ. Ред. Л.С. Тимофеевского –СПб. Политехника. 1986. 992 с.
7. Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С. Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок: учебное пособие. (Рекомендовано ФГБОУВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ») /СПб ГТУРП. - СПб. 2013. 93 с.
8. Малышев А.А., Татаренко Ю.В., Киреев В.С. Эксергетический анализ теплонасосных установок для различных климатических условий // Вестник Международной академии холода. 2019. №. 1. С. 22–28.



УДК536.6

**МЕТОДЫ ФИЛЬТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

*Колодийчук П.А.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Пилипенко Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: pkolodiychuk@itmo.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №622295 «Экологически безопасные технологии энергосбережения и повышения эффективности низкотемпературных систем и преобразователей энергии»*

---

В работе рассмотрено применение b-сплайн аппроксимации для фильтрации измеряемого сигнала при решении прямой задачи теплопроводности от шума. Установлено большое влияние флуктуаций термометра на процесс восстановления интересующей величины при решении обратной задачи теплопроводности методом параметрической идентификации. Определен алгоритм подбора параметров b-сплайн аппроксимации для снижения среднеквадратичного отклонения отфильтрованных измерений от истинного сигнала.

**Ключевые слова**

В-сплайн аппроксимация, фильтрация, шум, параметрическая идентификация, обратная задача теплопроводности.

---

Исследования последних 15 лет позволяют с уверенностью заявить, что использование метода параметрической идентификации при решении прямых (ПЗТ) и обратных (ОЗТ) задач теплопроводности позволяет быстро и эффективно получать значения температур, тепловых потоков и коэффициентов теплофизических свойств тела [1–4]. Параметрическая идентификация служит для интерпретации тепловой и математической модели теплообмена исследуемого объекта как динамической системы. Граничные условия, выступающие в роли воздействия, вызывают изменения в состоянии тела, повышая его температуру, которые являются откликом. Возникающие неопределенности оказывают малое влияние при решении ПЗТ при должном уровне точности измерительного оборудования. Однако, в случае решения ОЗТ, при котором анализируются слабые тепловые колебания и восстанавливается большой тепловой поток, зашумленные показания термометров приводят к большим неточностям решения, которые порой не дают решить задачу вовсе [4]. Это объясняется некорректностью ОЗТ с математической точки зрения, так как её решение связано с неопределённостью полученных решений.

В работах [1–4] для аппроксимации получаемых результатов решения задач теплопроводности используется метод b-сплайн аппроксимации, интегрированный в программу Heat Identification. Одним из важнейших параметров, отвечающих за фильтрацию, является ширина интервала сплайн-аппроксимации, однако в литературе нет указаний по выбору этой величины. Данная работа ставит своей целью определить влияние ширины интервала сплайн-аппроксимации на точность фильтрации и величину отклонения отфильтрованного значения от истинного сигнала.

При b-сплайн аппроксимации сплайн в каждой точке  $x \in [\lambda_i; \lambda_{i+1}]$  может быть представлен в базисной форме [5]:

$$s(x) = \sum_{n=j-k}^i c_n N_{n,k+1}(x),$$

где  $n$  – количество разбиений при аппроксимации,

---

$k$  – выбранный порядок аппроксимации,

$N_{n,k}$  – В-сплайн  $k$  порядка:

$$N_{n,k} = \alpha_{n,k}(x)N_{n,k}(x) + (1 - \alpha_{n+1,k}(x))N_{n+1,k}(x).$$

Для  $k = 1$ :

$$N_{n,1} = \begin{cases} 1, & x \in [\lambda_i; \lambda_{i+1}] \\ 0, & x \in [\lambda_i; \lambda_{i+1}] \end{cases}$$

Таким образом, метод в-сплайн аппроксимации является усреднением интервала зашумленного сигнала в каждой точке измерения с использованием весовых коэффициентов, графики которых изображены на рисунке 1.

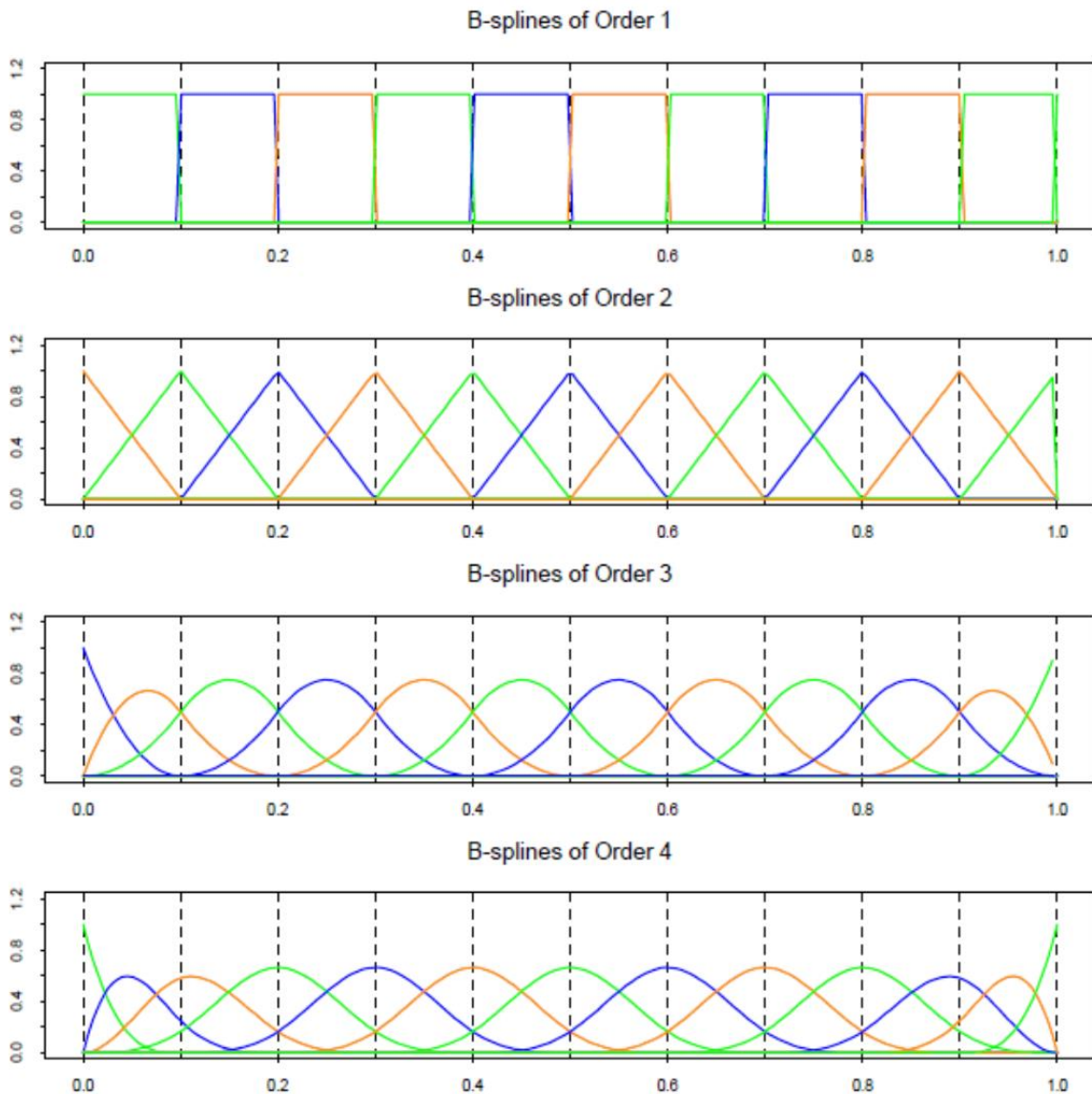
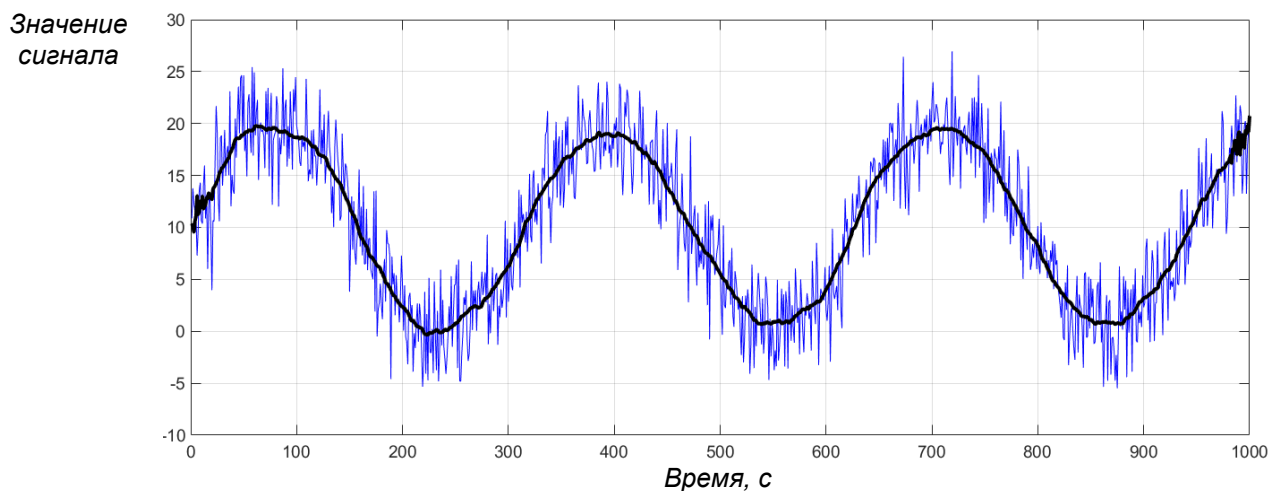


Рис. 1. Весовые коэффициенты в-сплайн аппроксимации различных порядков

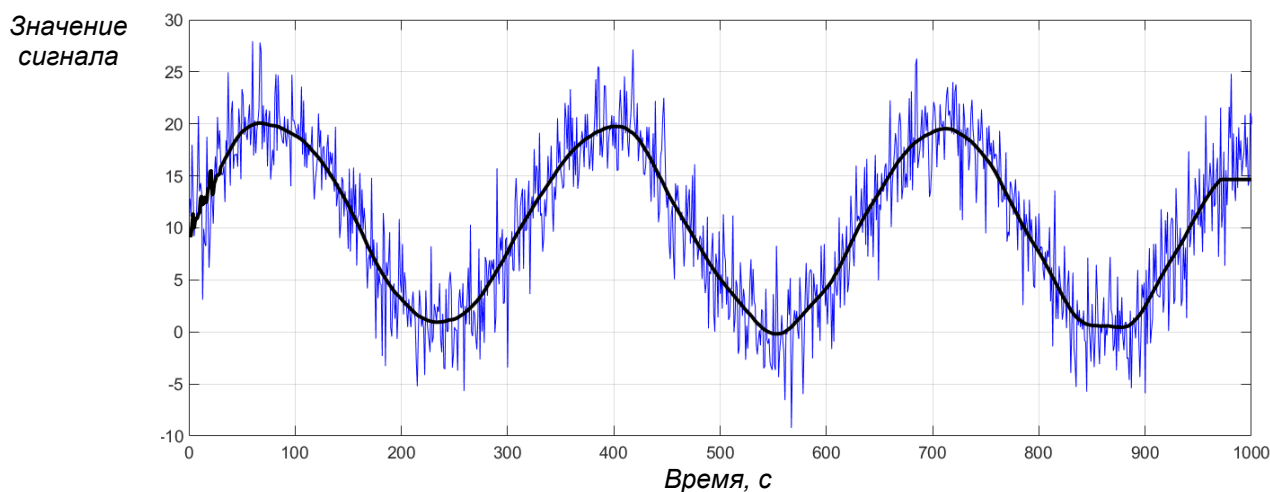
Метод в-сплайн аппроксимации отличается от второго используемого метода, фильтра Калмана, тем, что для него не требуется информация об объекте измерения. Вследствие чего модель исследования будет из себя представлять исключительно зашумленный сигнал.

В качестве исследуемого сигнала была выбрана синусоида  $u = 10 \sin(0.02t) + 10$ , к которой был прибавлен белый гауссовский шум, среднеквадратичное отклонение которого равно  $R = 10$ . Время записи сигнала  $t = 1000$  с, интервал измерений  $\Delta t = 1$  с. Алгоритм

генерации сигнала, его зашумления и аппроксимации реализован в программном обеспечении MATLAB. На рисунке 2 представлены результаты выполненных операций для  $k = 1, 2$ .



а



б

Рис. 2. Результаты аппроксимации зашумленного сигнала  
а) первого; б) второго порядка

Отметим, что с увеличением порядка аппроксимации возрастает как гладкость аппроксимированного графика, так и точность соответствия истинному сигналу.

При выполнении аппроксимации была выбрана оптимальная ширина сплайн-аппроксимации, при которой отклонение отфильтрованного значения от истинного сигнала становится минимальной. Для этого перед решением поставленной задачи был проведен анализ влияния ширины интервала сплайн-аппроксимации, результаты которого представлены на рисунке 3 в виде графика зависимости среднеквадратичного отклонения аппроксимированного результата от исходного сигнала от ширины сплайн аппроксимации.

По полученным результатам можно сделать вывод, что увеличение порядка б-сплайн аппроксимации ведет к возможности задать большее значение ширины сплайн-аппроксимации без существенного увеличения погрешности аппроксимированных значений. В частности, среднеквадратичное отклонение аппроксимированного сигнала от исходного при ширине аппроксимации 50 с у второго порядка в 2 раза ниже, чем у первого.

Таким образом, успешным алгоритмом выбора оптимальной ширины сплайн-аппроксимации можно считать предварительный анализ принимаемого сигнала в части аппроксимации и сравнении с ожидаемым истинным сигналом.

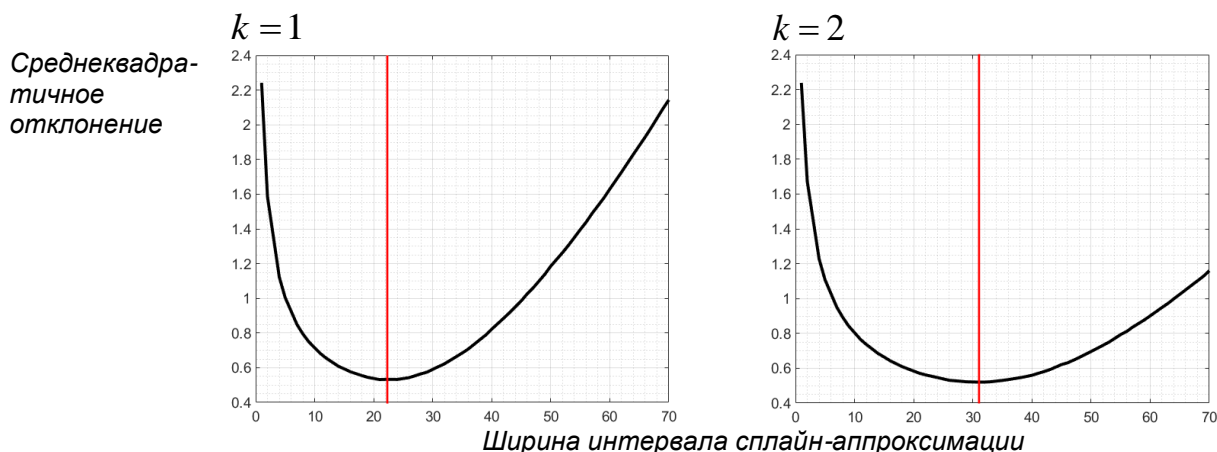


Рис. 3. Зависимость среднеквадратичного отклонения аппроксимированного результата от исходного сигнала от ширины сплайн аппроксимации

В заключение отметим, что в работе рассмотрено применение b-сплайн аппроксимации первого и второго порядка для фильтрации измеряемого сигнала при решении прямой задачи теплопроводности от шума. Определен алгоритм подбора параметров b-сплайн аппроксимации для снижения среднеквадратичного отклонения отфильтрованных измерений от истинного сигнала.

#### Список использованных источников

1. Pilipenko N.V., Zarichnyak Y.P., Khalyavin A., Ivanov V., Nikolaev I. Parametric Identification of Differential-Difference Models of Heat Transfer in One-Dimensional Bodies Based on Kalman Filter Algorithms // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. Pp. 9271319.
2. Pilipenko N.V., Zarichnyak Y.P. Parametric identification of differential-difference models of heat transfers in the systems of bodies // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1565, №. 1. Pp. 012079.
3. Пилипенко Н.В. Использование расширенного фильтра Калмана в нестационарной теплотометрии при решении обратных задач теплопроводности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. №. 3. С. 212–217.
4. Кириллов К.В., Пилипенко Н.В. Алгоритмы программ для решения прямых и обратных задач теплопроводности при использовании дифференциально-разностных моделей // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2010. №. 5(69). С. 106–110.
5. Семенова Л.А. В-сплайн разложение нелинейных сигналов в электроэнергетических системах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. №. 7. С. 151–161. DOI: 10.21285/1814–3520-2016-7-151-161

УДК 681.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В СЕРВЕРНОМ ПОМЕЩЕНИИ

Кольцов Н.С.<sup>1</sup> (студент)Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Иванов В.Л.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: nikita-koltcov@mail.ru

Данная статья посвящена рассмотрению существующих технологий охлаждения вычислительного оборудования для помещений дата-центров, решению вопросов по повышению отказоустойчивости и КПД систем вентиляции и кондиционирования в помещениях центров обработки данных, а также организации правильной схемы движения потоков воздуха внутри помещений малых дата-центров.

### Ключевые слова

Автоматизация, вентиляция, охлаждение, центр обработки данных, микроклимат, канальное кондиционирование, энергоэффективность.

### Технологии охлаждения

На сегодняшний день существует три основных подхода к охлаждению помещений дата-центров (рис. 1) [1]:

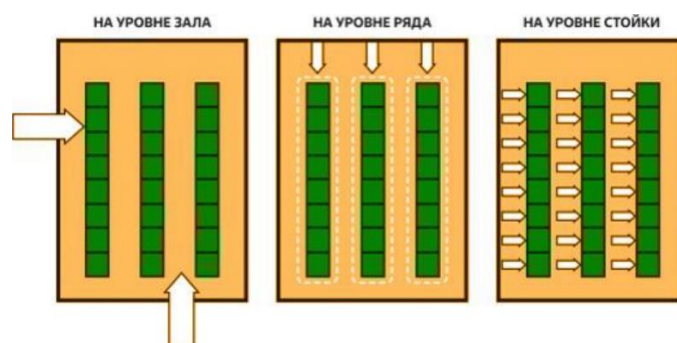


Рис. 1. Технологии охлаждения помещений

#### 1. На уровне зала.

Подача воздуха осуществляется в весь объем помещения. В результате такой схемы движения происходит постоянное смешение потоков холодного и горячего воздуха.

#### 2. На уровне ряда.

Движение воздуха организовано через каждый ряд. Установка оборудования осуществляется непосредственно в ряд стоек. Благодаря такой организации движения воздуха смешение потоков не происходит за счет изоляции холодного и горячего коридоров.

#### 3. На уровне стойки.

Подвод воздуха к каждой стойке. Охлаждение каждой стойки отдельно, за счёт чего расстояние от охлаждающего и нагреваемого оборудования максимально сокращается. Это самое эффективное решение для воздушного охлаждения, однако требует дополнительного пространства для реализации.

По результатам опроса респондентов в 2018 году от «Uptime Institute» было определено процентное отношение выбранного принципа охлаждения стоек с оборудованием в дата-центрах (рис. 2) [2].

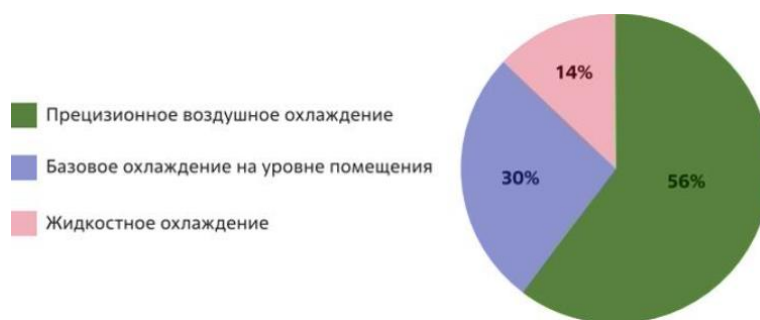


Рис. 2. Процентное отношение респондентов по вопросу принципа охлаждения их центров обработки данных

Так, большая часть опрошенных использует прецизионное воздушное охлаждение – 56%, базовое охлаждение на уровне помещения – 30%, а жидкостное охлаждение составляет малую часть – 14%.

Исходя из полученных значений соотношения использования типа холодильного оборудования, нельзя однозначно сказать, что какой-то из подходов хуже или лучше, всё зависит от конкретного случая. Например, в небольшом помещении, с количеством стоек 5 штук и холодопроизводительностью до 5 кВт (по 1 кВт на каждую стойку), оптимальным можно считать базовое охлаждение на уровне помещения. В помещении, где располагается до 10 стоек, а холодопроизводительность на каждую составляет до 25 кВт, правильным решением будет выбор охлаждения на уровне ряда. При увеличении количества стоек и выделении тепла до 30 кВт с каждой – уже может потребоваться прецизионное охлаждение на уровне стойки.

При выборе принципа охлаждения помещения всегда необходимо ориентироваться на совокупность таких факторов как: холодопроизводительность, размеры помещения и количество стоек. В зависимости от значения холодопроизводительности изменяется подход и комбинации решений по осуществлению охлаждения (рис. 3) [3].



Рис. 3. Возможные комбинации решений по охлаждению

Холодопроизводительность каждой стойки играет основную роль при подборе принципа охлаждения. Так, по рисунку 3 видно, что чем больше значение холодопроизводительности, тем серьезнее и интенсивнее подвод холода необходим:

- до 10 кВт — фальшпол, с разделением пространства внутри на холодный и горячий коридор;
- 5–25 кВт — изоляция воздушных потоков горячего и холодного коридоров;
- 10–30 кВт — внутри рядное охлаждение стоек;

- до 50 кВт — непрямо́е жидкостное охлаждение;
- до 80 кВт — прямо́е жидкостное охлаждение на уровне компонентов;
- до 100 кВт — полный замкнутый контур жидкостного охлаждения без вентиляторов.

#### Канальная система вентиляции и кондиционирования

Рассмотрим малый центр обработки данных. При значениях холодопроизводительности в пределах от 5 до 25 кВт, а также при малых размерах помещения, использование системы канального кондиционирования можно считать рациональным (рис. 4).

Такая система относится к охлаждению на уровне зала и благодаря разделению на холодный и горячий коридор позволяет организовать правильную схему движения потоков воздуха внутри помещения без смешения (рис. 5).

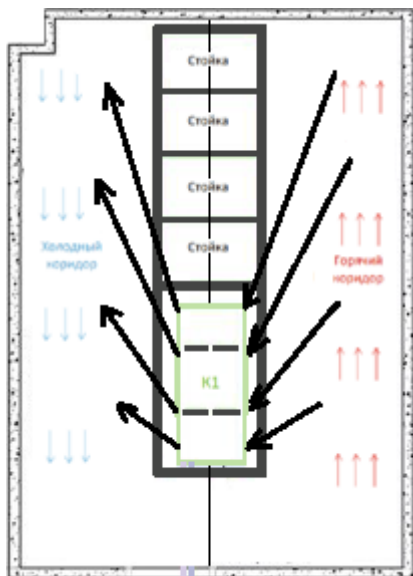


Рис. 4. Схема системы канального кондиционирования помещения дата-центра (вид сверху)

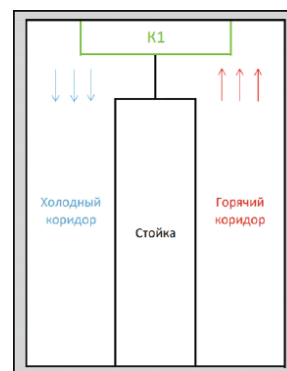


Рис. 5. Схема помещения дата центра (вид сбоку)

Принцип действия такого охлаждения основан на работе сплит-системы, внутренний блок которой располагается внутри воздушного канала, а внешний блок выносится на стену со стороны улицы или в подвале. Внутренний блок выполняет роль испарителя, а внешний блок выступает в качестве конденсатора. В зависимости от нужд, такая система может как охлаждать, так и нагревать поступающий в канал воздух.

Движение воздуха организовано приточно-вытяжной системой, с возможностью подмеса отработанного воздуха обратно в канал подачи приточного воздуха (рис. 6). В зависимости от параметров внутри помещения происходит регулировка клапана смешения. Таким образом, воздух из улицы проходит по воздушному трубопроводу через секции фильтрации, далее секцию охлаждения или нагрева, через парогенератор, после чего с необходимыми параметрами подается в помещение дата-центра.

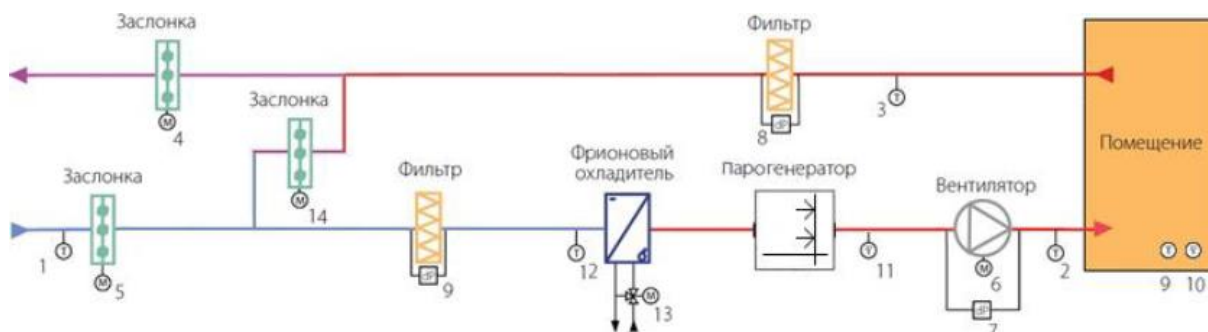


Рис. 6. Функциональная схема автоматизации канального кондиционирования центра обработки данных

Нагнетание воздуха осуществляется высоконапорным вентилятором в секцию холодного коридора. Воздух проходит через стойки с оборудованием, выделяющим тепло, и выходит в горячий коридор, далее поступает в вытяжной трубопровод и проходит через секцию фильтрации. После этого он движется либо обратно в помещение с оборудованием, подогревая холодный воздух извне, либо удаляется через обратный канал на улицу. В зависимости от значений параметров поступающего извне воздуха работает система подмеса.

### **Проблемы при функционировании**

В ходе изучения работы малых дата-центров были выявлены следующие проблемы:

- ограниченные размеры помещения, где требуется расположить вычислительное оборудование;
- образование застоев воздуха в некоторых участках помещения;
- оседание пыли внутри помещения и стоек;
- большие затраты на электроэнергию, значительная часть которых приходится на поддержание микроклимата помещения;
- осушение воздуха внутренним блоком сплит-системы;
- смешение потоков горячего и холодного воздуха внутри помещения;
- образование жидкости в помещении и вне дренажной системы;
- неправильное распределение мощностей по стойкам;
- резкие изменения производительности вычислительного оборудования в зависимости от нагрузки на систему обработки данных.

### **Методы повышения эффективности**

Работа центра обработки данных требует постоянных вычислений оборудования, это происходит 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году. Поэтому очень важно, чтобы система охлаждения была отказоустойчива и энергоэффективна.

В качестве методов, повышающих надежность системы и безопасность для оборудования, рассмотрим следующие варианты:

- в местах задвижек, стыков труб, на теплообменнике, под кондиционерами и в других критичных узлах можно установить независимую сеть датчиков протечки воды [4].

Установка датчиков, регистрирующих возникновение воды, позволит оперативно среагировать на возникшую угрозу, тем самым сохранить работоспособность дорогостоящего оборудования;

- в зимнее время года и в межсезонье, когда холодные теплопритоки требуется подогревать, возможно осуществлять подмес воздуха за счет клапана смешения вытяжного и приточного трубопровода.

При такой схеме осуществляется рациональное распределение тепла обратно в систему. Тем самым уменьшается нагрузка на процесс обогрева поступающего с улицы воздуха, позволяя снизить затраты на электроэнергию;

- использование парогенератора для поддержания параметра влажности внутри помещения.

Внутри канала подачи приточного воздуха располагается внутренний блок сплит-системы кондиционера. В результате его работы происходит осушение воздуха, а проникающие частицы грязи и пыли будут оседать внутри помещения и стоек. Чтобы избежать этого, требуется контроль влажности внутри помещения;

- поддержание температуры в нижнем допустимом диапазоне температур, порядка 17°C [5].

В результате работы оборудования нагрузка постоянно изменяется, она непостоянна. Чтобы не допустить перегрева, в часы пиковых нагрузок, требуется постоянный контроль показаний параметров микроклимата в помещении. Увеличенный диапазон температур позволит вовремя среагировать на возникшую угрозу перегрева, так как при температурах воздуха выше 27°C возникают риски перегрева и выхода из строя элементов оборудования;

- равномерное распределение мощностей по стойкам.



Необходимо придерживаться среднего значения тепловыделений для каждой стойки, чтобы не возникало областей с повышенным выделением тепла.

От количества стоек, их тепловыделения и размеров помещения зависит, какое решение будет являться оптимальным для охлаждения центра обработки данных. Для повышения отказоустойчивости и снижения затрат на электроэнергию требуется установка дополнительных датчиков, поддержание температур в нижнем диапазоне, реализация подмеса воздуха, а также равномерное распределение вычислительного оборудования по мощностям внутри стоек. Правильная организация движения воздуха при устранении застоев также способна повысить эффективность системы охлаждения.

#### **Список использованных источников**

1. How to Design and Build a Data Center. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://media.techtarget.com/digitalguide/images/Misc/EA-Marketing/Eguides/How\\_to\\_Design\\_and\\_Build\\_a\\_Data\\_Center.pdf](https://media.techtarget.com/digitalguide/images/Misc/EA-Marketing/Eguides/How_to_Design_and_Build_a_Data_Center.pdf) (дата обращения: 09.03.2023).
2. Uptime Institute Global Data Center Survey. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datacenter.com/wp-content/uploads/2018/11/2018-data-center-industry-survey.pdf> (дата обращения: 09.03.2023).
3. Прохоров А., Рахматуллин С. Центры обработки данных. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт. 2021. 420 с.
4. Мониторинг инженерной инфраструктуры в дата-центре. Часть 3. Система холодоснабжения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/dataline/blog/338966/> (дата обращения: 09.03.2023).
5. Косенко А. Микроклимат в ЦОД: стандарты и особенности их применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://softline.ru/about/blog/mikroklimat-v-tsod-standartyi-i-osobennosti-ih-primeneniya> (дата обращения: 09.03.2023).

УДК 62–97/-98

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГАЗИФИКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ,  
ПРИГОДНЫХ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОТДАЛЕННЫХ  
ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНОВ**

*Лисин А.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Баранов А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: artemlis.in@yandex.ru*

---

В статье анализируются основные параметры регазификационных комплексов, имеющие критическое значение при эксплуатации на удаленных территориях. Для анализа были выбраны два основных элемента регазификационного комплекса: резервуар для хранения СПГ и регазификатор (испаритель СПГ). Изучено влияние на показатели эффективности регазификационного комплекса ряда факторов, таких как: климатические условия и потенциальный уровень потребления СПГ в выбранном регионе. Анализ выполнялся для регазификационного комплекса, расположенного в сельском поселении Жиганск, Республика Саха (Якутия).

**Ключевые слова:** регазификационный комплекс, газоснабжение, сжиженный природный газ (СПГ), природный газ (ПГ), резервуар, испарение, испаритель.

---

Основными направлениями использования сжиженного природного газа (СПГ) являются: выработка электрической и тепловой энергии, разрабатываются технологии по утилизации холода регазифицируемого СПГ. Повышение теплоизоляционных свойств материалов и покрытий, используемых для теплового ограждения хранилищ СПГ, приводит к тому, что проекты по газоснабжению населенных пунктов и промышленных объектов с помощью СПГ всё чаще реализуются на практике. Не менее востребованы технологические решения по использованию СПГ для компенсации неравномерности потребления природного газа из газораспределительной сети. Расширяется использование СПГ в качестве моторного топлива для разных видов транспорта.

Широкое использование природного газа (ПГ) в энергетической промышленности и сфере бытового обслуживания достигнуто благодаря тому, что удобство использования данного энергоресурса сочетается с его экологичностью и относительно низкой стоимостью, получаемой из него тепловой энергии. Однако транспортирование природного газа затруднено геофизическими особенностями территории РФ, низкой плотностью населения, наличием большого числа рек, удаленностью населенных пунктов друг от друга. При прочих равных условиях СПГ – более мобильный, чем природный газ, вид топлива, что открывает возможности по газификации регионов, отдаленных от централизованной системы газоснабжения. Практическая реализация таких систем газоснабжения связана с широким применением регазификационных комплексов.

Регазификационный комплекс – это совокупность оборудования для приема и хранения СПГ, а также выдачи ПГ потребителями. Основным оборудованием данных комплексов являются резервуары для хранения СПГ и регазификаторы (испарители СПГ).

Принцип работы регазификационных комплексов заключается в следующем:

- доставленный танкером-газовозом или другим видом транспорта СПГ перекачивается в резервуары, в которых ПГ хранится в сжиженном виде;
  - для покрытия спроса на данный энергоресурс СПГ переводится в газообразное состояние в испарителях за счет подвода необходимого количества теплоты. Теплота поступает либо напрямую из окружающей среды, либо с помощью промежуточного теплоносителя.
-

На сегодняшний день в индустрии широко используются четыре схемы регазификации [1]:

- регазификаторы с водяным орошением занимают около 70% рынка;
- регазификаторы с погружной горелкой – 20%;
- испарители жидкостного типа – 5%;
- атмосферные испарители – 5%.

При выборе схемы регазификации необходимо руководствоваться следующими факторами:

- скорость регазификации СПГ;
- климатические условия;
- наличием и видом доступных источников теплоты.

Выбор схемы регазификации должен быть направлен на обеспечение наименьшего негативного воздействия на экологию территории, в которой расположены регазификационный терминал, и обеспечение необходимой производительности процесса регазификации.

Для наиболее высокопроизводительных комплексов регазификации применяются установки, обеспечивающие подвод необходимой теплоты к СПГ от окружающей среды или от сжигания самого газа [2]. Учитывая то, что сжигание газа приводит к сокращению объемов газа, поступающего в сеть, и наносит вред окружающей среде, на регазификационных комплексах, пригодных для эксплуатации в отдаленных регионах, целесообразно использовать атмосферные испарители.

Атмосферные испарители просты в обслуживании, эффективны для регазификации небольших объемов СПГ и не имеют дополнительных углеродных выбросов (углеродного следа) [3]. Вместе с тем атмосферные испарители крайне зависимы от климатических условий их использования. К таким условиям относятся температура окружающей среды, влажность воздуха и скорость ветра. Исходя из этого, формируются необходимые характеристики испарителя такие как: суммарная площадь теплопередающей поверхности теплообменных трубок, необходимое количество трубок, размеры одного теплообменного блока, а также количество теплообменных блоков. Зная данные характеристики, можно получить суммарную площадь основания, занятую теплообменными блоками, что позволяет эффективно использовать пространство регазификационного комплекса.

При проектировании резервуаров СПГ интенсивность испарения хранимого продукта, напротив, должна быть сведена к минимуму. Для этого необходимо правильно подобрать характеристики данного оборудования.

Необходимо выбрать тип резервуара по объему хранимого СПГ. Оптимальный объем резервуара хранения зависит от объема газа необходимого для обеспечения потребителей и времени хранения ПГ в жидком состоянии. Для обеспечения ПГ потребителей с небольшим спросом могут быть использованы криогенные цистерны. Они бывают нескольких видов: вертикальные и горизонтальные объемом до 250 м<sup>3</sup>, а также сферические - объемом до 1440 м<sup>3</sup>. Однако в связи с тем, что негазифицированные регионы часто находятся в труднодоступной местности, где транспортное сообщение осуществляется только в летний период в течение года, объем используемых резервуаров должен быть существенно больше. Например, согласно данным Министерства жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Республики Саха (Якутия) на снабжение СПГ возможно перевести 2 котельных в сельском поселении Жиганск, при этом прогнозный расход сжиженного природного газа на выработку тепловой энергии составит 7714,01 тонн в год [4]. Минимальный объем потребляемого СПГ в год при плотности 420 кг/м<sup>3</sup> составит 18370 м<sup>3</sup>. В связи со сложными климатическими условиями в данной местности доставка СПГ может быть осуществлена со второй половины июня до середины сентября. Резервуар должен вмещать в себя весь объем потребляемого за год СПГ при условии, что в летний период потребление СПГ существенно сокращается. По эксплуатационным соображениям в резервуаре должно оставаться не менее 20% объема хранимого продукта, иначе их придется заново захлаживать, значит минимальный объем СПГ, необходимый для обеспечения данного сельского поселения составляет 22960 м<sup>3</sup>. Для хранения такого объема требуются изотермические резервуары вместимостью 25000 м<sup>3</sup>.

Изотермические резервуары используются для хранения СПГ при температуре до минус 165°C и давлении, близком к атмосферному. Обычно они бывают в наземном или надземном исполнении и состоят из концентрически расположенных внутреннего и наружного корпусов [5].

По объему (вместимости) хранимого продукта ИР подразделяют на несколько типов [5]:

- малотоннажные (менее 5 000 м<sup>3</sup>);
- среднетоннажные (от 5 000 м<sup>3</sup> до 60 000 м<sup>3</sup>);
- крупнотоннажные (более 60 000 м<sup>3</sup>).

Необходимо выбрать тип и толщину слоя его изоляционного покрытия. Для этого необходимо определить нижнюю границу объема газа, отпускаемого потребителям в сутки. Учитывая данный параметр, среднюю максимальную температуру наиболее теплого месяца и максимальное количество солнечной радиации, можно выбрать оптимальную толщину изоляционного покрытия разных типов. Далее, исходя из их стоимости, а также срока полезного использования и сложности доставки в данный регион, проводится анализ наиболее экономически эффективного типа изоляционного покрытия для данного объекта.

Необходимо выполнить прочностной расчет несущих конструкций изотермического резервуара с учетом влияния, которое оказывают климатические особенности данного региона, такие как максимальная толщина снегового покрова и максимальная скорость ветра. С учетом этих факторов должны быть выбраны толщина стенки корпуса, прочностные и габаритные характеристики несущих балок, способные выдержать требуемую нагрузку. Приведенные потенциальные изменения оказывают влияние на конструкцию фундамента резервуара.

Для более тщательного изучения характеристик изотермического резервуара регазификационного комплекса был проведен анализ по методике, представленной в СП 495.1325800.2020 «Резервуары изотермические для хранения сжиженных газов. Правила проектирования». В качестве потенциального места расположения регазификационного комплекса было выбрано сельское поселение Жиганск, расположенное в Республике Саха (Якутия). Согласно данным Министерства жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Республики Саха (Якутия), а также планам по развитию инфраструктуры данного региона было установлено, что необходимый объем резервуара составляет 50000 м<sup>3</sup>. Дополнительными данными для расчета являлись: снеговой район (IV), определенный по СП 20.13330.2016, ветровой район (I) по ГОСТ Р 56728-2015, максимальное количество солнечной радиации (877 Вт·ч/м<sup>2</sup>) и средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца (21,7°C) по СП 131.13330.2018.

Согласно СП 495.1325800.2020 минимальная толщина любого пояса стенки изотермического резервуара составляет 6 мм. Однако, при проведении анализа было получено существенное отклонение толщин стенок внешнего корпуса резервуара от минимально допустимых значений в результате ветровой нагрузки и распределения конструкционной и снеговой нагрузок крыши резервуара на стенки внутреннего и внешнего корпусов. Полученные данные о толщине стенок представлены в таблице.

Исходя из данных, полученных при проведении анализа количества выделяющегося за счет подвода теплоты через изоляцию отпарного газа, было выявлено, что климатические характеристики региона, могут быть компенсированы изменением толщины слоя изоляционного покрытия. Требуемый уровень испарения СПГ из резервуара сохраняется в допустимых пределах. Напротив, климатические факторы оказывают существенное влияние на конструкцию резервуара, в результате чего его массогабаритные размеры могут изменяться в широком диапазоне.

В результате проведенного анализа зависимостей характеристик регазификационных комплексов была выявлена значительная зависимость конструктивных особенностей части оборудования регазификационного комплекса, а именно испарителей и резервуаров от ряда факторов, таких как климатические условия и потенциальный уровень потребления СПГ в выбранном регионе.

Таблица

**Зависимость толщин поясов стенок от их расположения**

Номер пояса (снизу вверх)	Толщина внутренней стенки, м	Толщина внешней стенки, м
1	0,012	0,013
2	0,012	0,013
3	0,012	0,012
4	0,012	0,012
5	0,012	0,012
6	0,012	0,012
7	0,012	0,012
8	0,012	0,012
9	0,012	0,012
10	0,011	0,012
11	0,011	0,012
12	0,011	0,012
13	0,011	0,012
14	0,011	0,012
15	0,011	0,012

От уровня потребления СПГ зависит объем резервуара и производительность испарительной установки. От высоты снежного покрова, уровня солнечной радиации, скорости ветра и максимальной температуры воздуха наиболее теплого месяца зависят массогабаритные размеры резервуара для хранения СПГ ввиду изменения толщины слоя стенок и теплоизоляционного покрытия. Температура окружающей среды, влажность воздуха и скорость ветра существенно влияют на производительность испарительной установки. Остальные элементы регазификационного комплекса, такие как сливная эстакада, установки обработки газов и узлы учета менее зависимы от климатических условий.

Учитывая влияние всех вышеперечисленных параметров, возможно сформировать или скорректировать характеристики изотермического резервуара, испарительной установки и регазификационного комплекса в целом.

**Список использованных источников**

1. Батршина А.И. Способы регазификации сжиженного природного газа // Символ науки: международный научный журнал. 2016. №. 10–2(22). С. 10–15.
2. Фальман А.Г., Агейский Д.Э. Эксергетический анализ способов регазификации СПГ // Вестник международной академии холода. 2015. №. 3. С. 34–38.
3. Киселев И.Г., Кудрин М.Ю., Заломин В.Г. Выбор испарительных установок котельных, работающих на сжиженном природном газе // Известия петербургского университета путей сообщения. 2013. №. 1(34). С. 90–96.
4. Распоряжение Правительства Республики Саха (Якутия) от 30 июня 2021 г. № 602–р «Об утверждении программы потребления сжиженного природного газа в Республике Саха (Якутия) до 2030 года». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/574814784> (дата обращения: 17.02.2023).
5. СП 495.1325800.2020 Резервуары изотермические для хранения сжиженных газов. Правила проектирования. Дата введения 30.12.2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/120033/> (дата обращения: 17.02.2023).

УДК 681.5

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП КРЕКИНГА НЕФТИ

*Мирзоев Д.Х.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Лазарев В.Л.<sup>1</sup>*

*e-mail: Dalermirzoevkh@mail.ru*

---

Внедрение автоматизированных систем управления позволяет оптимизировать процесс крекинга нефти и повысить выход и качество ценных продуктов. Эффективность работы АСУТП, в значительной мере, уровнем развития информационного обеспечения систем.

В работе рассматриваются вопросы совершенствования информационного обеспечения для контроля и организации управления температурными полями на поверхностях тарелок, где происходит испарение исходного сырья. Поддержание температуры на заданном уровне при протекании процесса крекинга, особенно в промышленных условиях, является сложной задачей при наличии различных возмущающих воздействий. Для решения поставленных задач представляется целесообразным использование методов машинного обучения. Внедрение предлагаемых решений будет способствовать повышению эффективности и производительности процесса крекинга нефти.

### **Ключевые слова**

Переработка нефти, АСУТП, информационное обеспечение, неоднородность температурного поля, теория энтропийных потенциалов.

---

Системы управления, внедряемые на современных производствах по крекингу нефти, позволяют, в основном, решать следующие задачи [1, 2]:

1. Измерение и контроль текущих значений параметров технологического процесса, сигнализацию об их выходе за допустимые пределы.
2. Автоматическое регулирование температуры, на поверхностях тарелок для испарения конкретных фракций (керосин, бензин, лигроин и др.) исходного сырья.
3. Дистанционное изменение уставных значений контуров регулирования для отдельных параметров технологического процесса.
4. Адаптацию параметров систем автоматического регулирования (САР) к изменению производственных и др. ситуаций.
5. Учет и анализ энергопотребления и материальных ресурсов (пара, воды, газа и др.) при проведении технологического процесса. Учет количества и качества выпускаемой продукции, анализ эффективности производства.

В работе [2], на основании анализа существующих и перспективных разработок систем управления (СУ) в данной области, была выявлена необходимость минимизации состояния неопределенности значений температуры на поверхностях испаряющих тарелок, как важнейшее условие повышения качества продукции. Указанное требование напрямую связано с наличием и концентрациями различных примесей в производимых фракциях. При этом было обосновано использование понятий энтропийных потенциалов (ЭП) для количественной оценки состояний неопределенности различных параметров, в частности значений температуры на поверхности тарелок. Наличие таких численных оценок создает предпосылки для решения задачи минимизации состояний неопределенности температурного поля поверхности инженерными методами, что, в конечном итоге, способствует повышению качества производимых фракций. Набор взаимосвязанных понятий величин ЭП (энтропийного потенциала, комплексного энтропийного потенциала и др.) был введен в рамках соответствующей теории – ТЭП. Методы исследований на основе ТЭП оказались востребованными для решения широкого круга задач мониторинга и управления, и особенно в условиях неопределенности [2–5].

---

Получение оценок величин ЭП на практике, в основном, осуществляется на основании результатов наблюдений анализируемого параметра, которые являются составной частью информационного «поля» АСУТП. Поэтому указанная задача совершенствования информационного обеспечения СУ процессами крекинга нефти является актуальной.

Нахождение оценочных значений величины энтропийного потенциала температуры на рабочей поверхности тарелки –  $\Delta_e$  осуществляется через характеристики рассеяния температуры на рассматриваемой поверхности:  $K_e$  – энтропийный коэффициент закона распределения этого параметра и величину его среднего квадратического отклонения (СКО) –  $\sigma$ , из выражения

$$\Delta_e = K_e \sigma. \quad (1)$$

Нахождение оценок характеристик  $K_e$  и  $\sigma$ , каждая из которых характеризует разные «границы» состояния неопределенности температуры на рассматриваемой поверхности, осуществляется, в основном, на основе результатов измерения этого параметра в различных точках поверхности и интервалов времени при протекании технологического процесса. То есть исходное множество результатов измерений температуры  $T$  может быть представлено в виде

$$T = \{T_{i,j}(x_i; y_i; \tau_j)\}, (i \in I; j \in J). \quad (2)$$

В (2) использованы следующие обозначения:  $x, y$  – координаты точек рабочей поверхности тарелки  $S$ , с которой происходит испарение конкретной фракции;  $i$  – индексы точек в  $S$ , где производится измерение температуры (например, контактными или бесконтактными методами);  $j$  – индексы интервалов времени  $\tau$  проведения измерений температуры в выбранной априори точке.

Таким образом, выражение (2) описывает структуру и состав информационного массива, используемого для получения количественных характеристики состояния неопределенности температуры на поверхности тарелки в виде значения величины энтропийного потенциала.

Исходное множество  $T$ , с некоторым приближением, можно представить, как объединение двух подмножеств  $T_i(x_i; y_i), i \in I$  и  $T_j(\tau_j), j \in J$

$$T \approx T_i(x_i; y_i) \cup T_j(\tau_j), (i \in I; j \in J). \quad (3)$$

Первое подмножество определено массивом значений температурного поля точек рабочей поверхности тарелки  $S$ , второе – массивом результатов измерений температуры в выбранной априори точке на заданных временных интервалах  $\tau_j$ . Очевидно, что оба подмножества являются компонентами информационного обеспечения для АСУТП, адаптированной к условиям неопределенности температурного поля каждой тарелки.

На основе указанных множеств результатов измерений производится расчет оценочных значений характеристик  $K_e$  и  $\sigma$  и последующий расчет значений величины  $\Delta_e$  в соответствии с выражением (1). Наибольшие вычислительные сложности представляет процедура определения значений величины  $K_e$ . Однако, ввиду важности этой задачи, в последнее время, в рамках развития ТЭП, были разработаны специальные методы, позволяющие оперативно получать оценочные значения этой величины, даже в условиях «дефицита» измерительной информации. Таковыми, например, являются т. н. метод робастного оценивания, графоаналитический метод и др.

С учетом (3), представляется возможным и целесообразным осуществить декомпозицию базовой задачи минимизации состояния неопределенности температурного поля рабочей поверхности тарелки в виде условия

$$\Delta_e \rightarrow \min, \quad (4)$$

на две подзадачи, описываемые условиями

$$\Delta_e(S) \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\Delta_e(\tau) \rightarrow \min. \quad (6)$$

В выражениях (5) и (6) использованы следующие обозначения:  $\Delta_e(S)$  – энтропийный потенциал множества значений  $T_i(x_i; y_i), i \in I$ ;  $\Delta_e(\tau)$  – энтропийный потенциал множества значений  $T_j(\tau_j), j \in J$ . Фактически условие (5) налагает требование минимизации состояния неопределенности температурного поля поверхности тарелки, условно говоря, в статике. Это состояние неопределенности, в основном, обусловлено действием медленно меняющихся возмущений и зачастую управляется на аппаратном уровне, путем использования тех или иных элементов оборудования, например, изменением схемы подачи греющего пара для рабочей поверхности и др. Частные варианты таких решений рассмотрены, например, в работе [2]. Условие (6) налагает требование оптимизации динамики процесса регулирования температуры в заданной контрольной точке по минимуму величины энтропийного потенциала текущих значений температуры. Другими словами, ставится условие по точности поддержания температуры в процессе регулирования. Такая задача решается инженерными методами, путем изменения настроечных параметров регулятора или введения в контур регулирования специальных корректирующих звеньев [3, 5, 6]. Очевидно, что выполнение условий (5) и (6) способствует выполнению условия (4).

Частным вариантом рассматриваемой задачи может являться замена условий минимизации (5), (6) требованиями по ограничению соответствующих величин ЭП. При этом процедура решения таких задач в составе АСУТП не претерпит существенных изменений.

В работе изложен подход по совершенствованию информационного обеспечения АСУТП, адаптированной к наличию состояний неопределенности температурного поля рабочих поверхностей тарелок при крекинге нефти. Особенность подхода состоит в том, что на его основе представляется возможным осуществить декомпозицию задачи управления состояниями неопределенности на более простые частные задачи, которые поддаются решению инженерными методами.

Внедрение предложенных решений будет способствовать повышению чистоты выпускаемых фракций продукции.

#### Список использованных источников

1. Прахова М.Ю. и др. Системы автоматизации в нефтяной промышленности: учебное пособие /; под общ. ред. М.Ю. Праховой. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия. 2019. 304 с.
2. Мирзоев Д.Х. Перспективы развития АСУТП переработки нефти // XI Конгресс молодых учёных: Сборник научных трудов конгресса, Санкт-Петербург, 04–08 апреля 2022 года. Том 2. 2022. С. 455–457.
3. Патент № 2296356 С1 Российская Федерация, МПК G05B 13/00. Способ контроля и управления динамической системой: №2005124236/09: заявл. 29.07.2005: опубл. 27.03.2007 / В.Л. Лазарев.
4. Лазарев В.Л., Грахольская Т.А., Травина Е.А., Фролков Н.А. Использование когнитивных образов состояний систем в пространстве параметров энтропийных потенциалов для организации мониторинга и управления // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. №. 4. С. 54–61.
5. Тарасов В.Б., Лазарев В.Л., Горохов В.Л. и др.; под редакцией С.В. Прокопчиной. Мягкие вычисления и измерения / Том Том 1. – Москва: Издательский дом "Научная библиотека". 2017. 420 с.
6. Лазарев В.Л., Степанова М.С. К вопросу определения настроечных параметров функционального регулятора // Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2019. Т. 1. С. 306–309.



УДК 621.577

**РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ***Нежурич Е.В.<sup>1</sup> (аспирант), Никитин А.А.<sup>1</sup>**Научный руководитель – кандидат технических наук Никитин А.А.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: efim.nezhurin@mail.ru

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620152 «Разработка технологии взаимной интеграции локального энергетического узла (Energy Hub) и инженерных систем здания»*

Важным отличием современных инженерных систем здания (систем жизнеобеспечения) является наличие двух элементов: первый это энергосберегающие технологии, например, тепловые насосы или системы рекуперации, второй это системы управления. В данной работе пойдёт речь об оптимизации системы вентиляции, представленной в аудитории 4212 с помощью моделей нечёткой логики.

**Ключевые слова**

Инженерные системы здания, энергетический хаб, возобновляемые источники энергии, тепловой насос, системы управления, системы контроля, оптимизация энергопотребления, нечёткая логика.

Нечёткая логика (англ. fuzzy logic) — раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств. На основе этого понятия вводятся различные логические операции над нечёткими множествами и формулируется понятие лингвистической переменной.

Под нечётким множеством понимается совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов универсального множества и соответствующих степеней принадлежности. В нашем случае (рис. 1) для лингвистической переменной (температура в помещении) есть три нечётких переменных (холодно, комфортно, жарко). Есть нечёткое множество {0-30 градусов} с соответствующей функцией принадлежности. Например, при 0 градусов, принадлежность данной температуры к нечёткой переменной «холодно» будет равна 1, а при 15 градусах принадлежность будет уже 0.5.

Предметом нечёткой логики считается исследование рассуждений в условиях нечёткости, размытости.

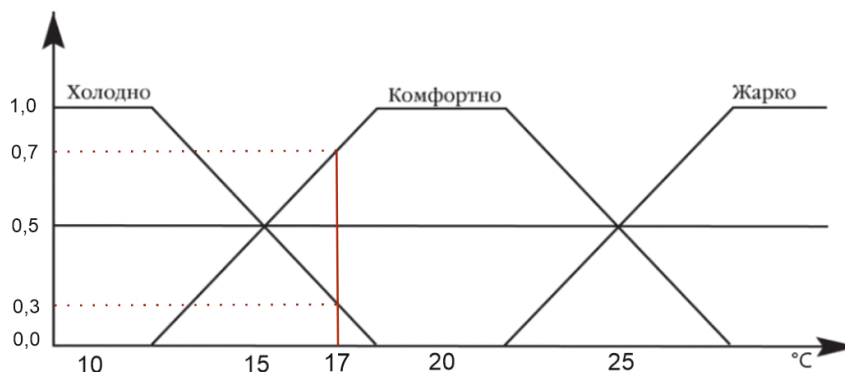


Рис. 1. Лингвистическая переменная

Наиболее широко этот метод (метод нечёткой логики) нашёл применение в системах управления различными инженерными системами. Например: система, представленная на рисунке 2.

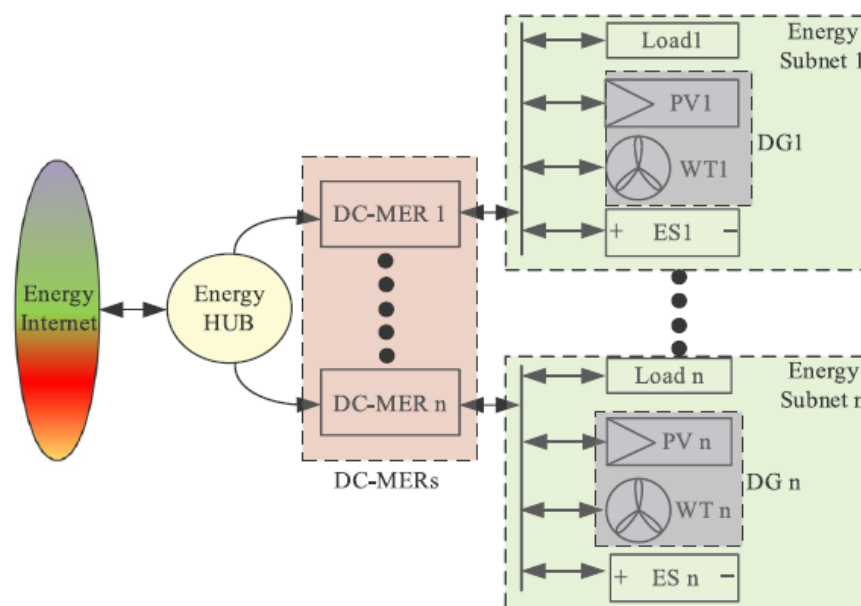


Рис. 2. Стратегия управления энергопотреблением энергетического маршрутизатора

Стратегия управления энергопотреблением многопортового энергетического маршрутизатора постоянного тока, где учитываются уровень заряда батареи (SOC), цена на электроэнергию в реальном времени (EP) и плата за электроэнергию на стороне пользователя (EC), схема управления энергопотреблением, основанная на нечетком скоординированном управлении [1]. Результаты показываю на рисунке 3, что по сравнению с традиционными стратегиями управления, нечеткая стратегия совместного управления энергопотреблением имеют явное преимущество.

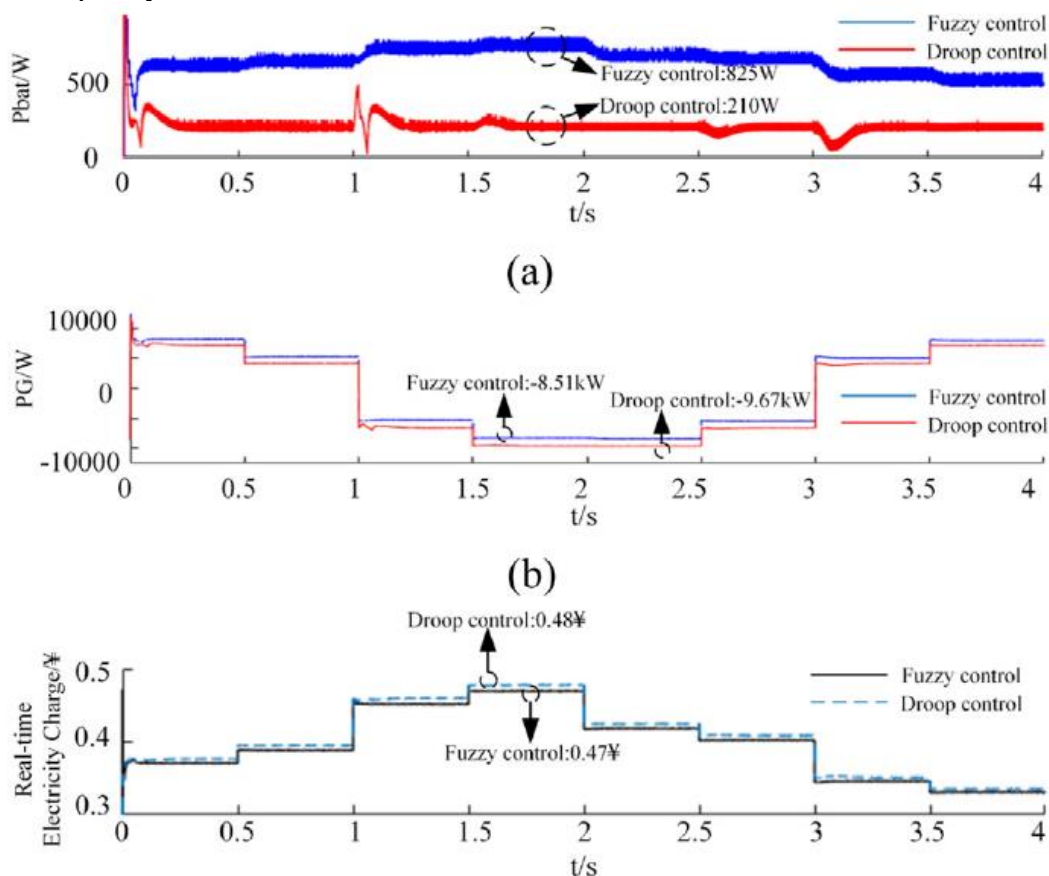


Рис. 3. Результаты стратегии совместного управления

1. Мощность батареи  $P_{bat}$  при нечетком управлении выше, чем при обычном контроле (первый график, рис. 3) [1]. Мощность батареи при нечётком управлении выше, чем при обычном, потому что уровень заряда батареи выше, чистая мощность уменьшается с

изменением мощности нагрузки и мощности распределенной генерации [1]. В то время как обычное управление учитывает только колебания постоянного напряжения [1].

2. Из-за большей мощности батареи возможно снизить и плату за электроэнергию со стороны пользователя на 2–4% (второй график, рис. 3) [1].
3. Мощность сети постоянного тока при нечетком управлении ниже, чем при обычном управлении, поэтому энергия, потребляемая из сети, уменьшается при нечетком управлении на 5%~10%. (третий график, рис. 3) [1].

В системе, представленной на рисунке 4 реализована модель на основе нечеткой информации для устранения множественных неопределенностей при оптимальном планировании ветроинтегрированных энергоэнергетических систем. Энергетическая потребность в электричестве, тепле, цены на газ, а также энергию ветра и электроэнергию считали неопределенными параметрами [2]. Численные результаты подтвердили, что игнорирование неопределенностей в моделях энергетического хаба повысят стоимость системы [2]. На рисунке 5 представлены 20 различных реализаций нечеткой модели. TCO это ожидаемая стоимость в каждом прогоне [2]. TC с учетом неопределенностей [2]. Величина z представляет собой степень принадлежности, которое удовлетворяет всем нечетким ограничениям [2]. Принимая во внимание неопределенности в планировании энергетического узла, системные затраты уменьшились на 2,9% [2].

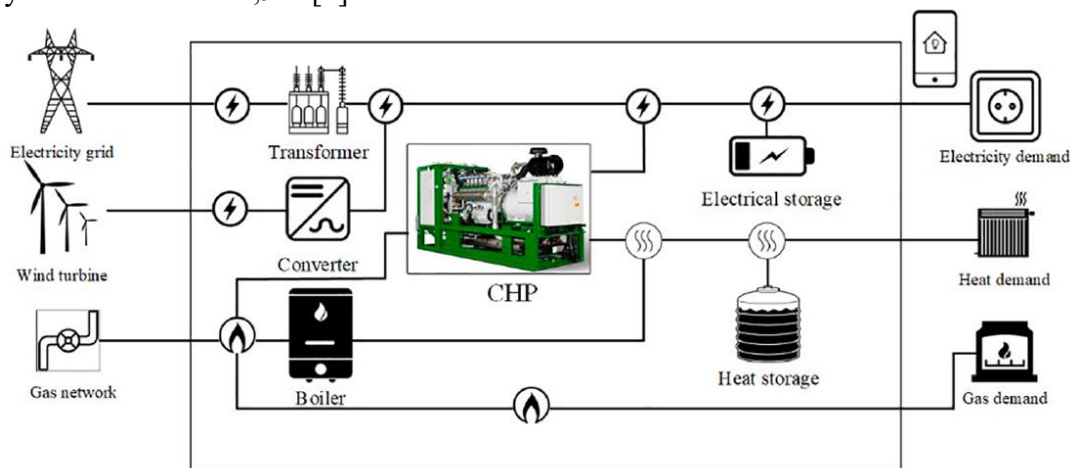


Рис. 4. Модель на основе нечёткой информации

Numerical results of the fuzzy optimal management problem.

Run	TC0	TC	TC0 (%)	Z
#1	161635.4	167103.31	3.4	0.319
#2	162635.4	167731.7	3.1	0.365
#3	163635.4	168360.2	2.9	0.412
#4	164635.4	168988.7	2.6	0.458
#5	165635.4	169617.1	2.4	0.504
#6	166635.4	170245.5	2.2	0.551
#7	167635.4	170873.9	1.9	0.597
#8	168635.4	171502.3	1.7	0.643
#9	169635.4	171502.3	1.1	0.689
#10	170635.4	172759.2	1.2	0.736
#11	171635.4	173387.4	1	0.782
#12	172635.4	174015.7	0.8	0.828
#13	173635.4	174649.6	0.6	0.874
#14	174635.4	175304.2	0.4	0.917
#15	175635.4	175959	0.2	0.96
#16	176635.4	176587.5	0	1
#17	177635.4	176587.5	-0.6	1
#18	178635.4	176587.5	-1.1	1
#19	179635.4	176587.5	-1.7	1
#20	180635.4	176587.5	-2.2	1

Рис. 5. Реализации нечёткой модели

Система вентиляции 4212 подключена к тепловому насосу, централизованному электроснабжению, теплоснабжению. Работа всей системы характеризуется меняющимися нагрузками в помещении, что приводит к изменению энергопотребления вентиляторов. Изменение параметров уличного воздуха приводят к изменению энергопотребления компрессора, а также к потреблению теплоты от централизованного источника теплоснабжения.

Выбор нечёткой логики, в качестве инструмента оптимизации для данной системы основан как на особенностях системы вентиляции 4212 (зависимость от параметров наружного воздуха, изменение количества тепла после рекуперации, меняющиеся нагрузки в помещении) так и на широких возможностях нечёткой логики. Проведённый литературный обзор показал, что нечёткая логика успешно применяется для оптимизации инженерных системах зданий. В качестве особенности хотелось бы отдельно выделить возможность повышения эффективности различных инженерных систем. Если раньше в системе использовались возобновляемые и традиционные источники по очереди, то применение нечёткой логики позволит использовать одновременно и возобновляемый источник и традиционный. Допустим на 70% традиционный и на 30% возобновляемый. Это позволяет повысить энергетическую эффективность системы при минимальных эксплуатационных затратах. Помимо повышения эффективности и работы с меняющимися (нечёткими) параметрами, модели нечёткой логики также отличаются возможностью прогноза используемых параметров системы, в зависимости от наружного воздуха (например, на неделю вперёд).

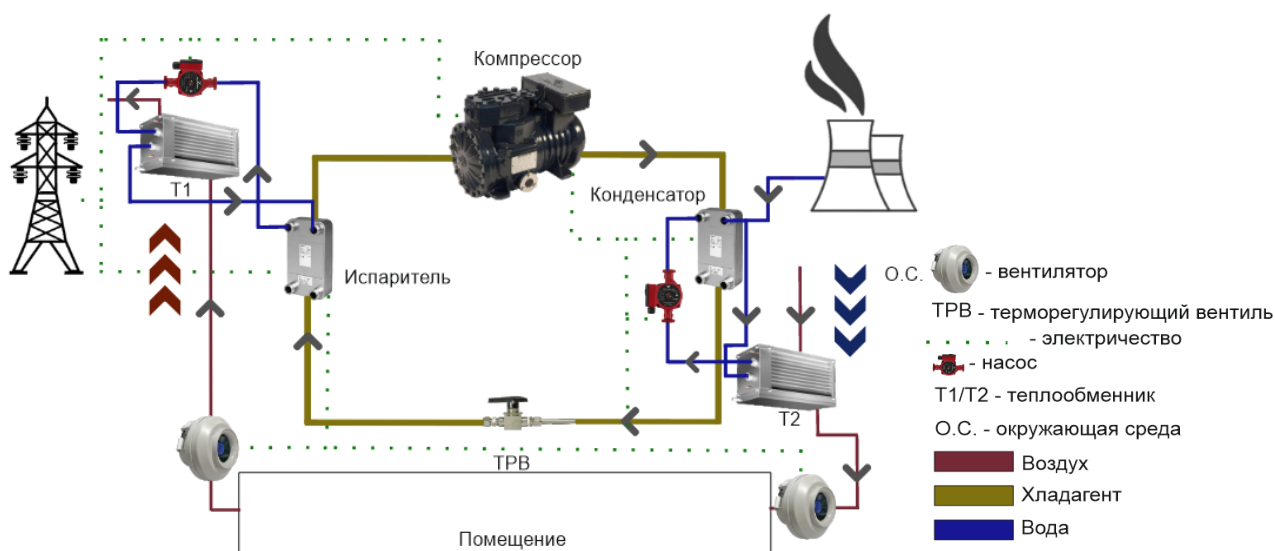


Рис. 6. Модель установки 4212

Литературный обзор показал перспективность применения метода нечёткой логики для повышения эффективности систем жизнеобеспечения. Дальнейшей задачей моей работы является расчёт модели нечёткой логики для оптимизации, прогноза потребления ресурсов, совместного использования различных источников энергии для системы вентиляции в 4212.

#### Список использованных источников

1. Ma C. et al. A fuzzy coordinated energy management strategy for energy storage units in DC multiport energy router // Energy Reports. 2021. Т. 7. С. 5943–5954.
2. Mohammadi M., Noorollahi Y., Mohammadi-ivatloo B. Fuzzy-based scheduling of wind integrated multi-energy systems under multiple uncertainties // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2020. Т. 37. С. 100602.

УДК 620.92

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

*Румянцев Д.С.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Дидиков А.Е.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: Dmitriy-official27@yandex.ru, aedidikov@itmo.ru*

---

Статья посвящена исследованию возможности применения альтернативных источников энергии в Арктической зоне РФ. Предметом исследования является анализ доступных вариантов альтернативной энергетики для обеспечения регионов РФ, которые значительно удалены от централизованных систем энергоснабжения и/или не имеют возможности использовать традиционные источники энергии. В ходе работы изучается возможность перехода на альтернативные виды энергии, как с экономической, так и с экологической точек зрения, рассматриваются их достоинства и недостатки.

### **Ключевые слова**

Дизельное топливо, солнечная энергетика, ветряная энергетика, петротермальная энергетика, альтернативные источники энергии, арктическая зона, энергосистема.

---

На сегодняшний день развитие Арктической зоны входит в число национальных экономических и политических интересов Российской Федерации. Россия входит в число крупнейших арктических держав, поэтому усиление присутствия в регионе является наиболее актуальным [1]. В данном регионе расположено большое количество объектов, имеющих важное стратегическое значение. Вопрос бесперебойного и эффективного энергоснабжения, независимость от поставок топлива с «большой земли» является ключевым. В поставленные правительством РФ цели входит развитие экологического сектора, обеспечение защиты коренного и местного населения в социальном аспекте, выполнение геополитических целей страны и задач по обеспечению безопасности самой протяженной границы России. Развитие Арктической зоны в большинстве своем сдерживается сложностью энергообеспечения изолированных потребителей Арктики. Высокие расходы на традиционную энергетику финансируются из федерального бюджета в виде бюджетных дотаций и субсидий на северный завоз топлива, тепловые станции, работающие на привозном мазуте и угле с устаревшими технологиями производства тепла и электроэнергии, ухудшающие экологическую обстановку и здоровье населения, повышают привлекательность энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками энергии, и обеспечивают замещение углеводородного топлива другими энергоносителями [2].

В дополнение к вышеупомянутым проблемам транспортировки дизельного топлива, глобальной проблемой сжигания являются выбросы парниковых газов с серьезным влиянием на климат. Помимо высокой себестоимости, дизельное топливо оказывает серьезное негативное экологическое воздействие. В атмосферу поступают парниковые газы, продукты сжигания – CO, NO<sub>3</sub>, CH, C, SO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>O, бензпирены. Выделяется черный углерод – продукт неполного сгорания органического топлива, снижающий эффект альбедо. Мелкие частицы черного углерода поглощают солнечную радиацию, и снег и лед тают быстрее. На территории Арктики располагается огромное количество известных источников возобновляемой энергии. Для обеспечения электро – и теплоснабжением таких регионов на 70–100% аккумулярованием энергии наиболее целесообразно создание комбинированных энергообеспечивающих источников. Далее рассматриваются те виды альтернативных источников энергии, которые имеют потенциальную эффективность применения в заданных климатических и географических условиях. В ходе работы переход на альтернативную энергетику

---

рассматривается не только с экономической, но и с экологической точки зрения. Анализируются преимущества и недостатки данных видов энергетики, предлагаются меры и методы по решению описанных проблем. В заключении делаются выводы о рациональности использования системы с участием альтернативной энергии

Для выбора альтернативного источника энергии, который будет входить в энергетическую систему региона, необходимо просчитать экономические затраты на закупку, транспортировку и обслуживание данной системы, провести анализ сравнения экологического воздействия с традиционными источниками, используемыми в данном регионе. В качестве примера удаленного населенного пункта с децентрализованной энергосистемой предлагается использовать посёлок городского типа Диксон – самый крайний населенный пункт России, являющийся «воротами» для Северного морского пути. Основными энергопотребляющими объектами являются городской аэропорт, метеорологическая и радиостанция. Электроснабжение поселения Диксон технологически не связано с Единой энергетической системой РФ. Этапы определения требований к энергетической нагрузке пгт представлены на рисунке 1.

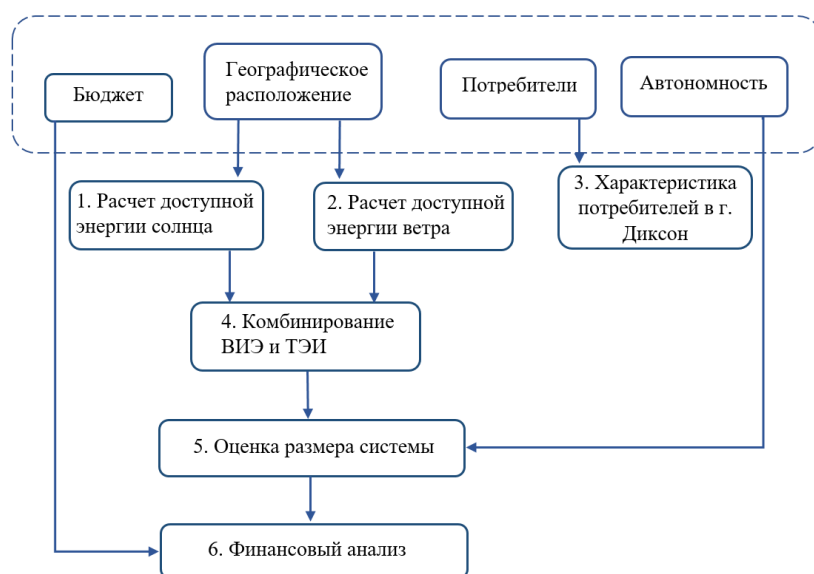


Рис. 1. Анализ требований к энергетической нагрузке в пгт Диксон

Основным источником энергии Диксона является комплекс дизельных генераторов марки «Шкода» 6LS 350 PN, суммарная мощность агрегатов составляет 2395 кВт. Общие среднегодовые потребности в топливе для ДЭС посёлка составляют 2500 тонн арктического дизельного топлива. Дизельные генераторы Диксона характеризуются высоким уровнем износа.

При решении проблемы перевода удаленных поселений на альтернативные источники энергии следует начать с источников первого типа – солнечной энергии и энергии ветра. Данные технологии показали свою значительную эффективность во многих странах. На сегодняшний день солнечная энергетика является самым быстроразвивающимся видом АИЭ. Солнечные панели устанавливаются в частных домах, используются для энергоснабжения предприятий по всему миру, активно развивается данное направление и в нашей стране. Россия имеет опыт в производстве и обслуживании таких систем. Лучше всего это направление развито в Якутии с высоким уровнем среднегодовой радиации. Сейчас там установлены 24 солнечных электростанции с резервными дизельными генераторами. Такая технология в Верхоянском районе Якутии позволила отказаться от использования 30% дизельного топлива. На Чукотке, в Ямало–Ненецком автономном округе, Земле Франца–Иосифа появляются новые объекты возобновляемых источников энергии, позволяющие экономить 2,5–3 тонн дизельного топлива в год. На примере пгт. Диксон можно проследить количество солнечной радиации на горизонтальную поверхность. Суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м<sup>2</sup> представлена в таблице [4].

Таблица

**Суммарное годовое количество солнечной радиации**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Диксон, остров	0	17	152	408	645	584	496	295	126	35	0	0

В зимние месяцы в условиях полярной ночи это значение стремится к нулю. Помимо географических условий, снижение эффективности характеризуется также снежными заносами солнечных панелей, решение данной проблемы в настоящее время находится на этапе разработки. Несмотря на повышение КПД солнечных панелей при низких температурах, увеличении поглощаемого излучения за счет отражения от снега, энергию солнца не следует рассматривать как полноценную альтернативу дизельного энергоснабжения ввиду ограниченности годового использования. Например, по известным данным, для возможности обеспечения до 25% тепла в системах отопления, 50% в системах водоснабжения и 75% в системах кондиционирования воздуха, годовое поступление солнечной радиации должно составлять 1200 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Среднее годовое поступление составляет от 830 до 1100 кВт·ч/м<sup>2</sup> или от 3,5 – 6,6 кВт·ч/м<sup>2</sup> в день [5].

При этом годовая скорость ветра в данном пгт составляет 6–7 м/с (рис. 2), что является достаточным для эффективной работы ветрогенераторов на протяжении всего года. Экономическая эффективность использования ветряной энергетической установки для энергоснабжения небольших потребителей определяется имеющимся ветроэнергетическим потенциалом, тарифом на электроэнергию у потребителя, стоимостью используемой ВЭУ, техническими условиями на подключение и рядом других факторов.

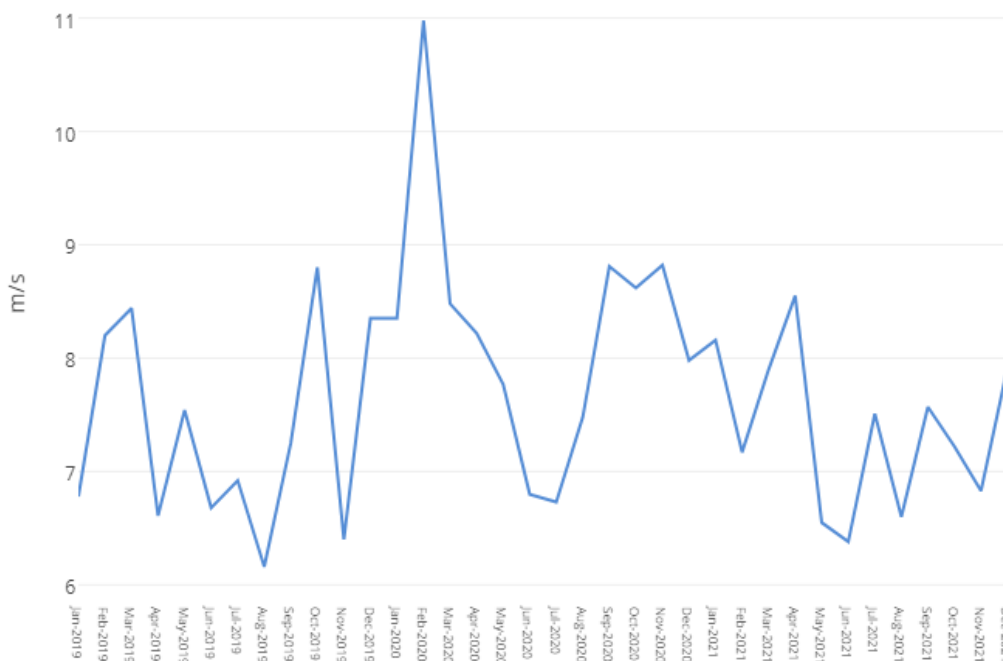


Рис. 2. Среднегодовая скорость ветра в пгт Диксон

Срок окупаемости при внедрении ветроагрегата может быть определен по формуле:

$$t = \frac{P \cdot c}{\text{Э} \cdot \text{СТ} - \text{Иэкс}},$$

где  $P \cdot c$  – общая стоимость установки (капитальные затраты) с учетом стоимости агрегата, транспортировки, таможенных расходов, проектных и строительно–монтажных работ, руб;

$\text{Э}$  – электроэнергия, вырабатываемая установкой в год, кВт·ч/год;

$\text{СТ}$  – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч;

$\text{Иэкс}$  – издержки эксплуатации, руб/год.

Экономический эффект от использования ВЭУ определяется по формуле [6].

$$\text{Ээф} = nQT_{\text{сл}}(T_{\text{сл}} - T_{\text{ок}})(E_{\text{ст}} - I_{\text{экс}})(C_{\text{п}} - C_{\text{т}}),$$

где  $n$  – число ВЭУ в составе ВЭС;

$Q$  – годовой дефицит электроэнергии в регионе, кВт ч/год;

$E = NT$  – электроэнергия, вырабатываемая ВЭУ в год, кВт ч/год;

$I_{\text{ЭКС}} = \gamma K$  – издержки эксплуатации, руб;

$K$  – капитальные затраты (общая стоимость ВЭУ), руб.

В свою очередь,  $C_{\text{т}}$  – удельная стоимость производства электроэнергии от ТИЭ (региональный тариф), руб/кВт ч.

Как показали предыдущие исследования, пригодность арктических регионов для производства энергии ветра вынуждают экстенсивное интерес научного сообщества и производства компании в преодолении следующих проблем, одной из них являются низкие температуры. Средняя температура января на арктической территории колеблется от  $-34^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , все оборудование ВТ должно быть в состоянии работать при низких температурах. В том числе необходимо отопление как механического, так и энергетического оборудования, использование хладостойкой смазки для движения и вращения механизмов и хладостойких сплавов для открытых части. Еще одной серьезной проблемой является обледенение лопастей несущего винта. Возникающее на лопастях несущего винта обледенение представляет собой одну из самых серьезных проблем, снижение эффективности ВТ. С одной стороны, лопасти ротора должны быть спроектированы соответствующим образом чтобы пережить регулярное обледенение, которое в Арктике может происходить до 20% времени в течение года. С другой стороны, эффективность производства электроэнергии значительно страдает от обледенения лопастей, поэтому требуется решения для обнаружения и удаления обледенения. На конечную сложность установки также влияет географический фактор, удаленность арктических территорий. Чтобы установить ветряные генераторы в объектах арктической инфраструктуры, во-первых, они должны быть доставлены в пункт назначения. Это требует от производителей использования легких материалов, сохраняющих устойчивость к низким температурам. Также, при переходе на стопроцентную ветряную энергетику необходимо учитывать качество электроэнергии. Поскольку ВТ будут работать в автономном режиме режим, генерируемая мощность будет постоянно колебаться, что влияет на качество сетевого напряжения. Для того, чтобы поставлять мощность необходимого качества для потребителей необходимо установить дополнительные компенсационные устройства. Тем не менее, благодаря развитию технологий по переработки отработавших компонентов, внедрению ветрогенераторов отечественного производства, финансовой и законодательной поддержки, ветряная энергетика активно развивается в северных регионах нашей страны, несмотря на имеющиеся сложности.

Помимо энергии ветра, весьма перспективным направлением АИЭ является петротермальная энергетика. Впервые идея использования энергии твердых горячих пород была предложена К.Э. Циолковским в статье “Продолжительность лучеиспускания звезд”, размещенной в “Научном обозрении” в 1897 году. Далее, в своей работе “Второе начало термодинамики”, опубликованной в 1914 г., Циолковский рассматривал процесс нагревания воды за счет теплообмена с породами, имеющими на глубине четырех верст (4,26 км) температуру  $120^{\circ}\text{C}$ , и ее циркуляцию в двух отвесных каналах, сообщающихся между собой. Первая ПЭС добывания тепла пористых пластов для отопления была реализована в Париже в 1963 году. Сейчас более шестидесяти систем функционируют во Франции и несколько десятков городов обогреваются теплом и освещаются электроэнергией полученной на основе данного источника энергии. В 1977 году первая ПЭС с гидроразрывом практически непроницаемого массива раскаленных гранитов по проекту национальной лаборатории в Лос-Аламосе начала создаваться в США. Принципиальная схема базовой бинарной (двухконтурной) петротермальной станции показана на рисунке 3.



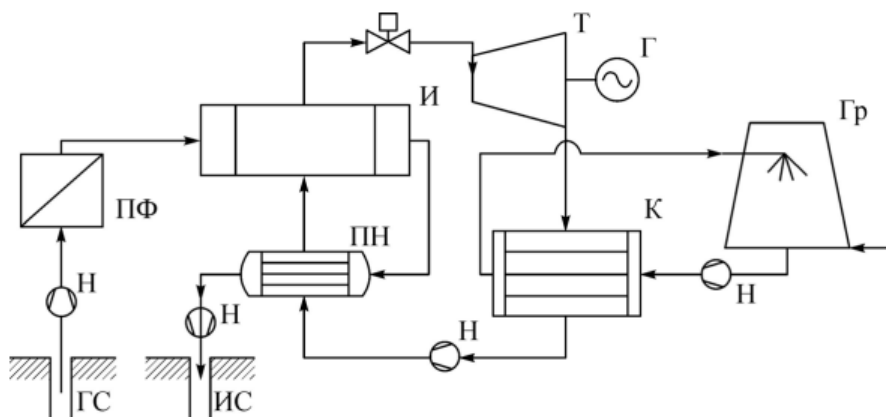


Рис. 3. Принципиальная схема петротермальной станции

Насос перекачивает флюид, расположенный в пластах геотермальной скважины. Далее, через песчаный фильтр (ПФ) флюид подается в испарительную систему (ИС), где происходит теплопередача тепла от геотермального флюида к легкокипящей рабочей жидкости. ИС, как правило, состоит из предварительного нагревателя (ПН), функция которого заключается в нагреве рабочей жидкости до температуры, близкой к температуре кипения, и испарителя (И). Пары жидкости, участвующей в работе, приводят во вращение турбину (Т) с электрогенератором (Г). Оработанный пар рабочей жидкости попадает в конденсатор (К), где происходит его фазовый переход в жидкость, которая насосом конденсатора подается в предварительный нагреватель. [7]. Главным преимуществом такой системы является полная автономность, отсутствие загрязняющих выбросов, неограниченность энергоресурса. К недостаткам следует отнести сложность в реализации, особенно на территории вечной мерзлоты- глубины скважины составляет 3–6 км. Существующие методы бурения скважин разработаны для нефтяной промышленности. Использование таких методик делают петротермальную энергетику практически некупаемой. Поэтому задачей для промышленности РФ в вопросе АИЭ является внедрение новых технологий бурения, материалов, усовершенствованного оборудования, ускоряющего процесс. В настоящее время такими технологиями располагает Уральский завод тяжелого машиностроения (УЗТМ) и Волгоградский завод буровой техники (ВЗБТ), необходима всесторонняя поддержка государства в вопросе имплементации данных технологий в сферу АИЭ. В качестве примера далее приведены расчетные технико-экономические показатели опытно-промышленной энергоустановки суммарной мощностью 24 МВт (все стоимостные показатели указаны в ценах 2014 г.): срок реализации – 6 – 10 мес.; себестоимость производимой электроэнергии – 0,60 руб./кВтч; себестоимость производимого тепла – 68,6 руб./Гкал; суммарные капиталовложения в энергоустановку – 1500 млн. руб.; при годовом отпуске электроэнергии – 117 млн. кВт.ч и отпуске тепла 679 тыс. Гкал/год; срок службы – 40 лет; средний срок окупаемости – 3,1 – 3,5 года.

На данном этапе развития сектора альтернативной энергетики в Российской Федерации перспективным направлением для арктической зоны является ветряная энергетика. Налаженные процессы производства и обслуживания в указанном регионе доказывают рентабельность в долгосрочной перспективе. Источники третьего типа, такие как петротермальная энергетика, должны субсидироваться государством и научным сообществом, необходимо внедрять инновационные решения, удешевляющие и ускоряющие технологические процессы– бурение, внедрение в энергосистему региона и другие. Таким образом, вопрос востребованности, доступности и эффективности АИЭ в арктическом регионе России на данном этапе субсидирования и развития отдельных отраслей промышленного сектора остаётся открытым.

### Список использованных источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 26.02.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».
2. Попель О.С., Киселева С. В., Моргунова М.О., Габдерахманова Т.С., Тарасенко А.Б. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации//Арктика: экология и экономика. 2015. №. 1. С. 64–69.
3. ГОСТ Р 51249–99. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. М., Издательство стандартов. 1999.
4. 220NET. Солнечная радиация. Таблицы инсоляции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://net220.ru/poleznye\\_staty/solnechnaya\\_radiaciya\\_tablicy\\_insolyacii](http://net220.ru/poleznye_staty/solnechnaya_radiaciya_tablicy_insolyacii) (дата обращения: 06.03.2023).
5. Дидиков А.Е. Эколого – экономические аспекты управления ресурсосбережением на базе возобновимых источников энергии// Экономика и экологический менеджмент. 2015. №. 2. С. 333.
6. Падалко Л.П, Заборовский А.М. Технико-экономические предпосылки развития ветроэлектроэнергетики // Энергетика и ТЭК. 2006. №. 10. С. 18–22.
7. Гнатусь Н.А., Хуторской М.Д., Хмелевской В.К. Петротермальная энергетика и геофизика // Вестн. МГУ. Секц. Геология. 2011. №. 3. С. 41–48.

УДК 621.59

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПЕРЕД ОЖИЖЕНИЕМ

*Сафтли А.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук Соколова Е.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: adhamsaftly1994@gmail.com*

---

Переработка природного газа играет ключевую роль в цепочке поставок природного газа, переработчики природного газа обычно удаляют загрязняющие вещества из сырого природного газа и отделяют «сухой» природный газ от жидкостей природного газа, которые могут вызывать механические проблемы во время транспортировки по трубопроводу.

В этой статье показаны возможные способы обработки природного газа с целью удаления воды, углекислого газа, серы, ртути из сырого природного газа.

### **Ключевые слова**

Переработка природного газа, очистка сырого газа, компоненты СПГ, примеси ПГ, методы очистки.

---

Сжиженный природный газ (СПГ) — это жидкая форма природного газа, добываемого и поставляемого по трубопроводам. Когда природный газ охлаждается при атмосферном давлении до очень низких температур (около  $-162^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от состава природного газа), он конденсируется в жидкость. Перед ожижением природный газ обычно подвергается очистке для удаления примесей (ртуть, двуокись углерода и вода). Удаление этих примесей облегчает обращение с образовавшимся СПГ за счет сведения к минимуму коррозии или повреждения материалов.

Цепочка поставок СПГ обычно создается, когда транспортировка по трубопроводу слишком дорога из-за больших расстояний или технических трудностей строительства трубопровода. При сжижении природного газа его объем уменьшается в 600 раз, что делает СПГ намного проще и экономичнее при транспортировке на большие расстояния и хранении в больших количествах. Цепочки поставок СПГ гораздо более гибкие, чем газопроводы, поскольку они могут обслуживать разные рынки в разное время и избегать политической и геополитической нестабильности в странах транзита, с которыми приходится сталкиваться трансконтинентальным газопроводам. За последние три десятилетия только индустрия сжиженного природного газа (СПГ) успешно вывела на рынки газа многие крупные удаленные газовые месторождения, недоступные для трубопроводов (например, Япония, Южная Корея).

Сегодня цепочки поставок СПГ диверсифицировали и создали конкуренцию на рынках, ранее «захваченных» поставщиками трубопроводного газа, а также повысили безопасность энергоснабжения многих стран-потребителей [1].

### **Состав ПГ и СПГ**

Сжиженный природный газ (СПГ) – криогенная жидкость, с температурой кипения около 112 К (зависит от состава). СПГ является смесью, состоящей из нескольких компонентов: это смесь легких углеводородов, большую часть которой составляет метан [2]. Следует помнить, что состав СПГ и состав природного газа сильно отличаются. Это связано с тем, что для получения СПГ из природного газа, из него необходимо удалить этан, пропан, бутаны и более тяжелые углеводороды, затем его необходимо очистить от примесей (углекислого газа и сероводорода), а потом необходимо выполнить осушку – удалить влагу. Оставшийся газообразный метан может в качестве примесей иметь 3–4% этана, 2–3% пропана, до 2% бутанов и до 1,5% азота [3]).

Таблица 1

Состав СПГ&ПГ [2]		
Элемент	Природный газ, моль %	СПГ, моль %
Метан	62,6-98,8	86,98-99,72
Этан	2,89-7,06	0,06-9,35
Пропан	0,05-2,1	0,0005-2,33
Бутаны	0,03-1,04	0,0005-2,33
CO <sub>2</sub>	0,02-2,25	–
N <sub>2</sub>	0,43-28	До 1,5
Гелий	До 0,58	–

### Очистка ПГ

При ожижении природного газа следует помнить, что для того, чтобы предотвратить проблемы во время эксплуатации установок (например, закупоривание теплообменников за счет замерзания воды или углекислого газа и обрывания льда и газогидратов, разъедание ртутью алюминиевых частей оборудования, коррозия оборудования) [2] необходимо очистить природный газ от примесей, удалить влагу и т.д. Например, H<sub>2</sub>S вызывает коррозию магистрального газопровода при транспортировании газа, а продукты его сгорания – коррозию технологического оборудования, в котором сжигается газ. Газы с H<sub>2</sub>S не допускаются к использованию в бытовых приборах в связи с тем, что продукты их сгорания вредны для человеческого организма. Влага с предельными углеводородами до C<sub>4</sub> при определенных давлениях и температурах, характерных для магистральных трубопроводов, образует комплексные соединения – гидраты углеводородов, которые в твердом ледообразном виде могут откладываться в трубопроводах, вызывая их забивку.

В таблице 2 показан состав газа [3], который можно отправлять в узел ожижения.

Таблица 2

### Допустимый состав газа для сжижения

Показатель	Размерность	При эксплуатации	
		летом ( $t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	зимой в северных районах ( $t < -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Концентрация H <sub>2</sub> O (точка росы)	°C	< +4	< -40
Концентрация H <sub>2</sub> S	мол. %	< 0,03	< 0,03
Концентрация углеводородов:			
C <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мол. %	< 2	< 0,40
C <sub>5</sub> <sup>+</sup>	мол. %	< 0,8	< 0,1
Концентрация балластных компонентов (CO <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> )	мол. %	< 20	< 20
Содержание пыли	мг/нм <sup>3</sup>	< 200	< 200

Сырьевой газ из скважин должен пройти через различные блоки обработки для удаления нежелательных компонентов. Технологические установки типичного завода по производству СПГ показаны на схеме (рис. 1).

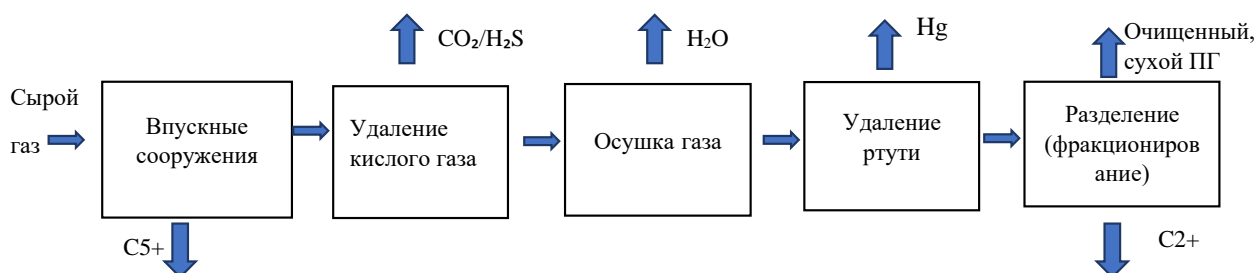


Рис. 1. Очистка природного газа

Эти установки работают вместе, чтобы поставлять продукт СПГ, который будет соответствовать необходимым спецификациям (таблица 2).

Конфигурация завода СПГ может варьироваться в зависимости от состава сырьевого газа, ассортимента и спецификаций продукции, экологических норм и предельных значений выбросов газов в атмосферу. Сложность установки и конфигурация технологического блока также зависят от производительности установки, содержания кислых газов, содержания серы и концентраций загрязняющих веществ, которые необходимо тщательно изучить, чтобы получить работоспособную конфигурацию установки [1]. Пыль и шлак (вода и конденсат) удаляются вместе с сероводородом ( $H_2S$ ) и ртутью ( $Hg$ ). Углекислый газ ( $CO_2$ ) поглощается и удаляется из природного газа с помощью аминового поглотителя (удаление кислых газов), а для удаления воды используется адсорбент.

### Сепаратор

Сепаратор располагается на входе в установку подготовки газа/СПГ и предназначен для разделения поступающего трубопроводного газа и жидкости на отдельные фазы и временного хранения полученных жидкостей. Отделенные жидкости далее направляются на последующие установки для обработки.

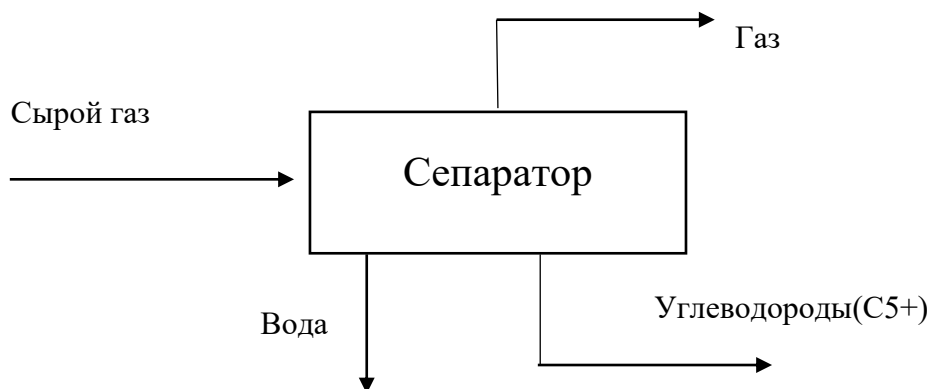


Рис. 2. Принципиальная схема устройства сепаратора

Сепаратор, схематично показанный на рисунке 2, представляет собой трехфазный сепаратор, в котором происходит разделение газа, углеводородных жидкостей (конденсат  $C_{5+}$ ) и водной фазы (вода).

Есть две большие группы сепараторов: типа сосуд (корпусные) и типа трубы.

Преимущества сепараторов корпусного типа в том, что они требуют значительно меньшей площади для установки, просты по конструкции и просты в обслуживании.

Сепараторы такого типа обычно используются только в том случае, если поступающие объемы жидкости достаточно стабильны и относительно малы. Когда входящий поток жидкости не определен, например, в длинных трубопроводах, потенциально большие объемы жидкости потребуют использования сепараторов второго типа.

Трубчатая конструкция, как правило, менее дорогая, чем емкостная, при работе под высоким давлением. Недостатком является необходимость большой площади. Его использование ограничено объемами наземной базы, применяется там, где нет ограничений по площади пространству.

### Установка для удаления кислых компонентов $H_2S$ , $CO_2$

Следующий после сепаратора этап получения СПГ — это установка удаления кислотных компонентов.

На большинстве заводов СПГ используется процесс химической абсорбции традиционным амином. Существует множество групп растворов аминов, которые можно использовать, например: моноэтаноламин (МЭА), диэтаноламин (ДЭА), дигликольамин (ДГА), метилдиэтаноламин (МДЭА).

На рисунке 3 показан пример того, как устроены абсорбционные установки для очистки аминов.

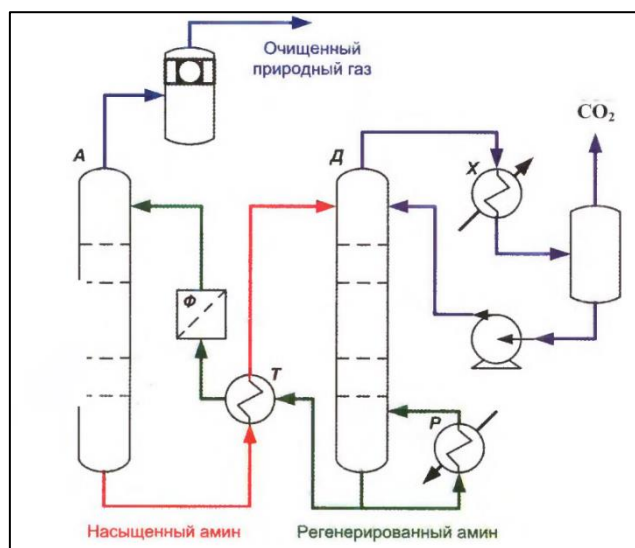


Рис. 3. Принципиальная схема установки аминовой очистки: А – адсорбер, Д – десорбер, Х – холодильник, Ф – фильтры, Т – теплообменник, Р – ребойлер

С помощью этой технологии и МЭА (моноэтаноламина) в качестве очищающего агента  $\text{CO}_2$  может быть удален менее чем до 50 частей на миллион, а  $\text{H}_2\text{S}$  – менее чем до 3 частей на миллион. природный газ течет снизу вверх, а чистый амин наоборот, и они контактируют друг с другом в абсорбере А, где в качестве контактных устройств используются тарелки или насадка. Происходит химическая реакция между газом и амином, и газ избавляется от воды, а амин, который становится насыщенным, вступает в химическую реакцию с кислыми газами с образованием водорастворимых солей, затем насыщенный амин выводится из нижней части абсорбера.

На следующем этапе насыщенный амин нагревается в теплообменнике, затем подается в блок регенерации, где амин избавляется от кислоты, затем охлаждается и направляется в абсорбер А, где цикл повторяется.

Для улавливания примесей на линии циркуляции амина применяют фильтр Ф, содержащий активированный уголь.

#### Установка осушки газа ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и удаления меркаптанов

В результате химической реакции кислых газов с аминовыми растворами в системе образуется вода. Этим определяется порядок размещения в технологической цепи обезвоживающей установки после абсорбционной установки для удаления кислых компонентов.

Существует несколько процессов осушки, которые необходимо выбрать в зависимости от параметров сырого газа и требований к качеству получаемого газа. Одним из способов обезвоживания является использование молекулярных сит, другим способом является гликолевый процесс. Молекулярные сита часто состоят из цеолитов, имеющих открытые каналы, через которые могут диффундировать небольшие молекулы [1]. В зависимости от типа цеолитов из газа можно удалить  $\text{CO}_2$ , меркаптаны и влагу [1]. Если молекулярное сито полностью загружено, его необходимо регенерировать путем промывки горячим природным газом.

#### Абсорбция (гликолевая осушка)

Очистка влажного газа гликолем (в большинстве случаев ТЭГ – триэтиленгликолем) является одной из наиболее применяемых технологий осушки природного газа. Влажный газ проходит через колонну (рис. 4), в то время как гликоль в противотоке поглощает воду. Загруженный гликоль регенерируется в отпарной колонне, нагреваемой ребойлером. Регенерированный гликоль течет по замкнутому контуру обратно в гликолевую колонну. Вода в газе поглощается обедненным ТЭГ, превращая его в богатый ТЭГ. В результате влажный газ становится сухим газом. Впоследствии, чтобы рециркулировать богатый ТЭГ обратно в осушитель газа. Затем он поступает в дефлегматор в верхней части регенерационной колонны. Давление нагретого богатого ТЭГ снижается в расширительном резервуаре, где испаряется

большая часть летучих компонентов. Когда богатый ТЭГ выходит из расширительного бака, он проходит через теплообменник богатого бедного ТЭГ, где нагревается горячим, обедненным ТЭГ.

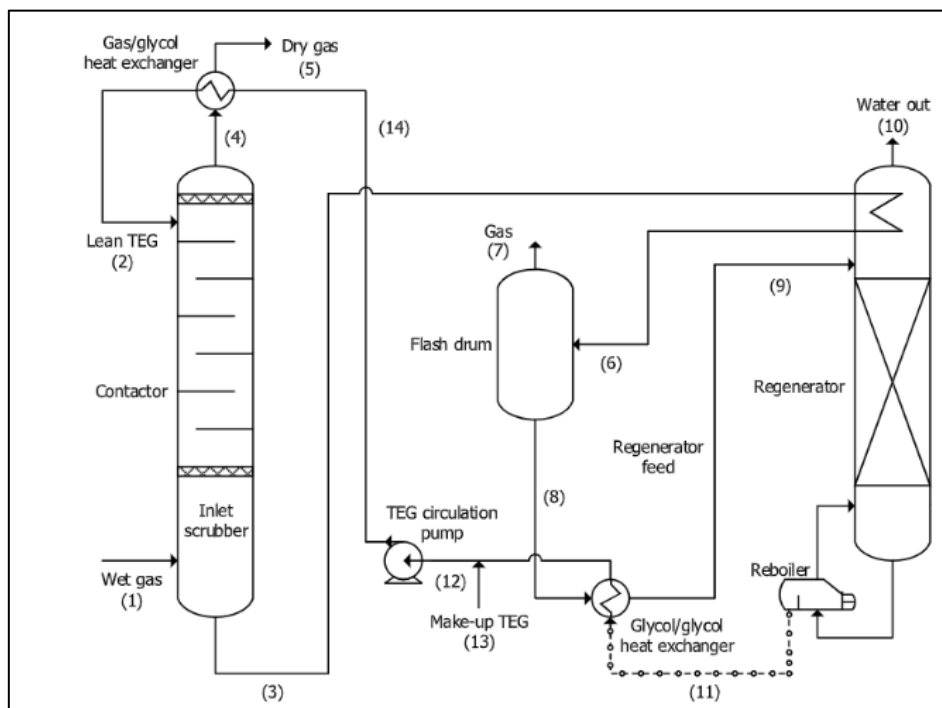


Рис. 4. Принципиальная схема установки осушки ПГ

Затем нагретый богатый ТЭГ проходит через фильтры ТЭГ и поступает в регенерирующую колонну, а вода в нагретом богатом гликоле удаляется за счет тепла из ребойлера. После прохождения регенерирующей колонны и теплообменника регенерированный ТЭГ поступает в насос, где его давление доводят до давления осушителя газа. Наконец, обедненный гликоль после охлаждения воздухоохладителем подается обратно в осушитель газа. Схема типичной установки дегидратации ТЭГ показана на рисунке 4.

#### Установка удаления ртути

Учитывая, что удаление ртути из сухого газа происходит легче, чем из влажного, этот процесс осуществляется после обезвоживания. завод СПГ имеет обычную конструкцию, которая требует удаления ртути до уровней ниже  $0,01 \text{ мг/м}^3$ .

В большинстве современных методов удаления ртути из природного газа и жидких углеводородов используются неподвижные слои материалов. Жидкость протекает через неподвижный слой, в котором ртуть вступает в реакцию с реактивным реагентом в сосуде для удаления ртути при этом, получается продукт, не содержащего ртуть.

Существует два типа материалов для удаления ртути: нерегенеративные сорбенты ртути и регенеративные адсорбенты ртути.

В процессе нерегенеративного удаления ртути ртуть вступает в реакцию с серой с образованием стабильного соединения на поверхности сорбента. А в процессе регенеративного удаления ртути используется серебро на молекулярном сите (таком как сито UOP HgSIV) для хемосорбции элементарной ртути. Насыщенный ртутью слой затем регенерируется горячим регенерационным газом. Газ регенерации обычно нагревают до  $287^\circ\text{C}$ .

#### Выводы

- $\text{N}_2/\text{C}_2\text{-C}_3\text{-C}_4$  не рассматриваются в этой статье, поскольку здесь мы демонстрируем удаление примесей перед сжижением ( $\text{N}_2$  зависит от концентрации);
- выбор правильного метода удаления примесей зависит от многих факторов, таких как: исходный состав сырого газа, необходимый уровень чистоты и наиболее важным фактором является экономическая целесообразность использования каждого метода (инфраструктура блока очистки) и его влияние на всю операцию сжижения.

**Список использованных источников**

1. Mokhatab.S- Mak.J.- Valappil.J- Wood.D ,Handbook of Liquefied Natural Gas- First edition 2014 , The Boulevard, Langford Lane, Oxford, Kidlington, Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford. 2014. 591 с.
2. Фёдорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. 2011. 159 с.
3. Акулов Л.А. Установки и системы низкотемпературной техники. Ожижение природного газа и утилизация холода сжиженного природного газа при его регазификации. Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. 2006. 175 с.



УДК 621.642.86

## ОЦЕНКА ПОТЕРЬ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ) ОТ ИСПАРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

*Середенко Е.С.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Баранов А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: seredenko\_alena@mail.ru*

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

---

В связи с ростом производства сжиженного природного газа (СПГ) в Арктических регионах РФ возникает необходимость в оптимизации технологии транспортировки готовой продукции на внешний рынок – в европейские и азиатские страны. Решению этой задачи служит развитие судоходства по Северному морскому пути. Одной из ключевых проблем, возникающих при транспортировке и хранении СПГ, является образование избыточных паров СПГ (отпарного газа). В статье приведена оценка потерь СПГ от испарения в условиях его транспортирования по Северному морскому пути. Рассмотрены методы утилизации избыточных паров СПГ на судах-газовозах и перевалочных базах СПГ. В качестве способа снижения потерь от испарения СПГ предложено увеличение исходного содержания азота в смеси, что позволит сократить скорость испарения СПГ на 5%.

### **Ключевые слова**

Сжиженный природный газ (СПГ), Северный морской путь (СМП), танкеры СПГ, перевалочный терминал СПГ, отпарной газ, пары СПГ.

---

Северный морской (СМП) - национальное достояние России. Поскольку этот маршрут значительно короче других морских путей из Европы на Дальний Восток, уже многие годы он привлекает к себе внимание экономистов и ученых всего мира.

Навигационный период по СМП составляет восемь месяцев – с апреля по ноябрь. Изменение климатических условий в Арктике сопровождается уменьшением площади и толщины морского льда, что в перспективе может привести к увеличению навигационного периода.

Большая часть месторождений природного газа сосредоточены в Арктической зоне Российской Федерации (полуостров Ямал). Одним из ключевых вопросов является поставка сжиженного природного газа на внешний рынок – в европейские и азиатские порты, а также оптимизация транспортных расходов.

Полуостров Ямал имеет прямой выход к Северному морскому пути. В этом регионе сосредоточено большое количество месторождений по добыче природного газа и развивается инфраструктура по производству сжиженного природного газа (проекты «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ-2») [1].

Последние годы Северный морской путь активно используется для транспортировки сжиженного природного газа. За 2021 год с завода «Ямал СПГ» было отгружено 266 танкерных партий СПГ – 19,5 млн тонн. СПГ, из которых 44 партии отправлено по восточному маршруту Северного морского пути в страны Азиатско-Тихоокеанского региона [2].

Для того, чтобы сделать транспортировку СПГ по этому маршруту выгоднее, необходимо минимизировать потери СПГ от испарения, которые образуются вследствие внешних теплопритоков через изоляцию резервуара.

---

### Особенности доставки СПГ по Северному морскому пути

Существуют две логистические схемы поставок СПГ с полуострова Ямал: по Северному морскому пути на танкерах ледового класса на восток и через Суэцкий канал на запад. Основные преимущества использования СМП для транспортировки сжиженного природного газа с месторождений Российской Арктики в страны Азиатско-Тихоокеанского региона заключаются в наименьшей стоимости перевозки СПГ и в сокращении сроков доставки по сравнению с альтернативными маршрутами [3].

Транспортировка сжиженного природного газа по СМП требует использования танкеро-газовозов ледокольного класса типа Arc7. В отличие от танкеров обычного типа конструкция судна-газовоза Arc7 позволяет самостоятельно преодолевать лед толщиной около двух метров. Фрахт танкеров ледового класса достаточно дорог, поэтому на бункеровочных терминалах СПГ перегружается на танкеры обычного типа для дальнейшей его транспортировки в азиатские и европейские порты.

Терминалы СПГ в Мурманске и на Камчатке строит компания «НОВАТЭК». Проектная мощность одного терминала – 20 млн тонн в год. Каждый из терминалов включает плавучее хранилище СПГ объемом 360 тыс.м<sup>3</sup> СПГ (табл. 1) [4]. Поскольку поставки и отгрузки продукта могут носить неравномерный характер, для снижения продолжительности простоев судов-газовозов предусматривается возможность перегрузки СПГ с судна на судно по схеме «борт в борт» без промежуточного хранения на плавучих хранилищах газа (ПХГ).

Таблица 1

**Технические характеристики перегрузочных терминалов**

Параметры	Регион расположения терминала	
	Мурманск	Камчатка
Пропускная способность	20 млн тонн/год	20 млн тонн/год
Местонахождение	Губа Ура на берегу Баренцева моря (40 км от г. Мурманск, 1000 морских миль от Сабетты)	Бухта Бечевинская (100 км от г. Петропавловск-Камчатский, 4000 морских миль от Сабетты)
Объем хранилища	2 плавучих хранилища СПГ объемом V=360 тыс. м <sup>3</sup>	2 плавучих хранилища СПГ объемом V=360 тыс. м <sup>3</sup>
Условия поставки	Возможна продажа на условиях FOB*	Возможна продажа на условиях FOB*

Перегрузочные терминалы могут также использоваться в качестве распределительных газовых хабов или для бункеровки судов СПГ.

Дополнительным преимуществом транспортировки сжиженного природного газа по СМП является возможность бункеровки судов, перевозящих сжиженный природный газ. Поскольку сжиженный природный газ производится на ближайших арктических месторождениях, на его доставку не требуется больших затрат. Кроме того, СПГ обладает значительными экологическими преимуществами по сравнению с альтернативными видами топлива. Использование СПГ вместо мазута в качестве судового топлива позволит снизить выбросы твердых частиц, SOx и NOx в окружающую среду.

### Потери сжиженного природного газа при морской транспортировке

При морском транспортировании СПГ подвод теплоты из окружающей среды через изоляцию стенок танка вызывает потери сжиженного природного газа от испарения. Со временем процесс испарения приводит к изменению состава смеси и к существенному сокращению количества сжиженного природного газа.

Расчетное количество судов-газовозов для транспортировки СПГ можно определить по формуле:

$$N_{\text{суд.}} = \frac{Q_{\text{зав.}}}{q_{\text{СПГ}} \cdot V_{\text{год.}}} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{зав.}}$  – мощность завода по производству СПГ;

$q_{\text{СПГ}}$  – плотность СПГ;

$V_{\text{год}}$  – максимальный объем СПГ, который может перевезти одно судно-газовоз в течение года.

Для выполнения одного кругового рейса судном-газовом потребуется время  $T_{\text{рейс}}$ , которое можно определить по формуле 2.

$$T_{\text{рейс}} = T_{\text{загр.}} + T_{\text{отшв.1}} + \frac{L}{v} + T_{\text{шв.1}} + T_{\text{разгр.}} + T_{\text{отшв.2}} + \frac{L}{v} + T_{\text{шв.2}}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{загр.}}$  – время загрузки судна-газовоза, определяемое по формуле 3,

$T_{\text{отшв.1}}$  – время на отшвартовку от причала завода СПГ и сопутствующие операции,

$\frac{L}{v}$  – отношение расстояния к скорости судна,

$T_{\text{шв.1}}$  – время на швартовку и сопутствующие операции в порту разгрузки,

$T_{\text{разгр.}}$  – время разгрузки танкера,

$T_{\text{отшв.2}}$  – время на отшвартовку и сопутствующие операции в порту разгрузки,

$T_{\text{шв.2}}$  – время на швартовку к заводу СПГ и сопутствующие операции.

Продолжительность загрузки/разгрузки судна определяется в зависимости от производительности насосов СПГ и рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{разгр.}} = \frac{V_{\text{газовоз}}}{Q_{\text{нас.}}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{нас.}}$  – мощность насосов для перекачки СПГ.

При выполнении расчетов необходимо учитывать потери сжиженного природного газа, образующиеся за счет разницы температур между СПГ и окружающей средой вследствие подвода теплоты из окружающей среды через изоляцию стенок танка. Скорость испарения СПГ (BOR) обычно выражается в процентах, как количество испаренного СПГ в день по отношению к первоначальному запасу СПГ [5]:

$$BOR = \frac{q}{\rho V h_{fg}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $q$  – теплопритоки через изоляцию резервуара (Дж/с),

$h_{fg}$  – скрытая теплота парообразования (511000 Дж/кг),

$\rho$  и  $V$  – плотность и объем СПГ соответственно.

Продолжительность доставки сжиженного природного газа по СМП составляет порядка 20 дней. При вместимости танкера 170 000 м<sup>3</sup> СПГ за время его движения по Северному морскому пути на перевалочный терминал образуется около 5100 м<sup>3</sup> паров СПГ (170–255 м<sup>3</sup> паров СПГ ежедневно), что составляет 2–3 % от первоначального объема СПГ в танке.

Таблица 2

**Результаты расчетов для судна объемом 170 000 м<sup>3</sup> СПГ**

№ п/п	Параметр	Величина	Обозначение
1	Производительность завода СПГ, млн т/год	16,5	$Q_{\text{зав.}}$
2	Плотность СПГ, т/м <sup>3</sup>	0,43	$q_{\text{СПГ}}$
3	Скорость судна, км/ч	32,41	$v$
4	Время на отшвартовку от завода СПГ и сопутствующие операции, ч	4,5	$T_{\text{отшв.1}}$
5	Время на швартовку и сопутствующие операции в пункте назначения, ч	10,5	$T_{\text{шв.1}}$
6	Производительность насосов СПГ, м <sup>3</sup> /ч	12800	$Q_{\text{нас.}}$
7	Время на отшвартовку и сопутствующие операции в пункте назначения, ч	6,5	$T_{\text{отшв.2}}$
8	Время на швартовку к заводу СПГ и сопутствующие операции, ч	10,5	$T_{\text{шв.2}}$
9	Расстояние до потребителей СПГ, км	5 000	$L$
10	Время загрузки (разгрузки) судна, ч	13,3	$T_{\text{разгр.}}$
11	Скорость испарения СПГ, % в день	0,15	BOR

### Утилизация паров СПГ на судах и перевалочных базах.

Существуют разные способы утилизации паров СПГ. При морском транспортировании избыточные пары сжиженного природного газа, как правило, собираются с помощью системы рекуперации паров, повторно сжижаются и возвращаются в сжиженном виде в грузовые танки. При отсутствии на танкере системы повторного сжижения природного газа избыточные пары СПГ сжигают на факельной установке. В зависимости от двигательной установки судна-газовоза избыточные пары СПГ могут направляться на собственные нужды для энергосистемы судна.

На перевалочных терминалах ситуация несколько иная. Поскольку перевалочные терминалы Северного морского пути находятся на территории с малой плотностью населения, пары сжиженного природного газа достаточно трудно направить в местные газовые сети (как, например, на обычном регазификационном терминале), их необходимо либо переконденсировать, либо сжигать в качестве топлива. Также, в отличие от регазификационных терминалов, на перевалочных комплексах СПГ хранится в резервуарах короткими циклами. Этот факт может оказывать влияние на скорость парообразования в резервуаре [5].

Образующиеся при транспортировке и перегрузке пары СПГ возможно реализовывать по местной газотранспортной сети потребителям. В таком случае потребуется строительство магистрального газопровода от перегрузочного терминала до газифицируемого населенного пункта. При строительстве собственной газотранспортной инфраструктуры снабжение потребителей Камчатского края и Мурманской области регазифицированным сжиженным природным газом (парами СПГ) целесообразно и позволит покрыть операционные затраты перегрузочных терминалов. Подобная практика уже применяется в странах Западной Европы, где образующийся при перевалке регазифицированный сжиженный природный газ используется для покрытия нагрузок в тепловой энергии близлежащих населенных пунктов [2].

Одним из вариантов снижения потерь СПГ от испарения является увеличение исходного содержания азота в смеси.

Увеличение содержания азота приводит к двум термодинамическим эффектам – к снижению температуры кипения и увеличению скрытой теплоты парообразования смеси. Даже очень небольшое количество азота, присутствующего в СПГ, например, 0,2%, приведет к снижению скорости испарения СПГ на 5%. Такое явление связано с тем, что на начальных этапах испарения азот испаряется преимущественней метана. Это предлагает возможность использования азота для снижения потерь от испарения СПГ на этапах его хранения и транспортирования [5].

В связи с ростом производства сжиженного природного газа на территории РФ возникает необходимость в оптимизации транспортировки готовой продукции на внешний рынок – в европейские и азиатские порты. Решением этой задачи служит развитие судоходства по Северному морскому пути - кратчайшему транспортному пути, соединяющего Европу и страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

В работе приведена методика расчета, позволяющая определить объем образования паров СПГ за время транспортирования по Северному морскому пути с полуострова Ямал на перегрузочный терминал, с учетом операций в порту загрузки и в порту назначения. Результаты показали, что за 20 дней движения судна по Северному морскому пути образуется около 5100 м<sup>3</sup> паров СПГ, что составляет 2–3% от первоначального объема СПГ в грузовых танках.

Рассмотрены методы утилизации избыточных паров СПГ на судах-газовозах и перевалочных базах СПГ. Специфика работы перевалочного СПГ-терминала заключается в том, что он не связан с магистральным трубопроводом и пары СПГ достаточно трудно направить в местные газовые сети. В качестве варианта снижения потерь от испарения СПГ предлагается увеличение исходного содержания азота в смеси, что позволит сократить скорость испарения СПГ на 5%, управлять теплотворной способностью СПГ и снизить удельные затраты на утилизацию образующихся паров.

**Список использованных источников**

1. Журавель В.П. Развитие Северного морского пути: национальный и международный аспект// Научно-аналитический вестник Института Европы РАН. 2019. №. 2. С. 119–124.
2. Годовой отчет ПАО «Новатэк» за 2021 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.novatek.ru/common/upload/doc/NOVATEK\\_AR\\_21\\_RUS.pdf](https://www.novatek.ru/common/upload/doc/NOVATEK_AR_21_RUS.pdf) (дата обращения: 18.02.2023).
3. Ларченко Л.В., Кольшкин А.В., Яковлева Т.В., Нелюбина Л.В. Может ли Северный морской путь стать конкурентоспособным международным транзитным путём. Инновации. 2018. №. 10. С. 64–67.
4. Климентьев А.Ю., Родичкин И.Г., Богданов Е.В. Арктические горизонты российского СПГ // Газовая промышленность. 2019. №. 9(790). С. 118–128.
5. Середенко Е.С., Пахомов О.В., Баранов А.Ю. Математическая модель испарения сжиженного природного газа и анализ влияния исходного состава на скорость испарения. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. №. 4(128). С. 603–610.

УДК 681.5

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРЕЦИЗИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

*Федченко Д.Ю.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Лазарев В.Л.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: jackzazgard@gmail.com*

---

В работе приведена постановка задачи прецизионного управления климатом в рабочих объемах специальных помещений. К этим объектам предъявляются повышенные требования по точности поддержания климатических параметров во всем рабочем объеме соответствующего помещения. Приведенный в работе подход к постановке задачи управления, основанный на использовании методов теории энтропийных потенциалов, создает предпосылки для ее решения инженерными методами.

### **Ключевые слова**

Управление климатом в помещениях, состояния неопределенности параметров, теория энтропийных потенциалов, специальные помещения, автоматизация.

---

Стабилизация параметров газовой среды в рабочих объемах специальных помещений является крайне актуальной задачей для современных систем управления климатом. Их работа, в значительной мере, определяет эффективность функционирования таких помещений. Например, в работе центра обработки данных (ЦОД) стабильность температурно-влажностного режима воздуха в помещениях для серверных стоек напрямую влияет на параметры работы процессорных элементов, а также на их показатели надежности. В камерах для холодильного хранения пищевой продукции проблема поддержания однородности климатических параметров, обусловлена большими объемами таких помещений и действием интенсивных возмущений, поступающих по различным каналам. Также стоит отметить, что уровень прецессии параметров воздуха является важным фактором эффективности и возможности реализации технологических процессов, например, при окраске и покрытии лаком поверхностей различных изделий, в различных производствах фармацевтической промышленности и других отраслях [1, 2].

Решение подобных задач является одним из приоритетов современных систем автоматизации управления климатом.

Анализ существующих требований и разработок в данной области позволяет выделить основные задачи, возлагаемые на современные системы управления климатом:

1. Контроль текущих значений параметров и сигнализацию об их выходе за допустимые пределы.
2. Стабилизацию климатических параметров среды (температуры, влажности и др.) в заданной точке.
3. Временное и параметрическое изменение уставных значений (уставок) контуров регулирования для отдельных параметров.
4. Минимизация уровней состояний неопределенности параметров в рабочих объемах специальных помещений.

Первые три задачи из представленного списка поддаются решению известными инженерными методами с использованием современной элементной базы средств автоматизации. В этом смысле, наибольшую «сложность» представляет решение четвертой задачи, особенно с учетом ряда практических особенностей. Суть состоит в следующем. Для эффективного решения этой задачи необходимо иметь объективную количественную оценку состояний неопределенности, как отдельных параметров, так и комплекса параметров.

---

### Отправные положения

С точки зрения удобства практической реализации, необходимо иметь критерий или характеристику состояния неопределенности какого-либо параметра, выраженную числовым значением. Причем этот критерий должен формироваться на основе набора важнейших характеристик, описывающих свойства рассматриваемого состояния, и поддаваться достаточному простому определению в реальных процессах. Анализ существующих разработок в этой области позволяет рекомендовать для оценки состояния неопределенности какого-либо параметра величину комплексного энтропийного потенциала (КЭП) –  $L_{\Delta}$ , определяемую из выражения:

$$L_{\Delta} = \frac{K_B \sigma}{|X_n|} = \frac{\Delta_e}{|X_n|}. \quad (1)$$

В (1) использованы следующие обозначения:  $\sigma$  – величина среднего квадратического отклонения (СКО) анализируемого параметра;  $K_e$  – энтропийный коэффициент закона распределения параметра в рабочем объеме, который характеризует его «вариативные» свойства;  $X_n$  – базовое значение параметра, на основе или базе которого рассматривается состояние неопределенности (в качестве величины  $X_n$  можно использовать среднее значение или математическое ожидание параметра, его допустимый предел, значение уставки регулятора и др.);  $\Delta_e$  – величина энтропийного потенциала (ЭП) параметра. Величины ЭП и КЭП являются базовыми понятиями теории энтропийных потенциалов (ТЭП), получили распространение для описания состояний неопределенности в различных ситуациях. Методы и рекомендации по определению оценочных значений этих характеристик в конкретных условиях и ситуациях с исходными данными приведены, например, в [3–5].

Для оценки состояния неопределенности комплекса или множества, состоящего из  $N$  параметров, целесообразно использовать величину многомерного КЭП (МКЭП) –  $L_z$ , определяемую из выражения:

$$L_z = \sum_{n=1}^N \{(c_n L_{\Delta n})^z\}^{\frac{1}{z}}. \quad (2)$$

В (2) использованы обозначения:  $c_n$  – весовые коэффициенты, описывающие значимость или «вес», каждого  $n$  – ого параметра в рабочем объеме. Значения этих коэффициентов задаются обслуживающим персоналом различными способами: на основании опыта или баз знаний, на основании экспертных оценок и др. При этом используются ограничения:  $\sum_{n=1}^N c_n = 1$ ;  $c_n \geq 0$ . Величина  $z$  – номер варианта критерия. Обычно используются варианты  $z = 1$  или  $z = 2$ . При малых значениях величины  $n$  ( $n < 3$ ) предпочтительным является первый вариант и, наоборот. При  $n = 1$ , выражение (2) вырождается в (1). Если в выражении (1) пренебречь изменением величины  $X_n$ , т. е. считать  $X_n = const$ , то величина  $L_{\Delta}$  вырождается в масштабное изображение величины ЭП. Отсюда следует, что величины ЭП, КЭП и МКЭП взаимосвязаны на основе т. н. принципа «вложения» и характеризуют состояние неопределенности параметра (или группы параметров) на различных «уровнях сложности». Другая особенность понятий величин энтропийных потенциалов состоит в следующем: чем «выше» уровень состояния неопределенности параметра или группы параметров, тем больше значения величин соответствующих критериев, и, наоборот.

Значения величин  $L_{\Delta}$  и  $L_z$  являются безразмерными, выражаются вещественными числами, что позволяет их использовать в качестве критериев энтропийного подобия состояний неопределенности различных параметров.

### Организация управления состояниями неопределенности на основе понятий энтропийных потенциалов

Теперь, когда состояние неопределенности параметра или группы параметров, на различных уровнях сложности, может быть оценено числовыми характеристиками, математическая формулировка задачи управления может быть сведена к двум основным вариантам.

Первый вариант предусматривает ограничение уровня состояния неопределенности в процессе эксплуатации помещения и может быть сформулирован, в общем виде, следующим образом:

$$L_z \leq L_z(max). \quad (3)$$

В выражении (3) величина  $L_z(max)$  обозначает предельно допустимый уровень состояния неопределенности параметров в помещении. Значение величины  $L_z(max)$  может быть задано технологическими инструкциями по проведению конкретных операций, стандартами предприятий и др. В конкретных частных случаях, в соответствии с вышесказанным, величина МКЭП в (3) может быть также трансформирована в величины КЭП и ЭП.

Второй вариант предусматривает минимизацию уровня состояния неопределенности в процессе эксплуатации помещения и может быть сформулирован также, в общем виде, следующим образом

$$L_z \rightarrow min. \quad (4)$$

По аналогии с (3), в (4) также возможен переход к частным вариантам задачи, основанным на использовании величин КЭП и ЭП.

Идея организации управления предусматривает внесение управляющих воздействий, по соответствующим каналам, в случае нарушения требований (3) или (4). Процедура нахождения решений на основе условий (3) и (4) известна и хорошо проработана в инженерной практике. Методы и технологии получения оценок величин энтропийных потенциалов в различных ситуациях с информационным обеспечением и исходными данными приведены в специальной литературе, например, в [4, 5]. Там же рассмотрены возможные варианты каналов внесения управляющих воздействий в практических условиях и способы их реализации.

В работе изложен подход по решению проблемы обеспечения требуемого уровня состояния неопределенности параметров в рабочих объемах специальных помещений. Предложенные решения основаны на использовании методов и разработок теории энтропийных потенциалов для количественного описания уровней состояний неопределенности различных параметров. Это, в свою очередь, позволило осуществить строгую математическую формулировку задачи управления этими состояниями. Тем самым созданы предпосылки для практического решения такой важной задачи инженерными методами.

Внедрение предложенного подхода позволит повысить качество поддержания климата в специальных помещениях.

#### Список использованных источников

1. Minoli D., Sohraby K., Occhiogrosso B. IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings—Energy Optimization and Next Generation Building Management Systems // IEEE Int. Things J. 2017. №. 4. Pp. 269–283. DOI: 10.1109/IIOT.2017.2647881.
2. Кувшинов Ю.А. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения: научное издание / Ю.А. Кувшинов. – М.: АСВ. 2007. 184 с.
3. Патент №2296356 С1 Российская Федерация, МПК G05B 13/00. Способ контроля и управления динамической системой: №2005124236/09: заявл. 29.07.2005: опубл. 27.03.2007 / В.Л. Лазарев.
4. Лазарев В.Л. Энергоэффективное управление состояниями неопределенности значений параметров в рабочих объемах оборудования // Мягкие измерения и вычисления. 2022. Т. 60. №. 11–2. С. 5–16. DOI 10.36871/2618-9976.2022.11-2.001.
5. Тарасов В.Б., Лазарев В.Л., Горохов В.Л. и др. Мягкие вычисления и измерения. Под редакцией С.В. Прокопчиной. Том 1. – Москва: Издательский дом "Научная библиотека". 2017. 420 с.



УДК 681.5

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА САР ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ СКЛАДА ГСМ

*Фирсов А.Б.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Лазарев В.Л.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: firsovaalexander99@gmail.com, holod25@yandex.ru*

Приведена постановка задачи синтеза системы автоматического регулирования (САР) температуры в помещении склада горюче смазочных материалов (ГСМ) и, более конкретно, авиационного топлива. К подобным объектам предъявляются повышенные требования по точности поддержания температуры во всем рабочем объеме соответствующего помещения.

Приведенный подход к постановке задачи синтеза САР температуры, основанный на использовании теории энтропийных потенциалов, создает предпосылки для ее успешного решения на практике.

### **Ключевые слова**

Хранение ГСМ, поддержание температурного режима, теория энтропийных потенциалов, синтез САР.

Точность поддержания температуры в помещении склада ГСМ является одним из важнейших факторов, обеспечивающих качество топлива. Это особенно актуально для топлива, используемого в авиации.

Основными возмущениями, дестабилизирующими температуру в помещении складов такого типа, являются суточные и сезонные колебания температуры, достигающие нескольких десятков градусов, а также искажения циркуляций потоков воздуха, обусловленные различными производственными ситуациями. Таковыми, например, являются изменения конфигурации и схем расположения бочек с топливом в процессе эксплуатации, открытие и закрытие дверей в помещении при перегрузке топлива и др. В результате возникает разброс значений температуры в различных точках объема и в процессе хранения топлива. Другими словами, возникает состояние неопределенности температурного поля в помещении. Для устранения этого негативного явления предназначается САР температуры. Эффективность работы САР определяется правильностью выбора условий и критериев, положенных в основу ее работы еще на этапе синтеза. Поэтому тема работы является актуальной.

Анализ существующих разработок по данной тематике позволяет сделать вывод, что регулирование температуры по ее значениям в какой-либо одной заранее выбранной точке не будет эффективным из-за значительных размеров помещений, достигающих десятков, а иногда и сотен метров [1]. Поэтому стабилизация температуры в одной точке может сопровождаться значительным разбросом значений в других частях объема помещения склада. Поэтому представляется целесообразным осуществить декомпозицию задачи управления на два основных блока.

В первом блоке должна решаться «классическая» задача регулирования температуры в т. н. характерной точке объема, где формируется требуемый температурный фон. Исходными основными требованиями при синтезе такой системы будут являться следующие.

Требования по обеспечению запаса устойчивости по фазе –  $\Delta\varphi$  и по амплитуде –  $\Delta L$ .

В практических задачах, если нет специальных оговорок, эти требования обычно формулируются в следующем виде

$$\Delta\varphi \geq 30^\circ, \quad (1)$$

$$\Delta L \geq (9 \div 12) \text{ дБ}. \quad (2)$$

Другие группы требований вида (1) и (2) по ограничению длительности переходного процесса, статической ошибке, величине перерегулирования и др.

Предельные значения этих параметров задаются в каждом конкретном случае, исходя из особенностей и специфики эксплуатации объекта (помещения склада ГСМ).

В дополнение к этим основным требованиям также могут налагаться требования по виду потребляемой энергии (электрическая, пневматическая), ограничения по потребляемой мощности и др.

В настоящее время методы решения таких задач достаточно хорошо отработаны в инженерной практике [2]. С их использованием решаются задачи выбора регуляторов, определения их настроечных параметров, расчета корректирующих звеньев и др.

Второй блок предназначен для решения задачи управления состоянием неопределенности температурного поля относительно фонового значения в объеме помещения склада. Здесь имеются свои специфика и проблематика.

Для строгой формулировки такой задачи изначально необходимо выбрать показатель для количественной характеристики состояния неопределенности температурного поля в помещении склада. Существуют различные показатели для характеристики таких явлений. Таковыми, например, являются:

- «размах» выборки наблюдений температуры в анализируемом объеме;
- величина среднего квадратического отклонения (СКО) выборки;
- коэффициент вариации выборки;
- и др.

Каждый из этих показателей по-своему характеризует одну из «граней» рассматриваемого явления, не является обобщающим и объективным. В этом смысле желательно иметь показатель, который бы учитывал и другие важные свойства выборки, например, ее закон распределения.

Результаты анализа существующих разработок в этой области позволяют сделать вывод, что наиболее приемлемым для решения стоящей задачи является понятие энтропийного потенциала (ЭП), введенного в рамках теории энтропийных потенциалов (ТЭП) [3–5]. ЭП –  $\Delta_e$  выражается через важнейшие характеристики рассеяния параметра:  $\sigma$  – величину СКО и  $K_e$  – энтропийный коэффициент, характеризующий «вариативные» свойства его закона распределения в следующем виде

$$\Delta_e = \sigma K_e. \quad (3)$$

Вычисление значений величины ЭП в соответствии с (3) осуществляется на основании выборки результатов измерения температуры в различных точках помещения. Для этого могут быть использованы, как стационарные первичные преобразователи, установленные в заранее выбранных точках, так и технические средства для дистанционного измерения температуры в этих точках. Для упрощения процедуры нахождения оценочных значений величины  $K_e$ , на основании ограниченной выборки результатов измерений, разработаны различные методы вычислений, например метод робастного оценивания и др. Таким образом, имеются все предпосылки для оперативного вычисления значений величины ЭП на практике. Общая тенденция такова, чем больше значение величины ЭП, тем «выше» уровень состояния неопределенности параметра и, наоборот.

Существуют различные каналы для внесения управляющих воздействий по понижению значений величины ЭП. В данном случае одним из эффективных воздействий является включение блока вентиляторов для перемешивания воздуха в помещении. В результате перемешивания воздушных масс разброс значений температур в помещении будет уменьшаться. Специфика эксплуатации помещений склада ГСМ такова, что управление состояниями неопределенности этого параметра целесообразно осуществлять в режиме двухпозиционного регулирования. То есть включение блока вентиляторов в работу необходимо осуществлять при достижении значений величины ЭП некоторого наперед заданного предельно допустимого значения  $\Delta_e(\max)$ , или, другими словами, при выполнении условия

$$\Delta_e \geq \Delta_e(\max). \quad (4)$$

В противном случае вентиляторы выключаются. Значение величины  $\Delta_e(\max)$  задается оператором склада исходя из специфики работы, вида топлива, климатических условий и др.

Очевидно, что реализация блока управления второй задачи не требует значительных материальных затрат на технические средства и программное обеспечение и достаточно просто решается на практике.

Следует отметить, что методы и технологии ТЭП получают все большее распространение для решения задач мониторинга и управления различными объектами в различных сферах [3–6].

В работе осуществлена постановка задачи синтеза САР температуры в помещении склада ГСМ. Определена структура системы, рекомендованы цели и критерии синтеза на отдельных этапах. Показана возможность решения задачи в такой постановке инженерными методами.

#### Список использованных источников

1. Minoli D., Sohraby K., Occhiogrosso B. IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings—Energy Optimization and Next Generation Building Management Systems. *IEEE Int. Things J.* 2017. №. 4. Pp. 269–283. DOI:10.1109/IIOT.2017.2647881.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах / К.А. Пупков, Н.Д. Егупов, И.Г. Владимиров [и др.]. Том 3. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. 2004. 616 с.
3. Патент №2296356 С1 Российская Федерация, МПК G05B 13/00. Способ контроля и управления динамической системой: № 2005124236/09: заявл. 29.07.2005: опубл. 27.03.2007 / В.Л. Лазарев.
4. Лазарев В.Л. Совершенствование управления с использованием характеристик энтропийных потенциалов. Адаптация к специфике биотехнологической промышленности // *Вестник Международной академии холода.* 2016. № 4. С. 68–73. DOI 10.21047/1606-4313-2016-15-4-68-73.
5. Мягкие вычисления и измерения / В.Б. Тарасов, В.Л. Лазарев, В.Л. Горохов [и др.]; под редакцией С.В. Прокопчиной. Том 1. – Москва: Издательский дом "Научная библиотека". 2017. 420 с.
6. Кулаков В.Г., Лазарев В.Л., Федюлин В.А. Энтропийные модели в исследовании социальных систем // *Вопросы статистики.* 2010. №. 10. С. 47–50.

УДК 621.59

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ЗАВОДА  
ПРОЕКТА «САХАЛИН-2»**

*Чубова С.Д.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Баранов А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: chubova\_sd@itmo.ru*

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

---

В работе рассматривается возможность внедрения новой технологии сжижения природного газа на заводе проекта «Сахалин-2» из-за невозможности строительства производственной линии по технологии DMR. Предложен альтернативный четырехкаскадный цикл ожижения газа, использующий в качестве хладагентов чистые вещества, по причине простоты теплофизических расчетов и значительных преимуществ при строительстве и эксплуатации.

**Ключевые слова**

СПГ, сжиженный природный газ, каскадный цикл ожижения, крупнотоннажное производство, DMR.

---

В 2022 году многие иностранные компании-акционеры оставляют свои доли в совместных проектах на территории России. Заграничные компании со своим уходом отзывают своих специалистов и технологии. Компания Royal Dutch Shell – один из акционеров проекта «Сахалин-2», заявила о выходе из проекта в конце февраля 2022 года, приостановив контракты своих сотрудников, а также ограничив доступ к своим информационным системам, тем самым существенно осложнив работу российского предприятия. В июле 2022 г. компания была национализирована и с 19 августа 2022 г. является обществом с ограниченной ответственностью «Сахалинская Энергия».

Несколько лет руководство компании планирует строительство новой, третьей технологической линии сжижения природного газа. Это намного увеличило бы прибыль компании, потому что действующие покупатели СПГ заинтересованы в дополнительных поставках, но существует ряд проблем, которые не позволяют приступить к реализации проекта. Главным препятствием является отсутствие собственного источника газа у компании, освоенные месторождения не смогут обеспечить объем производства для трех одинаковых линий. С 2019 года в открытых источниках появилась информация о переговорах компании с операторами других нефтегазовых проектов, но положительное решение не было озвучено.

Отсутствие собственной ресурсной базы для новой технологической линии – это не единственная проблема. Трудности могут возникнуть на стадии строительства и дальнейшей эксплуатации проекта, а также с получением права использования лицензии на ожижительный цикл DMR (Dual Mix Refrigerant), который запатентовала компания Shell [1]. «Сахалинская Энергия» изначально применяет данную технологию на двух производственных линиях завода по производству СПГ, так как для субарктического климата о. Сахалин технология хорошо подходит. После ухода Shell из проекта могут возникнуть трудности с ее использованием на новой линии. Если право использования технологии DMR останется, то проблемы могут возникнуть на стадии закупки оборудования. Из-за санкций, наложенных на нефтегазовую отрасль России, приобретение иностранного оборудования возможно только с нарушением прав производителя. В свою очередь, «параллельный импорт» связан с дополнительными

---

материальными затратами и логистическими задержками. Сложности могут возникать с эксплуатацией и ремонтом, так как иностранное оборудование в данном случае не подлежит гарантийному ремонту и обслуживанию компаниями-производителями.

Учитывая аргументы, для нового проекта производственной линии важно рассмотреть возможность разработки альтернативного цикла ожижения. Предлагается использовать принципиально другую схему ожижения газа. Каскадный цикл, работающий с использованием четырех рабочих веществ: пропан, этан, метан, азот. Цикл имеет ряд важных преимуществ. Теплофизические свойства чистых веществ хорошо изучены, что делает термодинамические расчеты предсказуемыми и относительно простыми. Каскадный цикл имеет широкий диапазон производительности, что позволяет технологической линии работать даже при 10% номинальной нагрузки. Важным является и то, что новый цикл обеспечивает большую гибкость технического обслуживания по сравнению с циклом DMR, так как его строительство возможно на основе отечественного оборудования [2, 3].

На рисунке представлен новый цикл ожижения газа для завода проекта «Сахалин-2». Газ поступает после очистки и осушки на сжижение при средней температуре  $10^{\circ}\text{C}$  и давлении 59 бар (5870 кПа) и сразу поступает в первый теплообменный аппарат Т1 на предварительное охлаждение метаном. После прохождения теплообменника температура газа опускается до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Далее поток газа направляется во второй теплообменный аппарат Т2, где охлаждается с помощью этана до температуры  $-85^{\circ}\text{C}$ . После этановой ступени охлаждения газ поступает на фракционирование, где выделяются метан, этан, пропан и бутан. Для данного проекта блок фракционирования было решено разместить в зоне значительного понижения температуры газа, чтобы добиться высокой чистоты метана в производимом продукте. Из верхней части колонны 1 выходит газ с чистотой метана практически 99% при температуре  $-95,7^{\circ}\text{C}$ .

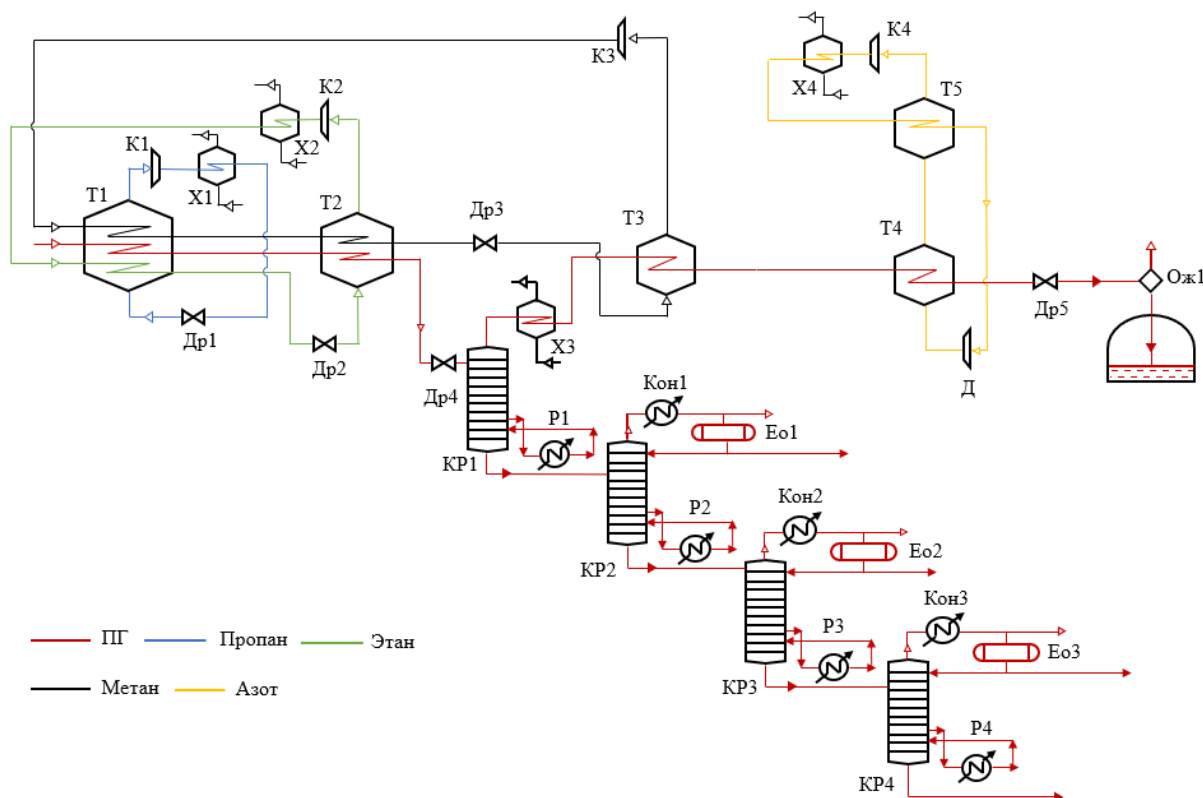


Рисунок. Четырехкаскадный цикл ожижения природного газа

Поток метана, выделенный из природного газа, поступает в теплообменный аппарат Т3, где охлаждается до температуры  $-134^{\circ}\text{C}$  с помощью метана. В конечном теплообменнике Т4 газ охлаждается до температуры  $-160^{\circ}\text{C}$  при давлении около 20 бар, но хранится СПГ при давлении близком к атмосферному, поэтому решено было поставить дроссельный вентиль перед тем, как СПГ отправится на хранение.

Использование в качестве хладагентов чистых веществ является достоинством и обеспечивает простоту реализации цикла. Все компоненты легкодоступны и содержатся в природном газе в достаточном количестве, чтобы обеспечить работу цикла. Проект имеет большую значимость для развития СПГ отрасли в России и непосредственно для компании «Сахалинская Энергия». Газовые российские проекты практически не работают на отечественных технологиях, поэтому данная работа своевременна и актуальна.

#### **Список использованных источников**

1. Фёдорова В.А. Роль СПГ в экспортной стратегии России // *Neftegaz.ru*. 2019. №. 10. С. 98–104.
2. 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. С. 1–8.
3. Изотов Н.И. Сжиженный природный газ. Технологии и оборудование / Под ред. Одишария Г.Э. – М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2013. 306 с.

УДК 53.59

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИФФУЗИИ ГАЗОВ В ЖИДКОСТИ

Шанин В.А.<sup>1</sup> (аспирант), Звягинцев Д.Д.<sup>1</sup> (аспирант), Яшин С.Р.<sup>1</sup> (студент)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Новоселов А.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: shanin.vyacheslav@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №622271 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов молекулярного переноса импульса, тепловой энергии и массы в биологических многокомпонентных средах»

---

Статья посвящена разработке лабораторного метода определения коэффициента молекулярной диффузии газов в жидкости. Был проведен анализ существующих традиционных и современных методик определения коэффициентов стационарной и нестационарной диффузии. Наиболее подходящим прототипом для разрабатываемой методики стал метод насыщения газовой фазой по изменению давления газа. На основании прототипа лабораторной установки была разработана собственная схема лабораторного стенда для изучения коэффициента диффузии, а также подробно описана методика проведения эксперимента.

### Ключевые слова

Коэффициент молекулярной диффузии, стационарная, нестационарная диффузия, массообмен, диффузионная ячейка.

---

В физических и химических процессах скорость массообмена определяется конвекцией, турбулентностью потока и молекулярной диффузией.

В таких технологических процессах как консервирование, осмос, дистилляция, экстракция, кристаллизация, брожение и многих других явление диффузии играет большую роль. Так, например питание дрожжей основано на механизмах диффузии. Или же экстрагирование сахара из свекольной стружки происходит в диффузионном аппарате [1].

Ключевым параметром для подобных процессов, является скорость массопереноса, которая определяется значением коэффициента диффузии  $D_{AB}$ .

Точное понимание того, как и из-за чего изменяется значение  $D_{AB}$ , позволяет существенно оптимизировать процессы основанные на механизме диффузии. Проведение исследований в данной области осуществляется на экспериментальных установках по определению коэффициента диффузии [2].

К настоящему времени разработано множество методов для определения коэффициентов молекулярной диффузии растворенных газов в жидкостях и способов их реализации. Многие из этих методов являются интрузивными и непосредственно оказывают нежелательное влияние на результаты измерений. Другим частым недостатком является очень долгая продолжительность эксперимента и высокая стоимость реализации.

Для определения наиболее подходящего метода рассмотрим некоторые из них подробнее:

**Метод ламинарной цилиндрической струи.** Данный метод является самым распространенным в своей группе и дает достаточно точные значения  $D_{AB}$ .

Метод ламинарной струи прост как в конструктивном исполнении, так и в проведении эксперимента. Время опыта относительно мало, что исключает адсорбцию поверхностно-активных веществ поверхностью жидкостной струи [1].

К недостаткам этого метода можно отнести то, что требуется относительно большое количество жидкости для проведения эксперимента, а также необходимость знать равновесную

---

концентрацию. Если эти данные отсутствуют, то требуются дополнительные исследования по растворимости для данной газожидкостной системы.

Капиллярная ячейка Стефана. Принцип измерения коэффициента диффузии методом Стефана: капиллярная трубка  $l$  погружена одним концом в исследуемую жидкость 2. С другого конца трубку заполняют исследуемым газом. Жидкость под действием капиллярного эффекта образует столбик высотой  $l$ .

Вследствие диффузии газ начинает растворяться в жидкой фазе, а столбик жидкости подниматься.

Коэффициент диффузии можно рассчитать, зная объем капилляра и длину перемещения  $\Delta l$  столбика жидкости:

$$D_{AB} = \frac{\pi V^2}{4(C^*)^2 F^2 \tau} \quad (1)$$

### Достоинства

- стационарный процесс диффузии газа в жидкости, находящейся в капилляре, несложен;
- исключает конвекцию в жидкости.

### Недостатки

- необходимость точных замеров диаметра капилляра по длине и допущение о неподвижности границ диффузионного потока усложняют относительно простые расчеты и проведение эксперимента;
- искривленная межфазная поверхность;
- большая продолжительность эксперимента.

Определение коэффициента диффузии при помощи электрохимического датчика и ячейки Хеле-Шоу [3]. Экспериментальная установка состоит из прозрачной ячейки Хеле-Шоу и оптической системы. Ячейка Хеле-Шоу (1) представляет из себя емкость с габаритами 12x5x0.2 см и имеющую входное, выходное отверстие (2) для подачи газа, а также отверстие для размещения электрохимического датчика (OX100 Needle Sensor 0.80 × 40 мм, Unisense). (3). Для того, чтобы избежать влияние датчика на процесс диффузии, его необходимо расположить очень близко к границе раздела фаз (примерно 1 мм между кончиком зонда и границей раздела фаз). Измерения датчиком должны проводиться в удалении от стенок емкости. Камера (5) используется для измерения расстояния от датчика до границы раздела фаз.

В начале эксперимента емкость равномерно до определенного уровня заполняют водой (деионизированной) (10 мл), которую подвергают процессу деаэрации. Затем подают кислород (10 л/ч) вследствие чего он начинает диффундировать в воде. В момент времени подачи кислорода электрохимический датчик начинает каждую секунду проводить измерения концентрации кислорода в воде. В течение всего эксперимента поддерживается постоянная температура 20°C.

Несмотря на полученный хороший результат, погрешность выведенной величины составляет 15%. Для повышения точности измерений можно увеличить количество датчиков.

### Достоинства

- простая конструкция;
- относительная дешевизна;
- не нуждается в калибровке;
- длительность эксперимента составляет от 5 до 10 мин.

### Недостатки

- большая погрешность 15%;
- интрузивный метод.

Метод насыщения газовой фазой по изменению давления газа. Принцип измерения заключается в следующем:

В герметичный сосуд помещают исследуемую жидкость. Далее диффузионную ячейку термостатируют и вакуумируют. После термостатирования в диффузионную ячейку запускают



исследуемый газ. В результате процесса диффузии газа в жидкость давление в ячейке будет уменьшаться. Изменение давления фиксируется манометром (рис. 1).

Таким образом, для определения коэффициента диффузии снимаются кривые изменения давления от времени для различных начальных давлений диффундирующего газа.

Получив данные об изменении давления газа  $\Delta P$  во времени  $t$ , можно судить о его скорости растворения в жидкости, которая полностью зависит от коэффициента диффузии  $D$ . Рассчитав скорость изменения  $\Delta P$  можно получить значение коэффициента диффузии  $D$ .

Процесс измерения изменения давления занимает продолжительное время от 10 до 30 часов. В процессе эксперимента важно следить за сохранением температурного режима.

#### Достоинства

- Простота конструкции, надежность;
- Относительная дешевизна;
- Погрешность составляет менее 5%;
- Метод насыщения жидкости из газовой фазы не требует сложных вычислений и сводится к задаче точного измерения изменения давления;
- Не требует калибровки.

#### Недостатки

- Большая продолжительность эксперимента (10–30 часов).

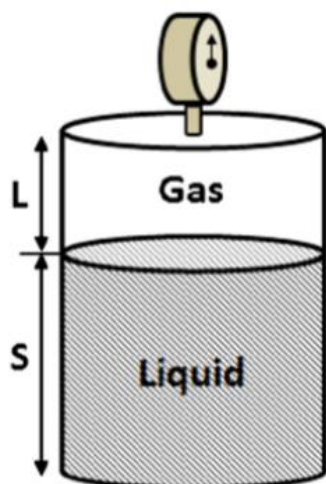


Рис. 1. Схематичное изображение диффузионной ячейки

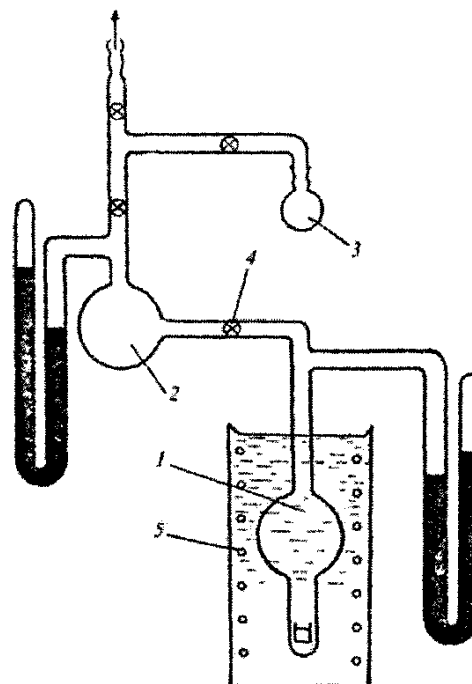


Рис. 2. Схема установки по методу насыщения из газовой фазы

Известна следующая реализация, изображенная на рисунке 2 методика насыщения из газовой фазы по изменению давления, разработанная Багровым и др. [10].

Ампула с растворителем запаивается в отросток колбы 1, после чего воздух из колбы откачивается. Для того, чтобы точно фиксировать начало опыта, диффундирующее вещество испаряется в откачанный объем 2 из вспомогательной ампулы 3. Это позволяет за короткое время заполнить объем колбы 1 паром при помощи крана 4. Давление пара измеряется ртутным пьезометром с использованием катетометра. Начальное давление выбирается таким, чтобы изменение концентрации не превышало 2–4%. Рабочий объем колбы (1 л) и растворитель термостатируются при помощи теплообменника 5. Температура поддерживается с точностью 0,1°C.

Разрабатываемая установка призвана улучшить конструкцию Багрова следующими нововведениями:

- 1) материал изготовления изменить со стекла на сталь – это повысит надежность, удобство, увеличит максимально допустимое давление, при котором можно проводить эксперимент;
- 2) стальная конструкция ячейки со съемной крышкой – позволит исключить необходимость проведения операции запаивания ампулы;
- 3) внедрение в конструкцию «рабочей» и «эталонной» емкостей. Благодаря этим емкостям можно записывать данные об относительной разности давлений между ними, вместо фиксирования данных о падении давления только в диффузионной ячейке. Это позволяет не учитывать возможные небольшие колебания температуры и изменения окружающей среды;
- 4) автоматизация процессов подачи газа, термостатирования, вакуумирования, записи и обработки данных.

Предлагаемая конструкция установки состоит из:

1. Диффузионная ячейка.
2. Термостатирующее оборудование.
3. Рабочая емкость.
4. Эталонная емкость.
5. Баллон с исследуемым газом.
6. Вакуумный насос.
7. Компьютерное оборудование для обработки экспериментальных данных.
8. Трубы и клапаны.
9. Манометры.
10. Температурные датчики.

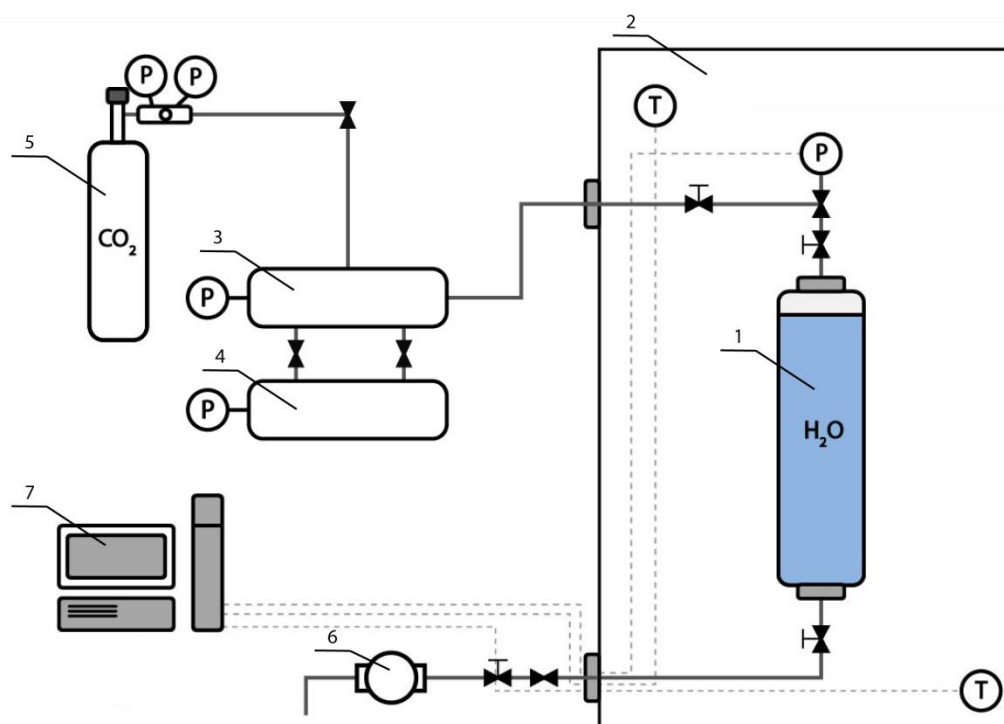


Рис. 3. Схема экспериментальной установки по определению коэффициента диффузии



Рис. 4. Внешний вид экспериментальной установки

Методика проведения эксперимента:

1. Вакуумирование с помощью насоса 8.0. Необходимо удалить все посторонние газы, не участвующие в эксперименте.
2. Наполнение диффузионной ячейки 1.0 исследуемой жидкостью – дистиллированная вода 100 мл.
3. Наполнение рабочей 5.0 и эталонной 9.0 емкости исследуемым газом – CO<sub>2</sub>. По достижению целевого давления, подача газа прекращается. Клапан 9.3, соединяющий рабочую и калибровочную емкость открыт.
4. Для достижения целевой температуры проводится термостатирование системы в течение 2 часов. Для этого необходимо включить термостат в режиме «внутренней» и «внешней» прокачки (п. 2.0). При этом вентили (п. 7.2, 9.3, 9.2, 1.1) – закрыты. Вентили (п. 9.1, 8.1, 5.2) – открыты. При ТПО (температура проведения опыта) ниже температуры помещения включить компрессор холодильной машины (п. 10.0).
5. После достижения целевой температуры клапан 9.3, соединяющий рабочую и калибровочную емкость, закрывается. Для поддержания температуры термостатирование продолжается весь эксперимент.
6. Клапан 1.1, соединяющий рабочую емкость и диффузионную ячейку, открывается. Начинается процесс диффузии.
7. С течением времени газ будет растворяться в жидкости, а давление в рабочей емкости 5.0 падать.
8. Ежесекундно записываются данные о температуре и давлении в диффузионной ячейке 1.0 и эталонной емкости 5.0. Объем диффундирующего газа совпадает с объемом газа в эталонной емкости. Наличие эталонной емкости, кол-во газа в которой остается постоянным, дает возможность ежесекундно записывать данные о разности давлений в рабочей и эталонной емкостях. Это позволяет не учитывать возможные колебания температуры и изменения окружающей среды.

В результате проделанной работы был проведен анализ актуальных экспериментальных способов определения коэффициента диффузии.

Для реализации был выбран метод насыщения из газовой фазы по изменению давления. По данному методу была спроектирована экспериментальная установка для определения коэффициента диффузии в системе газ-жидкость и разработана методика проведения

эксперимента. В дальнейшем планируется апробация установки и разработанной методики, подбор методов обработки данных и возможная доработка конструкции для обеспечения точности измерений.

#### **Список использованных источников**

1. Новоселов А.Г., Тишин В. Б., Дужий А.Б. Справочник по молекулярной диффузии в системах газ – жидкость и жидкость – жидкость. В кн.: Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч.II. – СПб: НПО «Профессионал». 2006. 916 с.
2. Baldauf W., Knapp H. Measurement of diffusivities in liquids by the dispersion method // Chem. Eng. Sci. 1983. V. 38. №. 7. Pp. 1031–1037.
3. Pratt K.C., Slater D.H., Wakeham W.A. A rapid method for the determination of diffusion coefficients of gases in liquids // Chem. Eng. Sci. 1973. V. 28. Pp. 1901–1903.
4. Лобанов М.Л. Методы определения коэффициентов диффузии: учеб. пособие / М.Л. Лобанов, М.А. Зорина. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2017. 100 с.
5. Crank J. The mathematics of diffusion. – Oxford university press. 1979. 414 p.
6. Dietrich N., Francois J., Jimenez M., Cockx A., Guiraud P., Hébrard G. Fast Measurements of the Gas-Liquid Diffusion Coefficient in the Gaussian Wake of a Spherical Bubble. Chem. Eng. Technol. 2015. №. 38. Pp. 941–946.
7. Francois J. et al. Direct measurement of mass transfer around a single bubble by micro-PLIFI // Chemical engineering science. 2011. T. 66. №. 14. С. 3328–3338.

УДК 535.233

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В СИСТЕМАХ РАДИАЦИОННОГО ОТОПЛЕНИЯ

*Шейн В.М.<sup>1</sup> (аспирант), Никитин А.А.<sup>1</sup>, Кривошеев В.Е.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Никитин А.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>Самарский государственный технический университет

*e-mail: vmshein@itmo.ru*

---

В данном научном труде исследуется принципиально новая методика расчета угловых коэффициентов теплообмена излучением. Получены зависимости характеристики, которые позволяют в значительной степени упростить расчет угловых коэффициентов, повысить эффективность радиационного отопления за счет правильного подбора оборудования и его расположении в помещении.

Ключевые слова: теплообмен, излучение, угловые коэффициенты, микроклимат, комфорт.

### **Ключевые слова**

Теплообмен, излучение, угловые коэффициенты, микроклимат, комфорт.

---

Исследуя и моделируя процессы радиационного теплообмена важно понимать каким образом излучение испускается исследуемой теплообменной поверхностью и каким образом происходит поглощение испущенной энергии другими поверхностями. В литературе есть множество исследований, посвященных вопросам степени черноты тела, пропускной способности среды, отражения и поглощения [1, 2]. И совсем небольшое количество материалов посвященных вопросам методам расчета угловых коэффициентов. Существующие методы для определения угловых коэффициентов излучения в помещении сложны, представляют большую сложность в их воспроизведении на практике. Прежде чем перейти к методикам расчета, необходимо ввести понятие углового коэффициента и рассмотреть их основные виды: элементарный, локальный, средний.

Элементарный угловой коэффициент излучения применяется для расчетов радиационного теплообмена между двумя бесконечно маленькими участками, которые принадлежат некоторым поверхностям  $F_1$  и  $F_2$ . Элементарный угловой коэффициент показывает долю теплового потока, упавшего на участок  $f_2$ , ко всему излученному потоку с площадки  $f_1$  в пределах полусферы [3, 4].

Локальный угловой коэффициент применяется для расчетов радиационного теплообмена между элементарными участками  $f_1$  и  $f_2$  которые принадлежат некоторой поверхности  $F_1$ , и поверхностью  $F_2$ . Другими словами локальный угловой коэффициент характеризует долю теплоты, которая падает на всю поверхность  $F_2$  с площадки  $f_1$  [1, 4].

Средний угловой коэффициент применяется для расчетов радиационного теплообмена между поверхностями конечных размеров  $F_1$  и  $F_2$ . Значение такого коэффициента характеризует долю теплового потока, упавшего на поверхность  $F_1$  к тепловому потоку, который был излучен всей поверхностью  $F_2$ . Таким образом, можно заключить, что интенсивность теплообмена будет зависеть от габаритных размеров, расположения объектов друг относительно друга, и важное условие что объекты должны быть таким образом, чтобы их поверхности были обращены друг на друга. Как и элементарные, локальные и средние угловые коэффициенты излучения не имеют размерности и по абсолютной величине изменяются от 0 до 1.

В системах радиационного отопления угловой коэффициент будет являться главной искомой величиной. Методики расчета угловых коэффициентов можно условно разделить на аналитические, графоаналитические, численные. Но их применение в практических расчетах,

---

как уже отмечалось ранее, затруднительно. Основная цель данной работы состоит в создании принципиально новой методики расчета угловых коэффициентов, получение выражения, которое бы в значительной степени упростило бы расчет и проектирование систем радиационного отопления. Используя известное выражение для расчета угловых коэффициентов (1), и проведя математические преобразования с учетом геометрических зависимостей и законов получаем итоговое выражения для расчета среднего углового коэффициента (2) с излучателя на пол.

$$dF_{dx-dy} = \frac{1}{2} * \frac{\cos \alpha * \cos \alpha}{s} dy, \quad (1)$$

$$dF_{\text{изл-пол}} = -\frac{1}{2} \frac{\frac{x-y}{h}}{\left(1 + \left(\frac{x-y}{h}\right)^2\right)^{1/2}} + \frac{\frac{x-y}{h}}{\left(1 + \left(\frac{x-y}{h}\right)^2\right)^{1/2}}, \quad (2)$$

где  $h$  – высота помещения, м;

$x$  - расстояния от стены до излучателя, м;

$y$  – расстояние от излучателя до облучаемой поверхности, м.

Для моделирования и дальнейших расчетов использовался программный продукт MS Excel. Результаты представлены на рисунках 1, 2, 3.

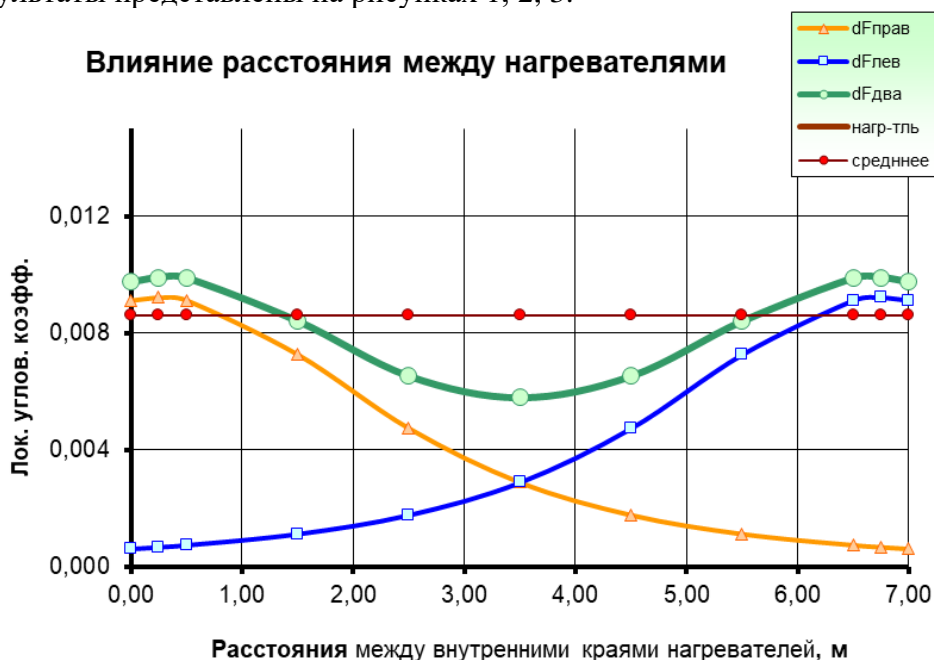


Рис. 1. Влияние расстояния между нагревателями

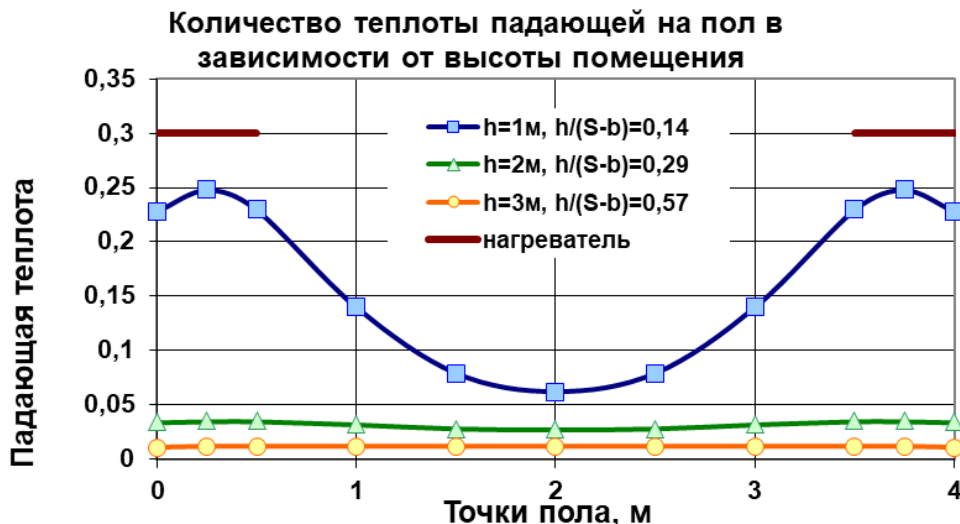


Рис. 2. Количество теплоты, падающей на пол в зависимости от высоты помещения

Полученные результаты позволили оценить влияние расстояния между излучателями на облучение точки на полу. Выявлено, что с увеличением высоты от 1 до 3 метров ведет к тому, что количество теплоты, приходящее на точку пола, уменьшается в 5 раз, но приводит к устранению перегиба графика излучения. Следовательно, необходимо исследовать методы интенсификации, которые позволили бы без существенных потерь теплоты на пол, в зависимости от высоты подвеса излучателя, получить равномерно разогретые объекты, находящиеся на плоскости пола (устранение перегиба графика). В рамках дальнейшей работы будут исследованы покрытия, имеющие высокую степень черноты (для обеспечения высокой излучательной способности), и представлены оптимальные расстояния от стены до излучателя и между излучателями для обеспечения равномерности прогрета и повышения эффективности системы радиационного теплоснабжения.

#### **Список использованных источников**

1. Бодров В.И., Бодров М.В., Смыков А.А. Исследование Систем лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. 2019. №. 3(51). С. 52–57.
2. 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. 3–4. DOI: 10.17586/1606–4313-2019-18-3-3-14.
3. Hongli S., Mengfan D., Yifan W., Borong L., Zixu Y., Haitian Z. Thermal performance investigation of a novel heating terminal integrated with flat heat pipe and heat transfer enhancement // Energy. 2021. №. 236. P. 121411. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121411.
4. Minzhi Y., Serageldin A.A., Radwan A.M., Hideki S., Katsunori N. Thermal performance of ceiling radiant cooling panel with a segmented and concave surface // Laboratory analysis. Applied Thermal Engineering. 2021. №. 196. P. 117280. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117280.

## **Современные исследования биотехнологий**



УДК 57.017

## РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИЩЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА С АНТИОКСИДАНТНЫМИ И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

*Александрова И.В.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Бараненко Д.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: alexandrova.iv98@gmail.com, denis.baranenko@itmo.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620145 «Роль биологически активных веществ природного происхождения в развитии и нутритивной профилактике неинфекционных заболеваний»*

---

В статье рассматриваются возможности и преимущества использования конкретных биологически активных веществ из растительного сырья – *Vaccinium oxycoccos* L. и *Vitis vinifera*. Описаны свойства основных активных компонентов – кверцетина и ресвератрола, выполнен анализ исследований, проведенных российскими и зарубежными учеными. Предложены решения по улучшению биодоступности биологически активных веществ и перспектива их использования при создании функционального пищевого ингредиента для поддержания активного долголетия.

### **Ключевые слова**

Биологически активные вещества, ресвератрол, кверцетин, клеточное старение, антиоксидантные соединения, активные формы кислорода.

---

Растения являются богатым источником разнообразных по структуре химических соединений, представляющих собой большой интерес в разработке фармацевтических и пищевых ингредиентов. У компонентов растительного происхождения, в особенности у вторичных соединений присутствует ряд преимуществ, а именно: широкий спектр действия, высокий уровень растворимости, активное участие в реакциях обмена, способствование лучшему проникновению в клетки организма.

Преобладающими и часто исследуемыми соединениями у растения являются фенольные соединения. Данная группа вторичных метаболитов в растениях имеет большое значение из-за их встречаемости и их фармакологических свойств. Эти соединения демонстрируют большое разнообразие структур от простых молекул (например, фенольных кислот) до полифенолов (стильбенов, флавоноидов и производных полимеров) [1, 2].

Также фенольные соединения обладают рядом ценнейших функций: могут модулировать многочисленные сигнальные пути, напрямую связанные с делением клеток, остановкой клеточного цикла, аутофагией и апоптозом, а главное с воспалением, что показано на многочисленных клеточных линиях [2], и хорошо поглощают АФК (активные формы кислорода).

Активные формы кислорода образуются в результате различных эндогенных и экзогенных процессов; однако они нейтрализуются ферментативными и неферментативными антиоксидантами. Дисбаланс между образованием и нейтрализацией окислителей приводит к прогрессированию окислительного стресса (ОС), который, в свою очередь, приводит к различным заболеваниям, расстройствам и старению. Аналогичным образом, избыточное образование гидроксильных радикалов и пероксинитрила приводит к перекисному окислению липидов и это повреждает клеточную мембрану и липопротеины, что в свою очередь, приводит к образованию цитотоксическим и мутагенным соединениям. Из-за перекисного повреждения подвергаются воздействию некоторые белки, претерпевая при этом структурные изменения, которые могут указывать на потерю или нарушение их соответствующей ферментативной активности.

---

Длительный окислительный стресс неминуемо вызывает повреждения в ДНК и потерю эпигенетической информации; наиболее распространенным пораженным основанием являются гуаниновые основания в ДНК, образуя 8-гидроксидезоксигуанозин (8-OHdG). Молекула 8-OHdG рассматривается как предмутагенное повреждение, которое связываясь с аденином, что впоследствии влечет ряд изменений, такие как одноцепочечные разрывы, нарушение репликации теломерной ДНК, ускоренное укорочение теломер. При этом повреждение ДНК-механизмов восстановления приводит к изменениям клеточной физиологии, старению или апоптозу.

Клеточное старение, повреждение теломер или их сокращение, даже без окислительного повреждения, происходит неизбежно с каждым митотическим циклом. Однако в процессе старения именно окислительный стресс является основным фактором [2].

Изучая роль активных форм кислорода и эффективности их поглощения, выявлено, что полифенолы, являются особенно хорошими поглотителями АФК и чаще всего используются в профилактике ряда заболеваний и поддержании нормальной клеточной активности. Фенольные соединения могут модулировать множественные сигнальные пути, связанные с делением клеток, остановкой цикла, аутофагией, апоптозом и воспалениями.

В настоящее время основные исследуемые полифенолы растительного происхождения – ресвератрол и кверцетин, обладающие антиоксидантными, противовоспалительными и противоопухолевыми свойствами.

Ресвератрол или (3,5,4'-тригидрокси-транс-стильбен) представляет собой природный полифенол с молекулярной массой 228,2 г/моль, который присутствует в различных растениях, таких как виноград, какао, клубника, помидоры, арахис, хмель, клюква и сахарный тростник. Различные исследовательские проекты установили, что именно виноград, виноградные косточки и вино содержат максимальное количество природного ресвератрола и оказывают укрепляющими здоровье посредством противовоспалительного, иммуностимулирующего и нейропротекторного действия.

В последних исследованиях при изучении состава фитохимических веществ, соединений с биологической активностью и летучих соединений шести сортов столового винограда (*Vitis vinifera* L.), сообщилось, что содержание *транс*-ресвератрола, варьируется от 0,5 мг/кг свежего веса (FW) до 7,6 мг/кг (FW) [3]. Из-за максимального содержания ресвератрола в винограде и красном вине эти продукты включены в различные диеты (в частности, средиземноморская диета), которые способствуют поддержанию здорового образа жизни, а также влияют напрямую на снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний, рака и многофакторных хронических заболеваний. Благодаря плоской стильбеновой структуре, ресвератрол обладает гидрофобными характеристиками. Помимо этого, ресвератрол является низкомолекулярным лигандом или регулятором прямых белковых взаимодействий из-за связи с гидрофобными доменами молекул у конкретного белка-мишени. На сегодняшний день установлено, что примерно 20 белков (в особенности, SIRT1 и белки, связанные с ядерным фактором Nrf2) взаимодействуют с ресвератролом. Однако механизм, лежащий в основе его защитных свойств, до конца не изучен. Другие известные действия ресвератрола – это возможность включать уменьшение окислительного повреждения, действуя как антиоксидант; уменьшение нейровоспаления путем ингибирования провоспалительного пути NFκB; ацетилирование проапоптотического фактора p53; улучшение функции митохондрий за счет активации PGC-1α.

Кверцетин – это природный флавоноид, который содержится почти во всех съедобных овощах и фруктах. Является преобладающим флавонолом, присутствующим в ягодных культурах, в особенности, с высоким уровнем содержания в ягодах черники (*V. myrtillus*) (1,28 мг/100 г fw), в ягодах европейской клюквы (*V. oxycoccos*) от (0,52 мг/100 г fw) до (8,3–12,1 мг/100 г) и в бруснике (*V. vitis-idae*) (15,8 или 7,4–14,6 мг/100 г fw). Максимальная концентрация кверцетина, оцененная [4] в этанольном экстракте плодов европейской клюквы (*V. oxycoccos*), может достигать 15,4 мг/100 г, что соответствует суточной дозе кверцетина в западной диете (15 мг) [5]. Кверцетин также можно принимать в качестве пищевой добавки с ежедневными рекомендуемыми дозами 200–1200 мг, а также в качестве нутрицевтика через функциональные продукты с концентрацией 10–125 мг на порцию.

Несмотря на широкий спектр биологически активных веществ и высокое содержание полифенольных соединений (то есть флавоноидов, антоцианов и фенольных кислот), европейская клюква (*Vaccinium oxycoccos*) все еще недостаточно используется и исследуется. Например, противовоспалительные свойства плодов клюквы объясняются высоким уровнем кверцетина, который снижает выработку цитокинов в макрофагах, снижает экспрессию мРНК СОХ-2 и ингибирует активацию TNF- $\alpha$ -зависимого NF-*Kb*. Установлено, что полифенолы в клюкве снижают уровень АФК, снижают концентрацию воспалительных цитокинов и ингибируют активацию тромбоцитов. Помимо этого, кверцетин способствует ингибированию активности полимеразы, обратной транскриптазы, протеазы, ДНК-гиразы и возможности связывается с вирусными капсидными белками [4].

Однако, биодоступность кверцетина, определяемая как часть первоначально введенной дозы, которая попадает в системный кровоток в неизменном виде, очень низкая, в основном из-за его интенсивного метаболизма. Кверцетин, как и ресвератрол, обладает низкой растворимостью в воде (<0,05 мг/мл) и более высокой растворимостью в полярных органических растворителях (2 мг/мл в этаноле), что усложняет его использования при создании пищевой добавки [5]. На сегодняшний день проводятся исследования инновационных подходов для улучшения биодоступности обоих компонентов с использованием липосом, наноносителей липидов, нанокристаллов, мицелл, наноэмульсий, твердых дисперсий, полимерных частиц и получение синтетических производных, имеющих заместители – гидроксильные группы, метоксильные или галогены. *Исследования in vitro* и *in vivo* показали, что наноструктурированные эмульсии с ресвератролом и кверцетином, разработанные с использованием различных видов и количества масляных фаз и поверхностно-активных веществ (капроил-90 и изопропилмириститат), повышают трансдермальную биодоступность обоих компонентов.

Совокупные транскрипционные эффекты ресвератрола и кверцетина предполагают интересные антивозрастные свойства, которые могут быть использованы внутрицевических антивозрастных препаратах и исследовании клеточного старения. Это подчеркивает важность исследований по профилактике возрастных заболеваний, чтобы удовлетворительно уменьшить медицинские, экономические и социальные проблемы, используя компоненты отечественного сырья.

Данный обзор показал, что необходимы дальнейшие исследования кверцетина и ресвератрола, как биологически активных компонентов, используемых для создания функциональных пищевых ингредиентов для обеспечения активного долголетия. Необходимы дальнейшие исследования, раскрывающие механизмы взаимодействия данных компонентов, проведение экспериментов для повышения их биодоступности и изучения комбинированного влияния на множественные сигнальные пути, связанные с делением клеток и клеточным старением.

#### Список использованных источников

1. Tanase C., Cosarca S., Muntean D.-L. A critical review of phenolic compounds extracted from the bark of woody vascular plants and their potential biological activity // *Molecules*. 2019. №. 24(6). Pp. 1182.
2. Benzie I.F., Wachtel-Galor S. Herbal medicine: biomolecular and clinical aspects // Taylor & Francis Group, LLC. 2011. Pp. 82–94.
3. Sharifi-Rad J. et al. Resveratrol'biotechnological applications: enlightening its antimicrobial and antioxidant properties // *Journal of Herbal Medicine*. 2022. Vol. 32. Pp. 100550.
4. Jurikova T., Skrovankova S., Mlcek J., Balla S., Snopek. Bioactive compounds, antioxidant activity, and biological effects of European cranberry (*Vaccinium oxycoccos*) // *Molecules*. 2018. №. 24(1). Pp. 24.
5. Sharifi-Rad J., Quispe C., Durazzo A., Lucarini M., Souto E.B., Santini A., Cruz-Martins N. Resveratrol'biotechnological applications: Enlightening its antimicrobial and antioxidant properties // *Journal of Herbal Medicine*. 2022. Pp.100550.

УДК 664.292

## СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПЕКТИНА ИЗ ЯБЛОК

*Аль-Ясари А.Х.<sup>1</sup> (аспирант), Алхатиб Р.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: arkanhadi888@gmail.com, reemhalkhateeb11@gmail.com, barakova@itmo.ru*

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

---

Рассмотрены свойства и технологии получения пектина из растительного сырья, яблочных выжимок. Для получения пектинов со структурообразующими свойствами необходима технология получения высокоэтерифицированного пектина, пектина с высокой молекулярной массой. Интенсификация технологии извлечения пектина приводит к снижению молекулярной массы пектина, то есть получение пектина с низкой молекулярной массой. Такой пектин обладает комплексообразующими свойствами.

### **Ключевые слова**

Пектин, высокоэтерифицированный пектин, низкоэтерифицированный пектин, яблочные выжимки, способы извлечения пектина.

---

Пектин является важным полисахаридом и применяется в пищевой, фармацевтической и косметологической промышленности, в медицине. Пектин обладает желирующими и комплексообразующими свойствами [1], способностью пролонгировать действие лекарственных препаратов или служить оболочкой для микрокапсул [2].

Значение пектина для пищевой промышленности заключается в его способности образовывать гель в присутствии ионов кальция и в сырье с высоким содержанием сахара и кислоты. В кондитерском производстве пектин применяется при производстве зефира, мармелада, конфет, в молочной промышленности – при производстве йогуртов, в масложировой – при производстве майонезов, жидких маргаринов, в консервной промышленности – при производстве конфитюров и джемов [3].

Перспективно применение пектина при производстве лечебно-профилактических продуктов питания. Пектин лечебно-профилактического применения отличается от пектина, применяемого в пищевой промышленности для производства мармеладов, конфет, напитков.

В процессе усвоения пищи пектин превращается в полигалактуроновую кислоту, которая соединяется с радионуклидами и токсичными тяжелыми металлами, образуя нерастворимые соли, не всасывающиеся через слизистую желудочно-кишечного тракта, и которые затем выводятся из организма с калом. Пектин способен в течение 1–3 часов связывать стронций, цезий, цирконий, рутений, иттрий, ионы свинца, лантана, ниобия и эвакуировать из организма до половины этих элементов. Пектин хорошо повышает радиоустойчивость организма. Таким образом, пектины могут быть отнесены к одним из важнейших компонентов профилактического и лечебного питания. Профилактическая доза пектина для здоровых людей – 2 г в день, лечебно-профилактическая – 4 г в день, лечебная – 8 г в день.

На комплексообразующие способности пектина влияют виды растительного сырья, условия гидролиза-экстрагирования пектина, рН среды, природа металла, с чем пектин образует комплексы. Соотношение в сырье содержания водорастворимого пектина и протопектина влияет на комплексообразующие свойства пектина. Чтобы пектин обладал комплексообразующими свойствами, нужно, чтобы он был низкоэтерифицированным.

---

Пектин присутствует в клеточных стенках большинства растений, но яблочные выжимки и апельсиновая корка являются двумя основными источниками коммерческого пектина. Свекловичный жмых также является источником пектина, но уступает в конкуренции с яблочным и цитрусовым пектином. Трудно из свекловичного жома получить пектин с высокой молекулярной массой и, следовательно, получить хорошее качество геля. Недостатком пектина из свекловичного жома является низкая степень этерификации, высокое содержание нейтральных сахаров, низкое содержание галактуроновой кислоты, наличие ацетильных групп, которые блокируют гелеобразование. С помощью химической модификации – обработкой в кислом метаноле может удалить ацетильные группы и увеличить долю сложноэфирных групп, но это может еще больше снизить и без того низкий молекулярный вес.

Тем не менее, пектин из свеклы при обработке пероксидазой и перекисью водорода, способен сшиваться через феруловые кислотные остатки и образовывать термически стабильный ковалентно сшитый гель, который может применяться для обезвоживания и регидратирования.

Пектиновая кислота применяется в медицине как носитель лекарственных средств при лечении желудочно-кишечного тракта [4]. Для применения пектина в качестве материала для инкапсулирования биологически активных веществ применяется и низкоэтерифицированный и высокоэтерифицированный пектин.

**Экстрагирование с применением кислот.** При выделении пектина с желирующими свойствами важно сохранить его молекулярную массу. Выделяют пектин способом гидролиза-экстрагирования с применением неорганических кислот. В процессе гидролиза происходит гидролиз глюкозидных связей и сложноэфирных связей, нарушается первичная структура пектиновых веществ, уменьшается молекулярная масса, снижаются желирующие свойства пектина. Осаждение выделенного пектина проводят этиловым спиртом. Высушенный пектин характеризуют показателями: содержание полигалактуроновой кислоты, степень метоксилирования карбоксильных групп, молекулярной массой пектина. При получении пектина важно очистить от сахаров, белков и других балластных веществ, существует множество современных методов, которые помогают извлекать пектин [5, 6].

**Экстракция с помощью микроволновой печи.** Микроволновая печь состоит из двух перпендикулярных и колеблющихся полей: магнитного и электрического. Диапазон частот от 300 МГц до 300 ГГц покрывается MWs в электромагнитном спектре. Микроволновую печь обычно используют в качестве энергоносителей в диапазоне частот от 0,915 до 2,450 ГГц. Эта частота заставляет полярные молекулы в образце (растительная матрица – растворитель) вращаться неорганизованным образом, производя тепловую энергию, это явление называется нагревом диэлектрика. Это может быть эффективно использовано для извлечения пектина из растительных матриц. Быстрый нагрев растительных материалов в растворителе разрушает ткани растений из-за присутствия водяного пара в пористой структуре растений. Увеличение энергии до определенного предела увеличивает степень разрушения клеток и усиливает проникновение растворителя в растительные матрицы через полости в тканях растений, вызывая вымывание пектинов в растворитель. Сильное увеличение мощности снижает выход пектина из-за его деградации и деполимеризации. Более длительное время облучения вызывает повышенную агрегацию тепла внутри экстракционного раствора, усиливая солюбилизацию пектина.

**Экстракция с помощью ультразвука.** Звуковые волны, имеющие диапазон частот от 20 кГц, могут быть определены как ультразвук. Эти энергетические волны создают кавитационные пузырьки, которые развиваются, а затем разрушаются, когда отрицательное давление внутри пузырька превышает поверхностное натяжение жидкости. Процесс, посредством которого эти пузырьки развиваются, растут и разрушаются, называется кавитацией, которая формирует принцип ультразвуковой обработки. Эти пузырьки нарушают целостность клеточной стенки и увеличивают проникновение растворителя в клетку. Использование ударных волн в сочетании с ультразвуком вызывает набухание и гидратацию клеток, образуя поры в клеточной стенке. Усиленный массообмен в процессе экстракции способствует перемещению желаемого фитохимического вещества в растворитель.

Экстрагированный пектин обладает превосходными реологическими и функциональными свойствами, что позволяет использовать его в пищевой промышленности. Ультразвуковая обработка проводится при более низкой температуре, таким образом, является экологически чистым подходом, экономя значительное количество энергии. Это быстро, эффективно и требует меньше растворителя.

**Экстракция под высоким давлением.** Экстракция под высоким давлением использует для извлечения биологически активных соединений из растительных источников и состоит из трех этапов. Один для мгновенного повышения давления, второй для поддержания давления и третий для сброса давления. На стадии повышения давления к растительному продукту при комнатной температуре прикладывается давление жидкости 100–1000 МПа. Впоследствии давление повышается в течение короткого периода времени. Это высокое давление разрушает ткани и клетки растений, усиливая массоперенос окружающих растворителей в растительные материалы.

Согласно теории фазового поведения, растворимость соединений увеличивается с увеличением давления. В этот момент внутреннее давление растительных клеток значительно ниже, чем давление окружающей среды. Теперь, когда внешнее давление увеличивается, разница между внешним и внутренним давлением также увеличивается, вызывая повреждение тканей, ослабление клеточной стенки и деформацию клеток. В этот момент растворитель может легко проникать в растительную ткань через микроканалы внутри клеточной стенки, увеличивая скорость массообмена и сокращая время экстракции. Заданное давление поддерживается в течение периода времени для уравнивания внутреннего и внешнего давления растительной ячейки. Экстракционные растворители проникают в клетки и мгновенно растворяют биоактивные компоненты. На стадии сброса давления давление быстро выводится из системы, что приводит к быстрому снижению со сверхвысокого до атмосферного давления.

Это внезапное падение давления изменяет нековалентные взаимодействия, такие как гидрофобные взаимодействия, ионные связи и водородные связи, которые управляют и поддерживают клеточную трехмерную структуру. Это вызывает расширение клеток и сильное воздействие экстракционного растворителя на клеточные структуры, что впоследствии увеличивает проницаемость. Более короткая продолжительность сброса давления увеличивает силу удара, вызывая диффузию внутриклеточных жидкостей в экстракционный растворитель. Это увеличивает количество зазоров и пор, что увеличивает общую площадь контактной поверхности, увеличивая диффузию и экстракцию выбранного биологически активного соединения. Экстрагирование пектинов под высоким давлением приводит к увеличению содержания галактуроновой кислоты, а также к снижению степени этерификации.

Применение механической силы при высоком гидростатическом давлении вызывает дезэтерификацию из-за высокой уязвимости связи C–O. Высокое гидростатическое давление существенно влияет на реологию и вязкость экстрагированных пектинов. Поскольку экстракция под высоким давлением использует комнатную температуру и не использует тепловую энергию, он извлекает биологические соединения в их естественном состоянии с высоким уровнем биоактивного потенциала и химической растворимости.

**Ферментативная экстракция.** Ферменты используются для улучшения процесса экстракции путем гидролиза матрицы клеточной стенки растения. Эти реакции разрушают клеточную стенку и повышают проницаемость клеток. Ферментативная экстракция зависит от концентрации фермента, температуры реакции, времени, размера частиц растительного материала и типа фермента. Ферментативное извлечение пектина осуществляется пектиназами, которые представляют собой ферменты, в основном экстрагируемые из грибов. Пектиназа — это общий термин, обозначающий несколько видов ферментов, включая эстеразы (пектиновые метилэстеразы), гидролазы (эндо- и экзополигалактуроназы) и лиазы (пектиновые лиазы). Ферментативная обработка нарушает гликозидные связи пектина и обеспечивает их разрушение. Это действие снижает вязкость раствора, облегчая фильтрацию и центрифугирование.

Преимущество этого метода экстракции в том, что он менее загрязняет окружающую среду. Кроме того, пектиназы обладают специфической реакционной способностью к пектину. Однако производство ферментов остается дорогостоящим, и реакцию трудно контролировать. Наконец, этот способ может привести к деградации пектина и потере его свойств.

**Гибридные методы экстракции.** В настоящее время существует тенденция использовать синергизм двух или более методов экстракции для достижения желаемого выхода пектина. Например, экстракция с помощью ультразвука и микроволновой печи. При экстракции ультразвуком и микроволновой печью микроволны усиливают теплопередачу, в то время как ультразвук способствует массообмену. Такая технология успешно применяется для извлечения определенных особых видов пектинов. На первом этапе ультразвук вызывает кавитацию в клеточной стенке, вызывая ее распад и увеличение скорости массообмена. На втором этапе микроволновое излучение непосредственно взаимодействует с водой внутри ячейки, быстро ускоряя ее температуру и испарение. Это приводит к разрыву клеточной стенки и извлечению пектина. Максимальный выход пектина 22,86% был получен с помощью такой технологии при 93°C, pH 2,0 и времени реакции 50 мин.

В настоящее время в России нет собственного производства пектина, хотя технологии получения пектина разработаны. Рынок пектина в России оценивается в 12–15 тыс. т. в год, в основном это структурообразователи и загустители, альтернативные для немодифицированный крахмал и целлюлоза. В мире всего 4–5 крупных компаний выпускает пектин. Мощность предприятий составляет 2 тыс.т. – 2,5 тыс.т. в год. Объем инвестиций в строительство завода составляет 30 млн долл США. Основным сырьевым источником пектина являются яблочные выжимки и свекловичный жом. Пектиновые препараты и напитки с лечебно-профилактическими свойствами для людей с тяжелыми условиями труда, для жителей регионов с неблагоприятными экологической обстановкой, приходящих реабилитацию после лучевой терапии. В России растут заболевания ЖКТ, онкологические, кровеносно-сосудистой системы, почек и мочевыводящих путей.

Яблоки уверенно занимают ведущее место среди фруктов, и большая часть яблок идет для получения яблочного сока, при этом образуется большое количество яблочных выжимок. Актуально проводить исследования, разрабатывать и внедрять в производство новые технологические приемы по извлечению пектина из яблочных выжимок.

#### **Список использованных источников**

1. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г., Пектин: основные свойства, производство и применение // Москва: ДеЛи принт. 2007. 276 с.
2. Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш., Фармакохимические основы применения пектинов и альгинатов // Пятигорск: РИА-КМВ. 2016. 200 с.
3. Аймесон А., Пищевые загустители, стабилизаторы, гелеобразователи / А. Аймесон (ред. сост.) – Перевод с англ. д-ра хим. наук С.В. Макарова. – СПб.: ИД «Профессия». 2012. 408 с.
4. Истомин А.В. Гигиенические аспекты использования пектина и пектиновых веществ в лечебно-профилактическом питании / А.В. Истомин, Т. Л. Пилат. – М. 2009. 44 с.
5. Kumar M., Tomar M., Saurabh V., Mahajan T., Punia S., del Mar Contreras M., Kennedy J.F. Emerging trends in pectin extraction and its anti-microbial functionalization using natural bioactives for application in food packaging // Trends in Food Science & Technology. 2020. №. 105. Pp. 223–237.
6. Belkheiri A., Forouhar A., Ursu A.V., Dubessay P., Pierre G., Delattre C., Michaud P. Extraction, characterization, and applications of pectins from plant by-products // Applied Sciences. 2021. №. 11(14). P. 6596.

УДК 663.93

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ КОФЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

*Амбарцумов Т.Г.<sup>1</sup> (студент), Иващенко Л.В.<sup>1</sup>(студент), Захарова У.Е.<sup>1</sup> (студент)*

*Консультант – ассистент Бойцова Ю.С.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Орлова О.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: 370562@edu.itmo.ru*

---

В статье представлен анализ продуктов из кофе, имеющих на российском потребительском рынке. Описаны основные виды продуктов и приведены их характеристики, рассмотрены методы производства и представлена их доля на рынке. На основе имеющихся данных определены наиболее перспективные направления для разработки новых продуктов на основе кофейного зерна, исходя из предпочтений современного потребителя.

### **Ключевые слова**

Кофе, капсулы, дрип-кофе, растворимый кофе, nespresso.

---

В современных условиях кофе является высокодоходным и весьма привлекательным для бизнеса продуктом на всех этапах его развития: от кофейной плантации до чашки бодрящего напитка.оборот, связанный с кофе, занимает второе место в статистике мировой торговли, уступая только нефти, что свидетельствует о ключевой роли кофе на мировой арене [1]. Помимо этого, кофе считается одним из символов глобализации. В связи с этим, анализ кофейной продукции на российском рынке является актуальным.

Жареные и молотые зерна кофейного дерева используются для приготовления напитка, известного как кофе. Натуральный кофе бывает двух видов: молотый и растворимый.

Напиток, который мы знаем как растворимый кофе, производится из кофейных зерен, прошедших технологические процессы для превращения их в растворимый в воде, в форме порошка или гранул. Встречаются разные виды растворимого кофе:

- сублимированный кофе: экстракт кофе подвергается сублимационной сушке для создания растворимого сублимированного кофе. Кристаллы кофейного экстракта, которые накапливаются в результате последующего испарения льда, обезвоживаются в вакууме. Этот вид растворимого кофе, наиболее близок по вкусу и внешнему виду к натуральному кофе;
- гранулированный кофе: экстракт кофе в комбинации с распылительной сушкой дает гранулированный растворимый кофе; полученный порошок затем обрабатывается горячим паром, в результате чего порошок абсорбируется и накапливается в гранулы. Помимо этого, в гранулированный растворимый кофе добавляются кофейные масла;
- порошкообразный растворимый кофе: производится при помощи распыления экстракта кофе в поток горячего воздуха. Во время этого процесса маленькие капли кофейного экстракта собираются в растворимый порошок.

С 2016 по 2020 год продажи растворимого кофе в России выросли на 4,9%, с 114,9 до 120,5 тыс. тонн. Показатели продемонстрировали сильную восходящую динамику, при этом темпы роста продаж увеличились с 1,0% до 4,5%. Единственным годом, когда продажи растворимого кофе показали убыток, был 2018 год, тогда показатель упал на 1,6% по сравнению с предыдущим годом [2].

Аналитики сообщают, что в 2021–2022 годах продажи растворимого кофе в России падали на 0,6–1,0% ежегодно, поскольку население оптимизирует свои расходы на продукты питания в результате продолжающегося экономического кризиса в стране. С 2023 года в России

---



прогнозируется ежегодный рост продаж растворимого кофе на 0,1–0,2%. Негативное влияние на динамику продаж окажет также ожидаемая в ближайшие годы убыль населения страны, следствием которой станет снижение потребления растворимого кофе, а также тенденция популяризации альтернативных видов кофе [3].

Кофейные капсулы — это один из последних трендов в мире кофе, который облегчает и ускоряет процесс приготовления кофейных напитков. Капсулы представляют собой небольшие контейнеры, заполненные точно отмеренным количеством молотого кофе, который можно быстро и легко приготовить с помощью специальных кофемашин.

Кофейные капсулы состоят из нескольких основных компонентов, которые базово присутствуют в любом стандарте:

- корпус капсулы — это ее внешняя оболочка, которая защищает наполнитель от воздействия внешних факторов и обеспечивает правильное распределение воды внутри капсулы в процессе приготовления кофе. Корпус обычно изготавливается из пластика, алюминия или биоразлагаемых материалов;
- фильтр — это специальный элемент внутри капсулы, который отделяет наполнитель от горячей воды, пропуская ее через себя и удерживая кофейную гущу внутри капсулы. Фильтры могут быть изготовлены из бумаги, металла или пластика, в зависимости от производителя и типа капсулы;
- наполнитель — это кофе, который находится внутри капсулы, может быть в виде молотого кофе или зерен, а также может содержать различные добавки, такие как ароматизаторы и сиропы.

Капсульный кофе сложный продукт, который имеет свои преимущества и недостатки перед традиционным кофе. Для понимания продукта выделим основные преимущества и недостатки [4].

Преимущества капсульного кофе:

- простота использования: для приготовления кофе не требуется измерять кофе или настраивать машину на правильный режим;
- скорость: кофе готовится очень быстро, в зависимости от модели кофемашины, это может занять от 30 секунд до нескольких минут;
- качество: капсульный кофе обычно имеет высокое качество. Капсулы запечатываются сразу после обжарки зерен, что помогает сохранить свежесть и аромат кофе;
- разнообразие: существует огромное количество разных вкусов капсульного кофе;
- удобство: не нужно беспокоиться о оборудовании и ингредиентах, чтобы приготовить кофе.

Недостатки капсульного кофе:

- ограниченность выбора: капсульный кофе может иметь ограниченный выбор сортов и вкусов;
- ограниченность в использовании: каждая конкретная машина ограничена перечнем капсул, которые она способна использовать;
- проблемы с машиной: сложная конструкция и большое количество подвижных частей, снижают износостойкость оборудования;
- ограниченность в настройке: капсульные кофемашины не имеют гибких настроек степени помола кофе и температуры воды, что может привести к неудовлетворительному результату для опытных любителей кофе;
- экологические проблемы: использование большого количества пластиковых капсул может привести к экологическим проблемам;
- капсулы не могут быть переработаны и занимают много места на свалке.

Несмотря на все недостатки потребитель считает данный продукт привлекательным, о чем говорит объем рынка этого продукта на рынке России, размер которого можно примерно оценить:

- рынок кофе в России на 2022 год  $\approx$  3,3 млрд. €;

- объем капсульного  $\approx 2\%$ , что  $\approx 66$  млн. € в год;
- 52% рынка это был nespresso, 23% — аналоги nespresso, 25% все остальные: тассимо, dolce gusto и др.

Выводы о потреблении капсул:

- средняя цена капсулы nespresso 45Р, средняя цена аналогов 30Р за шт.;
- возьмем среднюю цену 37Р за одну капсулу;
- получаем приблизительно 4,6 млрд Р в год. — не самый большой рынок, но он растёт каждый год на 6–8%;
- получаем, что в год россияне выпивают 120–125 млн капсул кофе. Это по 10 млн. /мес., или 330 тысяч капсул в день;
- примерно 33 000 упаковок по 10 капсул (стандарт nespresso) выпивается каждый день в России [5].

Важным показателем является география потребления, так как из этого объема 60% приходится на Москву и Санкт-Петербург.

Капсульный кофе имеет ряд преимуществ, таких как простота использования, быстрота приготовления и широкий выбор вкусов. Однако, он также имеет недостатки, такие как высокая стоимость, ограниченность выбора и возможные проблемы с качеством. Кроме того, экологические проблемы, связанные с использованием пластиковых капсул, являются серьезной проблемой для окружающей среды [6].

Портативные, удобные и простые в использовании дрип пакеты для приготовления кофе в последние годы становятся все более популярными. Они не только предлагают превосходную альтернативу растворимому кофе, но и идеально подходят для активного образа жизни современных любителей кофе.

Кофе в дрип-пакетах можно употреблять дома или в дороге. Обжарщики могут использовать их для распространения образцов новых смесей и сортов кофе, для тестирования определенного рынка или даже для привлечения новых клиентов.

Дрип-Кофе – это натуральный молотый кофе, который разделен в порционных пакетах. Использование данного кофе не требует специального оборудования и навыков. Для приготовления Дрип-кофе понадобится горячая вода и чашка.

Дрип-пакет — это одноразовая воронка/фильтр-кофеварка, с уже заранее упакованным в неё молотым кофе оптимального помола, граммовки и нужной степени обжарки — всё это выступает гарантией хорошо приготовленного кофе.

Чтобы использовать пакет для капельного кофе необходимо открыть пакет, вынуть фильтр-пакет и оторвать верхнюю часть. Пакет необходимо осторожно встряхнуть, чтобы выровнять молотый кофе внутри, а затем каждую ручку положить на края чашки. Около 150 мл горячей воды медленно выливается на молотый кофе, позволяя воде фильтроваться, а после заваривания фильтр и влажный кофе выбрасываются.

Среднестатистическому потребителю спешелти кофе для приготовления чашки кофе дома обычно требуется ряд различных предметов, от весов и кофемолок до оборудования для разлива и чайников. Однако за пределами дома может быть непрактично носить с собой все необходимое для приготовления хорошей чашки кофе, особенно если цель состоит в том, чтобы путешествовать налегке [7].

Одним из плюсов Дрип пакетов является изготовление кофейных пакетов из фильтровальной бумаги (которая до сих пор составляет большую часть рынка).

Согласно отчету за 2022 год, желание помочь окружающей среде является основной причиной, по которой многие потребители предпочитают покупать экологически чистые продукты и бренды. Общий потребительский спрос на устойчивую упаковку остается высоким.

Возможность изготовления кофейных пакетов таким образом может быть положительным шагом, поскольку бумага полностью биоразлагаемая и компостируемая. Это делает их более устойчивой альтернативой обычным алюминиевым и пластиковым кофейным упаковкам.

В данном виде кофе есть ряд минусов:

- малое разнообразие вкусов, т. к. можно использовать только натуральный молотый кофе для приготовления;
- высокая стоимость - одна порция стоит на порядок дороже обычного кофе. Порция заварного напитка или приготовленного в турке обойдется максимум в 15–25 рублей, тогда как кофе в дрип-пакетах стоит в пределах 40–80 рублей.
- необходимость соблюдать определенную технику заваривания. При слишком быстром наполнении чашки весь вкус кофе не успеет раскрыться.
- в магазинах до сих пор нет большого ассортимента дрип-кофе [8].

Дрип-пакеты захватили российский рынок еще в начале 2000-х. Но этот формат был не очень популярен. В 2014 году показатели продажи увеличились настолько, что в России запустили собственное производство (занялся этим бренд Coffesso). В 2016 на российском рынке почти одновременно появляются два проекта с дрип-пакетами отечественного производства. И именно у этих двух производителей – свои станки для производства молотого кофе в пакетах-стаканчиках с упаковкой в вакуумной среде. Это – большой холдинг "МАЙ" и небольшая обжарочная компания "Ко энд Фе" [9].

Дрипы стали особенно популярными в 2020–2022 гг. в период и после пандемии коронавирусной инфекции, и теперь их продают многие обжарочные компании. Дрип кофе представлен на маркетплейсах и сервисах по доставке еды. Согласно исследованию, Яндекс.Лавки, в 2021 году самый высокий спрос на кофе в интернете был именно у дрип-пакетов: за вторую половину года его продажи выросли в 3,5 раза в сравнении с 2020 годом. Сегодня можно насчитать 15–20 брендов дрип-пакетов от российских обжарщиков [10].

Тем не менее формат дрип-пакетов импонирует тем, что качество напитка почти не зависит от оборудования и качества выполненной работы бариста. Конечно, дрип-пакеты — это в первую очередь для ситуации «вне дома»: в поездке, в отпуске, в палатке, как альтернатива походу в кофейню.

Таким образом, был проведен анализ кофейной продукции, представленной на российском рынке. Из вышеописанного следует, что потребители в России из года в год становятся все более требовательны к конечному продукту. Производители вынуждены конкурировать не только друг с другом, но и большим количеством кофеен, расположенных в шаговой доступности. В связи с чем наблюдается появление продуктов, которые позволяют получить более качественный кофе в домашних условиях. Текущие условия на рынке являются положительным фактором для создания новых форм и видов продукта на основе кофе, так как потребители готовы платить за повышенное качество и удобство приготовления кофе.

#### Список использованных источников

1. Смоленцева Е.В. Кофейные плантации как фактор, определяющий производство кофе в мире // Московский экономический журнал. 2019. №. 7. С. 579–584.
2. Булганина С.В., Лебедева Т.Е., Шамина Е.М., Спиридонова Д.А. Основные тренды развития рынка кофе в России: B2B & B2C // Московский экономический журнал. 2020. №. 2. С. 561–566.
3. Винничек Л.Б., Кафтулина Ю.А., Батова В.Н. Тенденции и проблемы развития мирового рынка кофе // Московский экономический журнал. 2017. №. 1. С. 15.
4. Математика кофейных капсул на примере капсул Nespresso. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/home/coffee-capsules-nespresso-test.html> (дата обращения: 23.01.2023).
5. Как москвич конкурирует с корпорациями на рынке кофе. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/newspaper/2016/12/19/5853e9329a79476286cd61bb.html> (дата обращения: 23.01.2023).
6. Nespresso Vertuo с технологией Centrifusion. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://101kofemashina.ru/vertuo/> (дата обращения: 23.01.2023).

7. Шубина И. Хороший кофе. Культура specialty кофе в России // Первая образцовая типография. 2018. 155 с.
8. Исследование. Россияне стали чаще заказывать кофе в интернете. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://new-retail.ru/novosti/retail/rossiyane\\_stali\\_chashche\\_zakazyvat\\_kofe\\_v\\_internete1327/](https://new-retail.ru/novosti/retail/rossiyane_stali_chashche_zakazyvat_kofe_v_internete1327/) (дата обращения: 10.01.2023).
9. МТРАК. Drip Coffee Bags: Why Have They Become So Popular? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mtrak.coffee/2021/05/drip-coffee-bags-why-have-they-become-so-popular/> (дата обращения: 10.01.2023).

UDK 577.2

## DNA NANOMACHINE (DNM) BIPLEX ASSAY FOR DIFFERENTIATING BACILLUS CEREUS SPECIES

*Ateiah M.<sup>1</sup> (phd student), Gandalipov E.R.<sup>1</sup> (phd student)*

*Scientific supervisor – research associate Rubel M.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: rubel@scamt-timo.ru*

*The research work was funded by the ITMO University Priority 2030 program and FSER-2022-0009 grant of the Ministry of Education of Russian Federation*

---

Here, we offer a simple and uncomplicated method based on DNA nanomachine (DNM) detection of unamplified bacterial 16S rRNA. The test employs a universal fluorescent reporter and four all-DNA binding fragments, three of which are responsible for "opening up" the folded rRNA and the fourth for detecting SNV with great selectivity. When the DNM binds to 16S rRNA, the 10-23 deoxyribozyme catalytic core forms, cleaving the fluorescent reporter and producing a signal that is magnified over time owing to catalytic turnover. This newly designed biplex assay detects *B. thuringiensis* 16S rRNA at fluorescein and *B. mycooides* at Cy5 channels with detection limits of  $30 \times 10^3$  and  $35 \times 10^3$  CFU/mL, respectively.

### **Keywords**

Detection of folded RNA; 10–23 DNAzyme; amplification-free detection; binary probes; 16S rRNA; single nucleotide selectivity.

---

*Bacillus cereus*'s significance in food poisoning has been widely documented since the early twentieth century. *Bacillus cereus* is a bacteria found in food that causes food poisoning and infectious disorders [1]. It is the second most frequent cause of a foodborne outbreak (FBO) in Europe, behind *Staphylococcus aureus*. Despite this, the impact of *B. cereus* in FBO is likely underestimated due to a lack of systematic surveillance, and it is frequently misidentified as *S. aureus* or *Clostridium perfringens* symptom-like infections [2]. Various taxonomic theories have been proposed regarding the relationships between members of the *B. cereus* group, and identification based on 16S rRNA gene sequencing has previously failed due to significant nucleotide conservation in the sequence of this gene among species of this group. Because current species categorization is connected to certain morphological traits or the presence of species-specific genes, detecting and differentiating *B. cereus* group species in routine diagnostics can be difficult, expensive, and time-consuming. Various methods have been developed over the years with the primary goal of detecting and distinguishing *B. cereus* from other *Bacillus* group members using timesaving and in-situ analyses. In line with these initiatives, we assessed the potential of Deoxyribozyme-based DNA-nanomachines to identify and differentiate *B. mycooides* and *B. thuringiensis* (Fig. 1).

The most recent generation of DNAzymes (DNA-machines, DNM) is a ray of hope that can make bacterial detection easier and less expensive. Dz structures connected by a scaffold define the DNAzymes-based-DNA-machines. They might additionally contain two additional analyte or substrate binding arms. The benefit of the DNA-machine is its capacity to construct the catalytic core not only in the presence of the substrate, but also in the absence of input. This property can help identify bacterial RNA or cancer molecular markers by allowing the substrate to be cleaved. It also has the specific benefit of signal amplification: one molecule of RNA analyte permits one copy of the DNAzyme to cleave many substrate molecules at the same time.

---

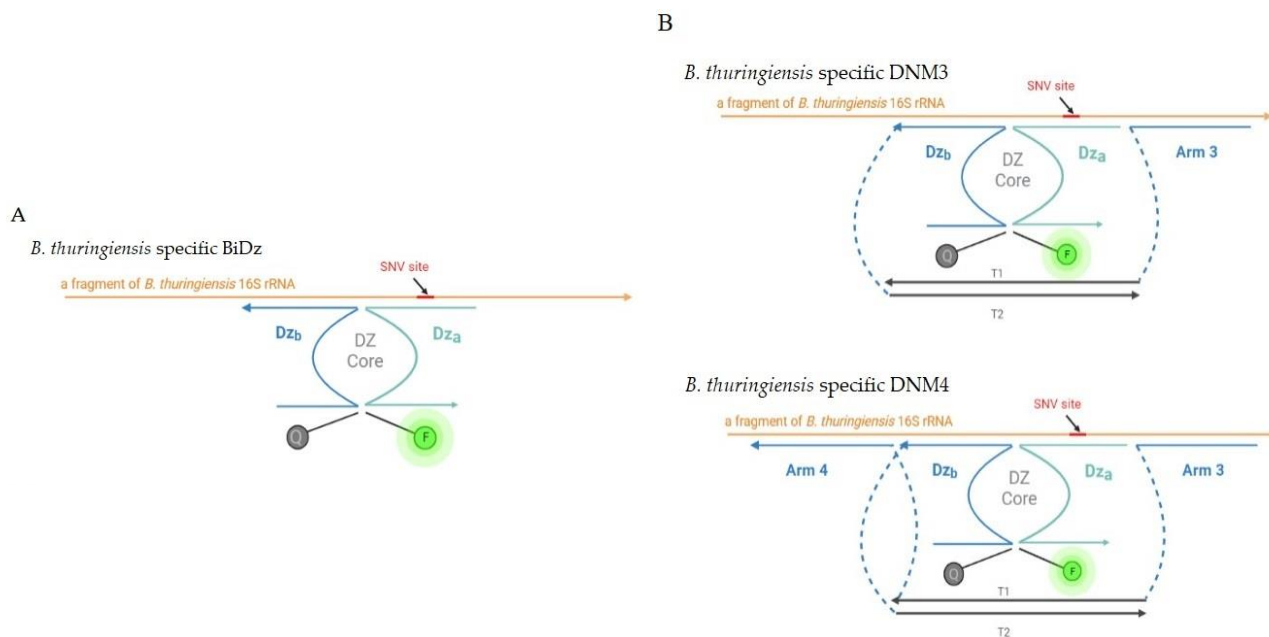


Fig. 1. Design of DNA nanosensors unique to *B. thuringiensis*. A) Schematic illustration of a BiDz probe unique to *B. thuringiensis* (B) Development of DNM3 and DNM4 for *B. thuringiensis*. The reporter substrate employed (Cy-sub) and the targeted Single nucleotide variation (SNV) of *B. mycooides*-specific DNA nanosensors differ from those of *B. thuringiensis*-specific DNA nanosensors

We hypothesized in this study that connecting the split DNAzyme [3, 4] constructions via a common DNA platform would increase the sensitivity of the binary DNAzyme sensors for detection of RNA folded in stable secondary structures, particularly after adding two additional arms to unwind the bacterial RNA secondary structures (Fig. 2). A few extra binding arms were added. Two or three of the arms (two new and one core binary portion) are attached to a common double-stranded DNA platform. The machine can unwind secondary bacterial RNA structures using a total of four binding arms. RNA sensitivity was successfully improved. The DNA-machines produced demonstrated great activity and sensitivity, with a limit of detection of 20 pM, which was more than three times lower than the limit of detection determined for Binary Spilte Deoxyribozyme, which was 65 pM. This made it possible to test the bacterial RNA detection directly in the extracted total RNA without the need for amplification.

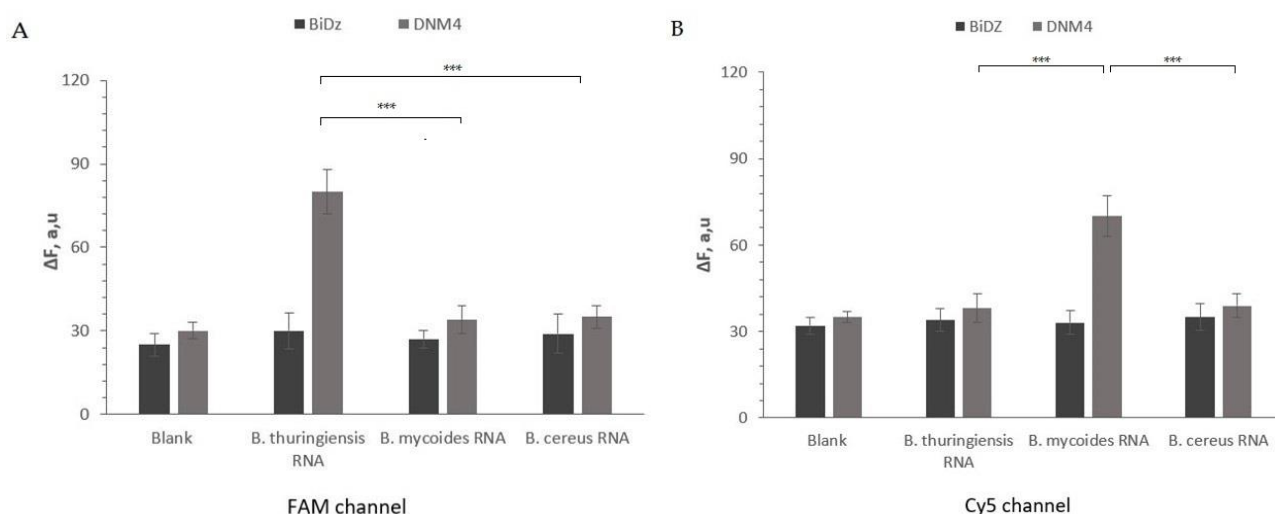


Fig. 2. BiDz and DNM4 were used to analyze total bacterial RNA. (A) Fluorescence intensities of *B. thuringiensis*-specific BiDz and DNM4 in the FAM channel after 1 hour of incubation at 55°C. (B) Fluorescence intensities of *B. mycooides*-specific BiDz and DNM4 in the Cy5 channel after 1 hour of incubation at 55°C

In the presence of 10 ng of total RNA obtained from *B. mycooides*, *B. thuringiensis*, or *B. cereus*, the performance of *B. thuringiensis*- and *B. mycooides*-specific DNA nanosensors was tested. Even after 3 hours of incubation, the BiDz sensors displayed a signal as low as the background with the three distinct RNA totals. The DNM4 showed a 1.5-fold increase in fluorescence in the presence of the target RNA after 1 hour of incubation. In the presence of non-target RNA (*B. cereus*), the *B. mycooides*- and *B. thuringiensis*-specific DNA nanosensors displayed background fluorescence. The LOD of the DNM4 was estimated since it performed the best of the three variations.

We prepared samples of *B. thuringiensis* cells containing different fractions of *B. mycooides* and *B. cereus* cells, as well as samples of *B. mycooides* cells containing different fractions of *B. thuringiensis* cells and *B. cereus* cells, to demonstrate the applicability of the DNM sensors in cell culture with a mixture of *B. thuringiensis*, *B. mycooides*, and *B. cereus* rRNA. The DNM4 and BiDz sensors were used to evaluate the samples. BiDzs' fluorescence reaction was close to that of the background. The fluorescence intensity of DNMs rose as the percentage of bacterial cells grew, with the sample having 100% of the cells triggering the most fluorescence (Fig. 3).

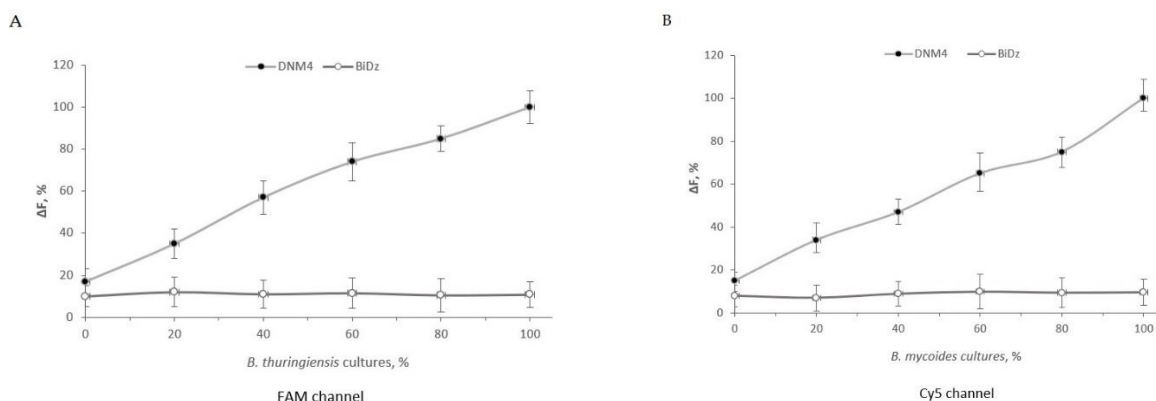


Fig. 3. DNM4 can identify individual bacteria in a mixture of cell lysates, unlike BiDz. (A) Normalized fluorescence intensity of either a *B. thuringiensis*-specific BiDz or a DNM4 sensor in the presence of *B. thuringiensis* cell mixes after 1 hour at 55°C. (B) After 1 hour of incubation at 55°C with mixes of *B. mycooides* cells containing varying concentrations of *B. thuringiensis* and *B. cereus* cells, the normalized fluorescence intensity of either the *B. mycooides*-specific BiDz or DNM4 sensor is shown

Design and testing were done on DNA machines for fluorescence analysis of physiologically folded RNA. *B. thuringiensis* and *B. mycooides* were able to be detected and distinguished without the need for amplification thanks to the multi-armed DNM technique. The multi-armed technique enables simultaneous detection of targets with complicated secondary and SNVs since it does not call for lengthy analyte-binding fragments. The test made it possible to quickly quantify the amount of rRNA in cell cultures starting with entire cells and a LOD of just 30,000 bacterial cells. The approach surpasses other commercially available tests and takes 1.5 hours with a hands-on time of only 10 minutes. The method is SNV-sensitive. As the technology advances, the LOD should be reduced and the assay time should be reduced to 15 to 30 minutes, putting it on par with cutting-edge detection methods. The same strategy can subsequently be developed to apply to additional challenging-to-discriminate targets and is not just applicable to the *Bacillus cereus* species.

## References

1. Tewari A., Abdullah S. *Bacillus cereus* food poisoning: international and Indian perspective. *J Food Sci Technol.* 2015. №. 52. P. 2500–11.
2. Kolpashchikov D.M. A binary deoxyribozyme for nucleic acid analysis // *ChemBioChem.* 2007. №. 8. Pp. 2039–2042.
3. Mokany E., Bone S.M., Young P.E., Doan T.B., Todd A.V. MNazymes, a versatile new class of nucleic acid enzymes that can function as biosensors and molecular switches // *J. Am. Chem. Soc.* 2010. №. 132. Pp. 1051–1059.
4. Tian B., Han Y., Wetterskog E., Donolato M., Hansen M.F., Svedlindh P., Strömberg M. MicroRNA Detection through DNAzyme-Mediated Disintegration of Magnetic Nanoparticle Assemblies // *ACS Sens.* 2018. №. 3. Pp. 1884–1891.

УДК 541.8

## РАСТВОРИМОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ БИОДОСТУПНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

*Басковцева А.С.<sup>1</sup> (аспирант), Баракова Н.В.<sup>1</sup>, Алхатиб Р.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: baskovtseva.ang@yandex.com, barakova@itmo.ru*

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

---

В данной работе рассмотрены определения растворимости и биодоступности, а также анализ взаимосвязи между ними, подтверждающий, что растворимость может служить показателем биодоступности биологически активных веществ. Упомянуты различные факторы, влияющие на растворимость и биодоступность. Описано биологически активное вещество бета-каротин, проанализированы факторы, влияющие на растворимость и биодоступность этого вещества с целью дальнейших исследований и создания натуральной пищевой добавки.

### **Ключевые слова**

Растворимость, биодоступность, биологически активные вещества, бета-каротин, гидрофобные соединения.

---

Всасыванию биологически активных веществ в кровь предшествует их растворение в биологических жидкостях, после чего проникновение через биологическую мембрану происходит на уровне молекул активного вещества. Важным вопросом при извлечении БАВ является повышение растворимости гидрофобных и труднорастворимых БАВ в воде и органических растворителях.

Растворимость – это способность вещества образовывать с другими веществами однородные системы – растворы, в которых вещество находится в виде отдельных атомов, ионов, молекул или частиц, т.е. является мерой того, насколько хорошо вещество растворяется в растворителе. Растворимость вещества зависит от наличия полярных и неполярных групп. Если много полярных групп – вещество растворимое, если много неполярных – вещество нерастворимое.

Существует несколько факторов, влияющих на растворимость вещества. Во-первых, это температура. Как правило, растворимость увеличивается с повышением температуры. Это связано с увеличением кинетической энергии частиц при более высоких температурах, что позволяет им преодолевать силы, удерживающие их вместе в твердом состоянии. Во-вторых, свойства растворителя. Разные растворители будут иметь разную способность растворять разные растворенные вещества. В-третьих, перемешивание может увеличить скорость растворения растворенного вещества за счет увеличения числа столкновений между растворенным веществом и частицами растворителя. Кроме того, чем больше площадь поверхности растворенного вещества, тем быстрее оно растворяется. Также влияние на растворимость имеет природа и химические свойства растворенного вещества и растворителя [1].

Биодоступность — это термин, используемый для описания количества вещества, которое попадает в организм и способно оказывать активное действие. Он часто используется в фармакологии для описания эффективности лекарств, но также может применяться к



питательным веществам и другим соединениям. На биодоступность может сильно влиять способ введения вещества. Например, пероральное введение обычно имеет более низкую биодоступность, чем внутривенное, поскольку вещество должно пройти через желудочно-кишечный тракт и абсорбироваться организмом. Форма вещества и его доза также могут повлиять на его биодоступность. Вещества в твердой форме обычно имеют более низкую биодоступность, а высокая доза может насыщать пути метаболизма, что также приводит к снижению биодоступности. Метаболизм организма в целом может влиять на биодоступность, так как некоторые вещества метаболизируются в печени до того, как они смогут оказать активное действие, что может снизить их биодоступность. Присутствие в организме других веществ, таких как пища или другие лекарства, может влиять на биодоступность, изменяя абсорбцию, распределение, метаболизм или выведение вещества. Кроме того, влияют такие факторы, как возраст, пол, генетика и общее состояние здоровья [2].

Таким образом, биодоступность представляет собой сложный процесс, который зависит от множества факторов и может сильно различаться у разных людей и даже у одного и того же человека в разных ситуациях.

Хоть растворимость и не является фактором, определяющим биодоступность, но ее можно считать индикатором биодоступности по приведенным ниже пунктам [1, 3]:

1. Лекарственная форма. Некоторые лекарственные формы, такие как таблетки, капсулы и порошки, могут плохо растворяться и, следовательно, иметь низкую биодоступность. Тогда как растворы и суспензии обладают более высокой биодоступностью, поскольку биологически активное вещество уже растворено.
2. Размер частиц. Размер частиц вещества также может влиять на его растворимость и биодоступность. Вещество с меньшим размером частиц имеет большую площадь поверхности, что увеличивает скорость растворения и биодоступность.
3. Комплексообразование. Некоторые вещества могут образовывать комплексы с другими молекулами в организме, что может влиять на их растворимость и биодоступность. Например, вещество, которое образует комплекс с белком в кровотоке, может иметь более низкую биодоступность, потому что оно не способно так же легко проникать через биологические мембраны.
4. pH-зависимая растворимость. Некоторые вещества имеют pH-зависимую растворимость, это означает, что их растворимость изменяется в зависимости от pH окружающей среды. Например, слабая кислота может иметь низкую растворимость в кислой среде, но высокую растворимость в нейтральной или щелочной среде.
5. Растворимость в зависимости от температуры. Растворимость некоторых веществ также изменяется в зависимости от температуры. Например, многие газы лучше растворяются при низких температурах, а некоторые вещества лучше растворяются при теплых температурах.
6. Перенасыщение. Вещество можно сделать более биодоступным, создав перенасыщенный раствор, который представляет собой раствор, содержащий больше растворенного вещества, чем он может обычно растворяться при данной температуре и давлении. Этого можно достичь с помощью специальных методов, таких как микронизация, наночастицы и твердые дисперсии, которые могут улучшить растворимость и биодоступность вещества.

Важно отметить, что не на все вещества эти факторы влияют одинаково, и соотношение между растворимостью и биодоступностью может варьироваться в зависимости от вещества, лекарственной формы, пути введения и т.д.

Рассмотрим, как может растворимость такого биологически активного вещества, как бета-каротин, повлиять на его биодоступность. Бета-каротин является жирорастворимым соединением, то есть растворяется в липидах, а не в воде. Он содержится во многих фруктах и овощах, таких как морковь, сладкий картофель и шпинат, и часто используется в качестве пищевой добавки. Употребление бета-каротина с пищей, содержащей жиры или масла, может увеличить его биодоступность. Бета-каротин более стабилен в кислой среде, и его

растворимость увеличивается с увеличением рН. Следовательно, рН желудка и тонкой кишки может влиять на растворимость и биодоступность бета-каротина. Температура также влияет на растворимость бета-каротина, некоторые исследования показали, что бета-каротин более растворим при более высоких температурах [3, 4]. Кроме того, на природный бета-каротин могут влиять различные методы обработки продуктов, которые он содержит. Например, измельчение, сушка и пастеризация. Эти методы также влияют на растворимость и биодоступность бета-каротина.

Стоит отметить, что на биодоступность бета-каротина могут влиять другие факторы, такие как присутствие других каротиноидов и пищевых соединений, которые могут влиять на всасывание и метаболизм бета-каротина. Когда бета-каротин потребляется в его естественной форме во фруктах, овощах и их производных, он, как правило, хорошо усваивается. Это связано с тем, что бета-каротин содержится в рационе в сложной матрице других питательных веществ, таких как клетчатка, жир и другие каротиноиды, которые могут усиливать его усвоение. Когда бета-каротин употребляется в качестве добавки, его биодоступность обычно ниже. Это связано с тем, что добавки с бета-каротином обычно имеют форму синтетического изолированного бета-каротина. Биодоступность бета-каротина может варьироваться также в зависимости от других факторов, включая форму, в которой он потребляется, наличие других питательных веществ и индивидуальные различия в абсорбции и метаболизме. Но потребление бета-каротина с пищевыми жирами и в кислой среде может увеличить его растворимость и биодоступность [5].

Таким образом, мы можем прийти к выводам, что растворимость, являясь мерой того, насколько хорошо вещество растворяется в растворителе, может служить показателем биодоступности биологически активных веществ, поскольку вещество с высокой растворимостью может легко растворяться в жидкостях организма и поглощаться клетками. Т. е. чтобы вещество оказывало активное действие на организм, оно должно сначала раствориться и быть способным проникать через биологические мембраны, такие как стенка кишечника или кожа. Понимание биодоступности биологически активных веществ важно для разработки эффективных и безопасных терапевтических средств, а также для понимания потенциальной пользы для здоровья природных соединений. А такие факторы, как пищевые жиры, рН, температура и обработка, могут влиять на повышение растворимости такого биологически активного вещества, как бета-каротин и, следовательно, на его биодоступность. В дальнейших исследованиях планируется учесть факторы, влияющие на растворимость бета-каротина и определить его показатели растворимости, с помощью которых можно будет сделать выводы о биодоступности некоторых его природных форм.

### Список использованных источников

1. Калинина И.В., Попова Н.В., Фаткуллин Р.И., Науменко Е.Е. Оценка растворимости биоактивных минорных соединений полифенольной природы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2022. №. 10(1). С. 98–106.
2. Geng T., Bao Sh., Sun X., Ma D., Zhang H., Ge Q., Liu X., Ma T. A clarification of concepts related to the digestion and absorption of carotenoids and a new standardized carotenoids bioavailability evaluation system // Food Chemistry. 2023. V. 400. P. 134060.
3. Saini R.K., Nile S.H., Park S.W. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability, and biological activities // Food Research International. 2015. V. 76(3). Pp. 735–750.
4. Kuo E., McClements D.J. Food colloid-based delivery systems for tackling age-related macular degeneration by enhancing carotenoid bioavailability: A review // Food Hydrocolloids for Health. 2022. V. 2. P. 100093.
5. Desmarchelier C., Borel P. Overview of carotenoid bioavailability determinants: From dietary factors to host genetic variations // Trends in Food Science & Technology. 2017. V. 69(B). Pp. 270–280.

УДК 664.663;664.641;664.664

**АНАЛИЗ РЫНКА РЕСТОРАНОВ БЫСТРОГО ПИТАНИЯ***Гринвальд С.А.<sup>1</sup> (аспирант), Баракова Н.В.<sup>1</sup>**Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: n.barakova@mail.ru

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

Рынок общественного питания значительно изменился за последние несколько лет. Люди стали отдавать предпочтения заведениям быстрого питания, так как это простой способ немедленно насытиться. Гамбургеры и сэндвичи уже являются неотъемлемой частью перекуса россиян. Но такие продукты имеют низкую пищевую ценность, содержат большое количество жиров, простых углеводов и при длительном употреблении могут привести к ожирению, дефициту основных социально-значимых элементов и развитию заболеваний. Поэтому целью работы было исследование рынка общественного питания и определение приоритетов при выборе блюд из ресторанов быстрого питания, а также анализ пищевой ценности булочки для гамбургера.

**Ключевые слова**

Рестораны быстрого питания, проблемы питания, булочки для гамбургера, пищевая ценность, экономическая ситуация.

В настоящее время развитие ресторанов общественного питания демонстрирует прогрессивный рост. По данным, полученным от Росстата, исследуемый сегмент увеличился на 23% относительно 2020 года и составил более 2 млрд заказов. Исследователи из NPD Group опубликовали данные о том, что россияне тратят на заведения быстрого питания около 51% доходов (рис. 1) [1, 2].

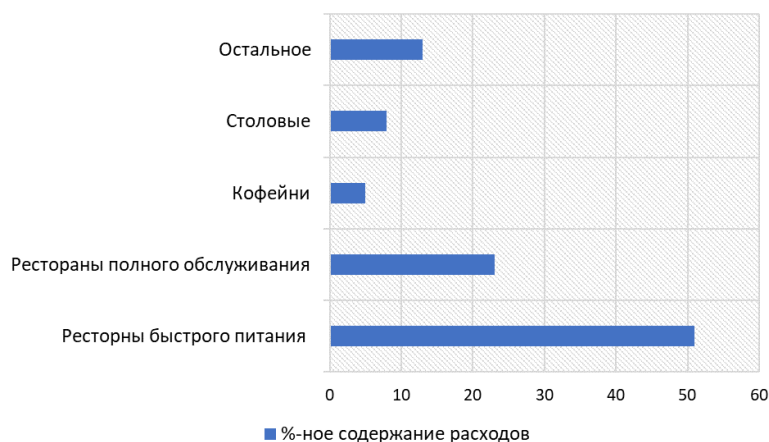


Рис. 1. Расходы россиян на заведения общественного питания

Раньше потребителями данных заведений были исключительно дети и подростки, но в настоящее время аудитория существенно расширилась и стала включать студентов, работающую молодежь и небольшой процент пенсионеров. Соответственно, с увеличением платежеспособной аудитории, заведения быстрого питания стали интенсивно развиваться [3].

Аналитиками NPD Group в 2021 г было подсчитано, что 57% рынка общественного питания занимает рынок «fast food». Это достаточно высокие показатели относительно европейских стран, таких как Германия, Франция и Великобритания. Данный показатель в вышеперечисленных странах демонстрирует более низкий процент, всего 25–50% всей индустрии [1, 3].

На рисунке 2 представлена диаграмма посещений потребителями заведений быстрого питания. Данные были представлены на основе проведенных транзакций [4].

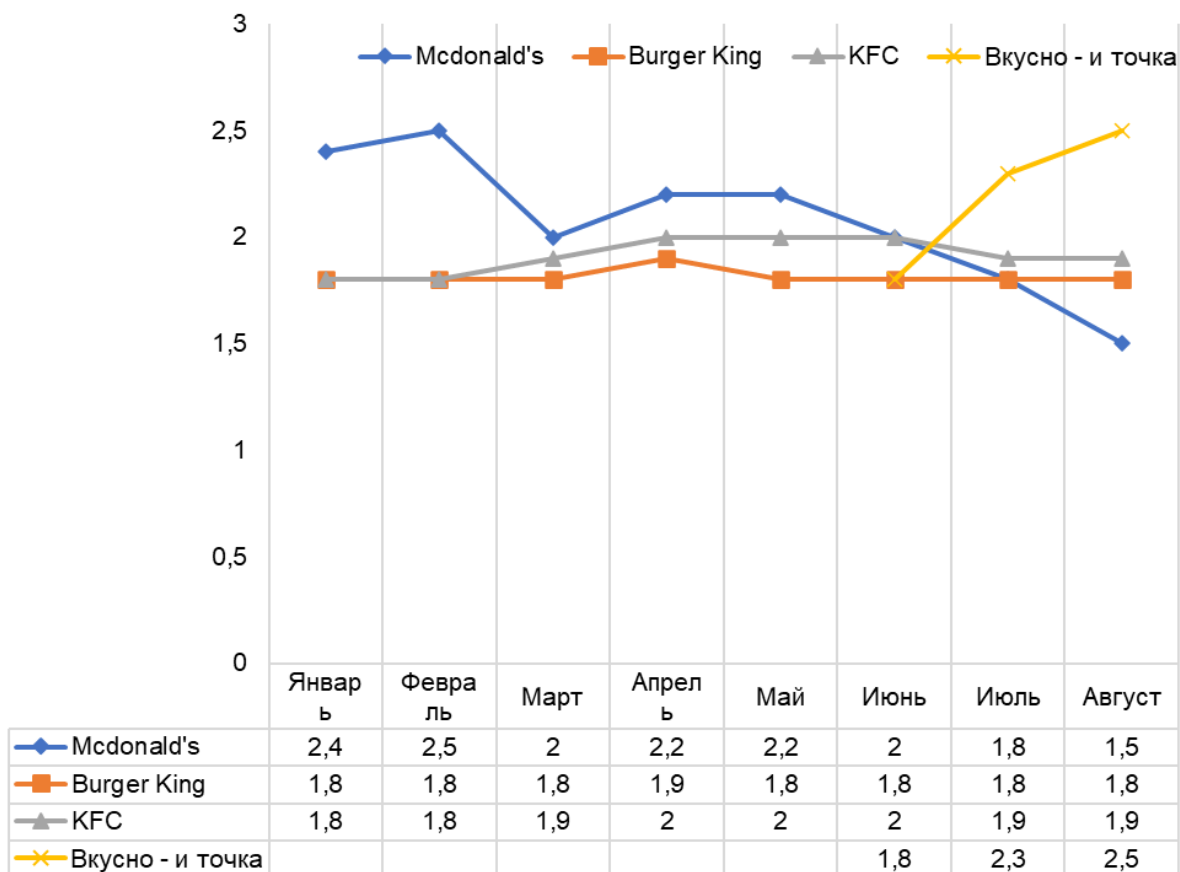


Рис. 2. Посещение потребителями заведений быстрого питания на основе произведенных транзакций

События, происходящие в 2022 г, привели к изменениям в индустрии общественного питания, так как зарубежные лидеры не могли осуществлять свою деятельность на российском рынке. В марте 2022 г было объявлено о временном закрытии ресторанов McDonald's, а в середине мая – об окончательном уходе с российского рынка. В эти моменты траты в исследуемом сегменте значительно снизились, а доля бренда от общего количества трат в ресторанах всех популярных сетей упала с 54 до 2%, 2% составляли рестораны, работающие по уникальным условиям франшизы до 2023 года.

После ухода ресторанов McDonald's KFC занял лидирующее положение на рынке общественного питания, доля которого составила 32%, остальные 22% принадлежали Burger King. С открытием ресторанов под новым брендом «Вкусно – и точка» сеть постепенно возвращалась к прошлым позициям McDonald's. К августу 2022 года доля суммарных трат в сети постепенно увеличивалась до 44%, при том, что не все рестораны «Вкусно – и точка», функционировавшие ранее под вывеской McDonald's, возобновили свою деятельность [4].

За последний год цены в ресторанах быстрого питания существенно увеличились, что объясняется усложнением логистики и расчетом с иностранными партнерами. Однако платежеспособность целевой аудитории сдерживает рост цен. Поэтому рынок быстрого питания останется одним из самых доступных секторов общественного питания в ближайшие годы [6].

Исследователи Тинькофф проанализировали часто заказываемые блюда потребителей и выявили, что самой популярной позицией является бургер. В 2021 году его заказывали более 40% посетителей (рис. 3) [7, 12].

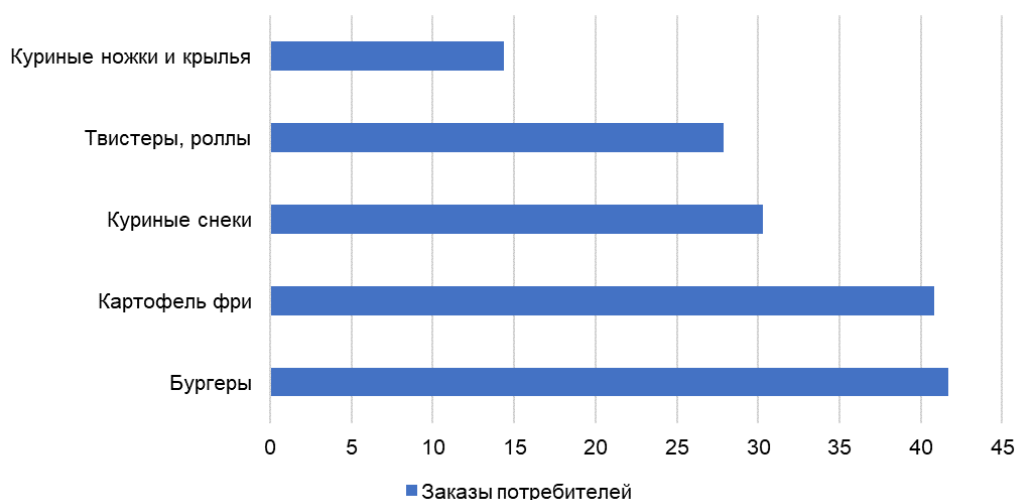


Рис. 3. Заказы потребителей в заведениях быстрого питания

При длительном употреблении блюд, указанных на рисунке 3, в большинстве случаев население сталкивается с различными заболеваниями, начиная от ожирения, проблемами с кожей, снижением энергии, апатией и заканчивая неизлечимыми заболеваниями, которые могут привести к летальному исходу [5, 11].

Если рассматривать состав булочки для гамбургеров, то чаще всего можно встретить следующие ингредиенты: мука пшеничная высшего сорта, дрожжи, соль, сахар, маргарин, улучшители и консерванты, сохраняющие свежесть изделия и удешевляющие себестоимость продукции. Пищевая ценность булочки для гамбургера приведена в таблице [8, 9, 10].

Таблица

**Пищевая ценность булочки для гамбургера**

Название нутриента	Содержание в 100 г продукта, г	% от нормы в 100 г, %
Белки	8,4	11
Жиры	2,2	4
Насыщенные жиры	0,4	2
Углеводы:	56,5	19
Крахмал	52,2	–
Пищевые волокна:	2,8	14
Витамины, мг		
В <sub>1</sub> , тиамин	0,13	
В <sub>2</sub> , рибофлавин	0,05	3
Е, α-токоферол	1,5	10
РР	1,3	7
Ниацин	1,3	–
Макроэлементы, мг		
К	117	5
Са	21	2
Mg	15	4
Na	456	35
Р	82	10
Микроэлементы, мг		
Fe	1,4	8

Проанализировав данные таблицы 1, можно сделать вывод о низкой пищевой ценности, представленной быстрыми углеводами, небольшим количеством пищевых волокон и витаминов. Отдельное внимание следует уделить натрию, количество которого удовлетворяет суточную потребность более чем на 30%. Тем самым, люди, употребляя стандартную порцию, не получают достаточного количества необходимых элементов. При этом в связи с отсутствием сложных углеводов, пищевых волокон организму не требуется большого количества времени для переваривания, поэтому через 2–3 часа у человека может появиться чувство голода.

Заведения быстрого питания занимают лидирующее положение на рынке, так как это способ немедленно насытиться за доступные для каждого потребителя средства. Анализ данного сегмента демонстрирует положительную динамику развития даже при всех существующих сложностях. Однако пищевая ценность исследуемого хлебобулочного изделия достаточно бедна по содержанию сложных углеводов, полноценных белков, витаминов и минеральных веществ. При регулярном употреблении блюд с пониженной пищевой ценностью возрастает риск развития основных социально-значимых заболеваний, так как дефициты в организме присутствуют, а ежедневные приемы пищи их не покрывают.

#### Список использованных источников

1. Официальный сайт «Группа NPD». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <https://www.npd.com/> (дата обращения: 28.03.2023).
2. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 28.03.2023).
3. Рынок быстрого питания в России в 2021–2022 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <https://www.vedomosti.ru/economics/news/> (дата обращения: 28.03.2023).
4. Анализ заведений фастфуда в 2021 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/> (дата обращения: 28.03.2023).
5. Mason K.E., Pearce N., Cummins S. Associations between fast food and physical activity environments and adiposity in mid-life: cross-sectional, observational evidence from UK Biobank. 2018. Vol. 3. Pp. 24–33.
6. Рынок фаст-фуда: развитие и прогнозы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://marketingsrv.ru/rynok-fastfuda.html> (дата обращения: 28.03.2023).
7. Рынок ресторанов быстрого питания – Рэй Джет. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://raydget.ru/2790-rynok-restorano-vbystrogo-pitaniya/> (дата обращения: 28.03.2023).
8. Булочка для гамбургера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tekhnolog.com/> (дата обращения: 28.03.2023).
9. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://intelmeal.ru/> (дата обращения: 28.03.2023).
10. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21. "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации".
11. Проблемы современного питания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://minzdrav.gov.by/en/dlya-belorussskikh-grazhdan/profilaktika-zabolevaniy/zdorovoe-pitanie/problemu-sovremennogo-pitaniya/> (дата обращения: 28.03.2023).
12. Какой фаст-фуд любят россияне. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/fastfood-stat> (дата обращения: 28.03.2023).

УДК 006.3/8

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ  
АРАМИДНЫХ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК**

*Ефимов Р.Д.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – доктор химических наук, доцент Слободов А.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

---

Особенно актуально владеть информацией о прочности при разрыве во время эксплуатации защитных костюмных тканей, потому как именно эти изделия подвергаются колоссальным нагрузкам в процессе их применения, а изготавливаются они из арамидной нити. Актуальность моей работы заключается в том, чтобы обратить особое внимание на необходимость создания защитных тканей из арамидных нитей, способных выдерживать экстремальные температуры и взаимодействие с различными веществами. С целью того, чтобы повысить безопасность и прочностные свойства данных материалов, так как это напрямую зависит с жизнью и здоровьем человека, если эти ткани используются в экстремальных и чрезвычайных ситуациях.

**Ключевые слова**

Арамидные ткани, термостойкие ткани, разрывная нагрузка, арамидные волокна.

---

В данной работе требуется добиться повышения физико-химических и физико-механических свойств арамидных тканей за счёт нанесения гидрофобных покрытий на поверхность материала (данные ткани используются для изготовления защитных костюмов пожарных и нефтегазовых рабочих).

В процессе работы на защитные костюмы может попадать вода, масло, нефть и прочие жидкости. Из-за этого арамидные ткани теряют свои прочностные характеристики (до 30% и выше). Также прочностные свойства тканей очень сильно зависят от переплетений нитей. Термодинамическое физико-химическое моделирование взаимодействия материала защитных костюмов с подобными жидкостями и другими реагентами позволит вскрыть механизмы взаимодействий и повысить его защитные свойства [1].

Другая важная характеристика защитного материала (aramидных тканей)-прочность при разрыве и эксплуатации (в ходе применения изделий они подвергаются колоссальным нагрузкам).

Объекты исследования для проведения испытаний были выбраны из трёх различных арамидных тканей по переплетению, поверхностной плотности и обработки ткани [2, 3]. Состав арамидных тканей содержит 98% арамидных волокон и 2% антистатических волокон.

Целью работы является изучение физико-химических и физико-механических свойств арамидных тканей с целью разработки высокоэффективных материалов.

В задачи работы входили теоретические и экспериментальные исследования: выявление общих процессов разрушений в условиях эксплуатации на данный момент изучены, однако механизмы на атомном и молекулярном уровне не изучены; изучение физико-механических свойств и расчёт фазово-химических превращений; обобщение полученных результатов и выявление общих закономерностей влияния параметров состава, и множество агрессивных сред.

По результатам проведенного анализа научных работ стало понятно, что прочностные характеристики при намокании у арамидных тканей ухудшаются и по данной теме назрела необходимость разработки новых подходов и методов изготовления арамидной ткани.

Улучшение метода по изготовлению тканей и одежды из арамидных нитей повышенной защиты для работников нефтегазовой промышленности. Данные улучшения будут получены за счёт оптимального подбора и переплетения нитей. Благодаря этому будут улучшены показатели

---

прочности, гигроскопичности, химической и термостойкости защитного материала (костюмов). Также будут смоделированы экстремальные ситуации для данных тканей и проведены исследования с целью повышения их защитных свойств.

Решение технической проблемы повышения качества защитной одежды для работников нефтегазовой промышленности, которая относится к данной специальности, состоит в существенном совершенствовании известных методов измерения и расчета физико-механических и физико-химических характеристик арамидной ткани, которые обусловлены требованиями развития науки и техники в нефтегазовой промышленности.

Для решения задач необходимо создание новых технических подходов по производству защитной одежды из арамидных тканей, благодаря которым будет обеспечиваться наивысшая безопасность для работников нефтегазовой отрасли и повышаться качество продукции. Область исследования связана с измерениями и расчетом механических, тепловых, аналитических и структурно-аналитических величин.

С этой целью планируется провести не только экспериментальные исследования механических и тепловых характеристик тканей, но также экспериментальные и расчетно-модельные исследования физико-химического взаимодействия тканей с окружающей атмосферой, влагой, химическими реактивами различной природы (пропитками ткани, горючими и агрессивными жидкостями)-в том числе, в экстремальных температурных условиях.

Полученные в результате испытаний и расчетов аналитические и структурно-аналитические величины (состава и концентрации веществ-продуктов взаимодействия тканей с атмосферой, пропиточными жидкостями, реактивами и др.) определяют научную основу для совершенствования технологии изготовления защитных тканей и изделий из них с целью повышения их защитных физико-механических и физико-химических характеристик.

Для разработки улучшенной арамидной ткани необходимо применить методы моделирования, их перспективности, то, что основа физико-механических характеристик материала это-его физико-химические свойства. Их понимание, вскрытие физико-химических механизмов взаимодействий важно как для процесса синтеза материала из набора исходных веществ-компонентов, так и для области их применения, в особенности, в экстремальных условиях (защита от температуры, влаги, агрессивных реактивов, окружающей среды, сохранения пропитки), когда протекают самые различные фазовые и химические взаимодействия и превращения.

Необходимо провести моделирование тканей по одному из известных методов. Нами использованы как ранее разработанные на кафедре ткачества методы, так и разработанные нами, такие, как методы моделирования тканей по заданной водопроницаемости тканей, по прочности закрепления ворса в ткани, по раздвигаемости нитей, по гигиеническим свойствам. В основе этих методов-развитие теории геометрического строения ткани проф. Н.Г. Новикова и механики нити. Использование данного метода позволяет еще на стадии моделирования ткани выяснить напряженность ткани, оценить возможность разрыва ткани в процессе эксплуатации, подобрать необходимый состав ткани с целью получения максимально-возможной прочности арамидной ткани и ее защитных свойств.

Результаты моделирования при успешной их реализации дают теоретическую основу защитных свойств изучаемых материалов и определяют физико-химическую основу существующих и новых технологий по производству тканей из арамидных нитей, а также в условиях эксплуатации (взаимодействия с различными по природе агентами).

Метод моделирования позволит оценить защитные свойства ткани с учетом состава используемых нитей и технологических параметров изготовления ткани.

В результате выполнения данной работы были получены следующие выводы по определению механизмов, создание базы данных, разработки термодинамического моделирования, также были начаты экспериментальные исследования и изучены возможности расчётно-модельного аппарата. Результаты анализа показали, что назрела необходимость разработки новой методики производства арамидной ткани, которая будет сохранять



тепломеханические свойства при контакте с различными жидкостями. А также сравнения арамидных тканей различных производителей и оценка их физико-механических и физико-химических свойств.

#### **Список использованных источников**

1. Перепелкин К.Е., Кудрявцев Г.И. Армирующие химические волокна и композиционные материалы на их основе // Химические волокна. 1981. №. 5. С. 17–23.
2. Перепелкин К.Е., Мачалаба Н.Н., Будницкий Г.А., Курылева Н.Н. Параарамиды в текстиле и композитах – высокомодульные волокнистые материалы для обеспечения надежности и безопасности // Вестник Санкт-Петербург. гос. ун-та. технологий и дизайна. 2000. №. 4. С. 42–47.
3. Новиков Н.Г. О строении ткани и о проектировании ее с помощью геометрического метода. [Текст] / Текстильная промышленность. 1946. №. 2. С. 9–17. №. 4, 5. С. 18–24. №. 11, 12. С. 17–25.

УДК 634.721

## ВЛИЯНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРА РОСТА НА РАЗВИТИЕ RIBES NIVEUM В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

*Иванова Д.И.<sup>1</sup> (студент), Кременевская М.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: geijr0611@yandex.ru, mikremenevskaia@itmo.ru*

---

В работе рассмотрено применение биостимулятора роста при обработке кустов белой смородины сорта «Версальская белая». Представлены технологические особенности обработки растений с целью эффективного применения биостимулятора роста в ягодном садоводстве, выявлены преимущества и недостатки применения биостимулятора роста на развитие *Ribes niveum* в условиях Северо-Западного региона.

### **Ключевые слова**

Белковые гидролизаты, биостимуляторы роста, *Ribes niveum*, ягодное садоводство, защита растений.

---

Ключевую роль в сельском хозяйстве не перестаёт играть растениеводство. Данная отрасль включает в себя разнообразное количество культур – от плодово-ягодных до лесных. Одним из таких растений является смородина (*Ribes niveum*), известная ещё со времен древней Руси.

Смородина является уникальным видом, обладает богатым набором полезных элементов, необходимых для жизнедеятельности организма [1]. К сожалению, различные виды данной культуры востребованы в производстве продуктов питания страны не в полной мере. Фактическое потребление плодов и ягод на сегодняшний день составляет порядка 53 кг на душу населения в год, при научно обоснованной норме – 81 кг [3].

Для данной культуры необходимо разрабатывать новые технологии возделывания, уборки и хранения, так как получаемая ягодная продукция относится к скоропортящейся. Факторы окружающей среды, поражение болезнями и вредителями также оказывают негативное воздействие на урожайность культур.

В настоящее время всё чаще применяют биостимуляторы роста / белковые гидролизаты [2], которые комплексно оказывают воздействие на растение, ускоряя его развитие, улучшая показатели качества [4]. Их применение в незначительных количествах [5] позволяет ускорить наступление фенологических фаз, тем самым способствует сокращению вегетационного периода, что в целом выполняет технологическую задачу.

Плодово-ягодная отрасль в России увеличивает темпы своего оборота. Как указывают сведения Министерстве сельского хозяйства [6], урожай плодов и ягод в России в 2022 году достиг рекордного показателя в 1,5 млн тонн, что на 5% больше, чем годом ранее. Применение биостимуляторов роста в ягодном производстве также будет способствовать повышению урожайности плодово-ягодных культур.

Образцом для исследования был выбран сорт белой смородины «Версальская белая» [<https://reestr.gosortrf.ru/sorts/4850823/>]. Вид Белой смородины относится к семейству Крыжовниковых, роду Смородина. Ягоды имеют сочную мякоть, с незначительной кислинкой на вкус. По отношению к плодам черной смородины, запах исследуемого сырья практически отсутствует, содержат больше сахара и меньше кислот, чем и привлекают по вкусу [3].

Белая смородина разнообразна и по биохимическому составу. Она богата углеводами, жирами, клетчаткой и белками. В ней также присутствуют моносахариды и дисахариды, собраны витаминные комплексы (А, В, Р, Е), макро- и микроэлементы [1].

Значительное содержание антиоксидантов, находящихся в Белой смородине, позволяет ее использовать в профилактике опухолевых образований, а специфика биохимического состава, содержания биологически активных веществ – в восстановлении водно-электролитного баланса

---

и регулировании степени разжижения крови. Растение не вызывает аллергических реакций, в отличие от других видов.

Пищевая ценность в разных видах смородины отличается, правда ненамного. В таблице представлены сами нутриенты и виды смородины, а также их сравнительная характеристика по отношению к важным компонентам организма.

Таблица

**Химический состав и пищевая ценность различных видов смородины**

Показатели	Содержание веществ, процент от рекомендованного уровня суточного потребления (%)		
	чёрная	красная	белая
Сумма моно- и дисахаридов	7,3 г (5,25%)	7,7 г (5,54%)	8 г (5,76%)
Органические кислоты	2,3 г	2,5 г	2 г
Пищевые волокна	4,8 г (24%)	4,3 г (17%)	3,4 г (17%)
Вода	83 г (3,06%)	85 г (3,14%)	85,4 г (3,16%)
Белок	1 г (1,09%)	0,6 г (0,65%)	0,5 г (0,54%)
Жир	0,4 г (0,6%)	0,2 г (0,3%)	0,2 г (0,3%)

Исследование проводилось в условиях Северо-Западного федерального округа, в Новгородской области. Данное место, согласно рекомендациям ФГБУ «Госсорткомиссия», является благоприятным для развития белой смородины сорта «Версальская белая».

Обработку *Ribes niveum* проводили в конце мая 2022 года. Кусты опрыскивали водным раствором белкового гидролизата, концентрацией 600 мг/л, после появления первых листовых пластин на веточках, перед стадией цветения, при помощи распылительной форсунки с помповым насосом и клапаном сброса давления. Белковый гидролизат был получен методом неферментативного гидролиза из побочного мясного сырья.

Исследования влияния обработки белковым гидролизатом на рост и развитие восьмилетних кустов белой смородины *Ribes niveum* сорта «Версальская белая» в процессе вегетационного периода показали следующее. По отношению к контрольным, экспериментальные образцы имели более интенсивное нарастание зелёной массы с цветовой гаммой листовой поверхности более насыщенного салатного цвета, сравнимого с молодыми, двухлетними кустами. Листовая поверхность обработанных образцов была крупнее, на ней выявлено хорошо просматриваемое жилкование.

По результатам данным, обеспечивающим доверительный интервал случайной погрешности результата измерения 0,95, была рассчитана площадь листовой поверхности с помощью программы *ApfillInk×TonerCoverageMeter* [7]. Для контрольного образца она составила 110,64 см<sup>2</sup>, для экспериментального – 120,62 см<sup>2</sup>.

Установлено отсутствие болезней растений на кустах, обработанных белковым гидролизатом, что способствовало повышению урожайности ягодной продукции, по отношению к контролю, на 22%. Как видно на фото, представленном на рисунке (а), поражение контрольных образцов болезнями *Sphaerotheca* и *Ribes virus* привели к потемнению и увяданию ягод.

Диаметр плодов экспериментальных образцов больше, по отношению к контролю, и составляет, соответственно, 10 и 8 мм.

В работе представлено исследование по влиянию биостимулятора роста на развитие белой смородины сорта «Версальская белая» в условиях Северо-Западного региона, определены технологические особенности применения биостимулятора роста, проведён сравнительный анализ образцов белой смородины, выявлена эффективность применения белкового гидролизата в ягодном садоводстве.



а)

б)

Рисунок. Влияние стимулятора роста на экспериментальные образцы белой смородины: а – контрольный; б – экспериментальный образец

Таким образом, установлена эффективность биостимулятора, полученного из сырья животного происхождения, для обработки кустов белой смородины сорта «Версальская белая» в условиях Северо-Западного региона. Сравнительный анализ экспериментальных и контрольных образцов показал, что применение биостимулятора способствует росту и развитию растений, влияет на улучшение морфологических показателей. Обработка растений, по всей вероятности, благоприятствует проявлению защитных механизмов в экспериментальных образцах, повышает устойчивость смородины к стрессам и неблагоприятным климатическим условиям (температурные диапазон от +11°C до +31°C в период вегетации), снижает ее заболеваемость.

В дальнейшей работе планируется выявить динамику изменения биохимического состава в листьях *Ribes niveum* в процессе вегетации, с помощью инфракрасной спектроскопии.

### Литература

1. Kremenevskaya M.I., Sosnina O.A., Semenova A.A, Udina I., Glazova A.E. Meat industry by-products for berry crops and food production quality improvement // *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15. №. Spec.2. Pp. 1330–1347.
2. Halpern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T., Yermiyahu U. Chapter Two - The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake // *Advances in Agronomy*. 2015. №. 130. Pp. 141–174.
3. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинко О.В. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2019. 88 с.
4. Colla G., Nardi S., Cardarelli M., Ertani A., Lucini L., Canaguier R., Roupheal Y. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture // *Scientia Horticulturae*. 2015. №. 196. Pp. 28–38.
5. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant Soil* 2014. №. 383. Pp. 3–41.
6. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации // В России собран рекордный урожай плодов и ягод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/v-rossii-sobran-rekordnyy-urozhay-plodov-i-yagod-86978/> (дата обращения: 06.01.2023).
7. Дмитриев Н.Н., Хуснидинов Ш.К. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии // *Вестник КрасГАУ*. 2016. №. 7. С. 88–93.

УДК 664.19

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Йимер Г.А.<sup>1</sup> (аспирант), Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: getnet.awoke@itmo.ru, barakova@itmo.ru*

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

---

В статье рассмотрены факторы, влияющие на твердость, липкость, текстуру макаронных изделий. Экструзия должна осуществляться при температуре не выше 50°C и давлении от 9 до 12 МПа, при скорости вращения шнека экструдера 25 об/мин. Высокотемпературную сушку макаронных изделий необходимо проводить на конечной стадии сушки при низкой влажности теста. При производстве безглютеновых макарон, при замене пшеничной муки на рисовую, гороховую, чечевичную, картофельный и кукурузный крахмалы необходимо дополнительно вносить ингредиенты, обеспечивающие требуемую текстуру макаронных изделий.

### **Ключевые слова**

Макаронные изделия, экструзия, высокотемпературная сушка, твердость, липкость, текстура, добавки.

---

Макаронные изделия становятся все более популярными во всем мире. При их производстве используют хлебопекарную муку, полученную из твердых сортов пшеницы. Показатели качества макаронных изделий определяют согласно ГОСТ 31964–2012 «Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества». К показателям качества относятся вкус, запах, форма, цвет, сохранность формы сваренных макаронных изделий, количество сухих веществ, перешедших в варочную воду. Текстура макаронных изделий, в основном, определяется консистенцией белковой матрицы глютена и тем, насколько хорошо она поддерживается на протяжении всего процесса приготовления макарон [1, 2]. В процессе производства макаронных изделий двумя важными технологическими этапами являются экструзия и сушка. В случае перегрева или переутомления теста макаронные изделия получаются некачественными – липкими и слизистыми [3].

Физические характеристики теста для производства макаронных изделий и текстура приготовленных макаронных изделий могут быть отрицательны, если температура теста в экструдере составляла выше 50°C [4]. Качество приготовления макаронных изделий зависит также от давления экструзии [5]. При чрезмерном давлении тесто внутри экструдера срезается и разрывается, что приводит к повреждению структурой матрицы белка и потере качества приготовленных макарон. Давление экструзии рекомендуется поддерживать в районе 9–12,5 МПа [6]. Оптимальными условиями для обеспечения твердости макаронных изделий являются: водопоглощительные свойства муки, которые должны быть в районе около 31%, температура в экструдере – от 35 до 45°C, скорость шнека – 25 об/мин [7].

На качество приготовления макаронных изделий значительно влияют условия сушки. Решающее значение имеют температура и влажность воздушного потока. Если высокую температуру сушки применять при высокой влажности теста, то вода, находящаяся внутри теста, быстро мигрирует на поверхность макаронного изделия, испаряется и изделие начинает твердеть и трескаться [8]. Высокую температуру рекомендуют применять в конце сушки изделий. Более высокие температуры желатинизации крахмала, повышенная вязкость пасты,

---

уменьшение набухания гранул крахмала и уменьшение амилозы - вещества, ответственного за поверхностную липкость приготовленных спагетти, являются результатом изменений крахмала во время высокотемпературной сушки. Повышение температуры сушки до 100°C и перевод высокотемпературной фазы на более позднюю стадию сушки (при сниженной влажности макаронных изделий) улучшает текстуру макаронных изделий [9]. Снижение потерь частиц в воде при приготовлении макарон, снижение липкости поверхности, улучшение твердости и повышение толерантности к пережевыванию – все это преимущества высокотемпературной сушки макаронных изделий [10].

Важное значение для получения качественных макаронных изделий имеют размеры частиц пшеничной муки. По мере уменьшения размера частиц твердость теста увеличивается. Лапша из пшеничной муки с меньшими размерами поглощает больше воды, поэтому времени на ее приготовление требуется больше, а качество лапши ухудшается – повышается твердость лапши, ухудшается ее жевательность [11].

Особая роль при производстве макаронных изделий отводится глютену. По мере увеличения содержания белка макаронные изделия становятся более твердыми и упругими, менее липкими [12, 13, 14]. Признано, что пшеница, с ее высоким содержанием белка - глютена, является лучшим сырьем для приготовления традиционных сухих макаронных изделий. В результате повышения осведомленности потребителей о взаимосвязи между продовольствием и здоровьем и потребностями людей, соблюдающих безглютеновые диеты, производитель должен производить макаронные изделия не из пшеничной муки. Безглютеновые продукты становятся все более популярными, поскольку все больше людей страдает от целиакии - непереносимости глютена и нуждаются в безглютеновой диете [15].

Безглютеновые макаронные изделия могут быть изготовлены с использованием муки, полученной из ингредиентов, отличных от пшеницы, таких как рис, крахмал, картофель, кукуруза, горох, чечевица и т. д. Поскольку белок в этих продуктах не может образовывать глютенную матрицу, типичную для макаронных изделий, изготовленных из пшеницы, для получения продукта удовлетворительного качества необходимо проводить обогащение муки специальными ингредиентами - такими, как гидроколлоиды [16], пектин [17] или ферменты, или путем реализации соответствующих технологических приемов, которые могут улучшить функциональные качества, текстуру и вкус продукта [18, 19].

Для сохранения твердой структуры и уменьшения липкости макаронных изделий, для усиления белковой части макарон можно добавить яичный альбумин. Кроме того, яичный альбумин улучшает текстуру, повышает питательную ценность, меняет цвет макаронных изделий, но при этом необходимо учитывать, что во многих странах дополнительное внесение яиц в тесто для макарон не одобряется из-за проблем с санитарией и аллергией [20]. Для улучшения белковой матрицы при производстве макаронных изделий используют также L-аскорбиновую кислоту [21].

#### **Список использованных источников**

1. Sissons M., Cutillo S., Marcotuli I., Gadaleta A. Impact of durum wheat protein content on spaghetti in vitro starch digestion and technological properties // *J. Cereal Sci.* 2021. Vol. 98. P. 103156.
2. Milde L.B., Rivero D.A., Chigal P.S., Zubreski E., Chade M., Brumovsky L.A. Changes in the physical, textural and chemical properties of the enriched pasta elaborated with cassava starch // *Int. J. Gastron. Food Sci.* 2021. Vol. 25. P. 100396.
3. Bresciani A., Pagani M.A., Marti A. Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality // *Foods.* 2022. Vol. 11. №. 3. 256 p.
4. Baiano A., Conte A., Del Nobile M.A. Influence of drying temperature on the spaghetti cooking quality // *J. Food Eng.* 2006. Vol. 76. №. 3. Pp. 341–347.
5. Petitot M., Abecassis J., Micard V. Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity // *Trends Food Sci. Technol.* 2009. Vol. 20. №. 11–12. Pp. 521–532.

6. Singh B., Sharma C., Sharma S. Fundamentals of extrusion processing // *Open Science Framework*, preprint, May 2020. DOI: 10.31219/osf.io/xqa5n.
7. Bouasla A., Wójtowicz A. Rice-Buckwheat Gluten-Free Pasta: Effect of Processing Parameters on Quality Characteristics and Optimization of Extrusion-Cooking Process // *Foods*. 2019. Vol. 8. №. 10. 496 p.
8. M. Sissons, J. Abecassis, B. Marchylo, and R. Cubadda. Methods Used to Assess and Predict Quality of Durum Wheat, Semolina, and Pasta in Durum Wheat // *Elsevier*. 2012. Pp. 213–234.
9. Cubadda R.E., Carcea M., Marconi E., Trivisonno M.C. Influence of Gluten Proteins and Drying Temperature on the Cooking Quality of Durum Wheat Pasta // *Cereal Chem. J.* 2007. Vol. 84. №. 1. Pp. 48–55.
10. Sissons M., Cutillo S., Egan N., Farahnaky A., Gadaleta A. Influence of Some Spaghetti Processing Variables on Technological Attributes and the In Vitro Digestion of Starch // *Foods*. 2022. Vol. 11. №. 22. 3650 p.
11. Guan E., Pang J., Yang Y., Zhang T., Li M., Bian K. Effects of wheat flour particle size on physicochemical properties and quality of noodles // *J. Food Sci.* 2020. Vol. 85. №. 12. Pp. 4209–4214.
12. Dowell F.E. Differentiating Vitreous and Nonvitreous Durum Wheat Kernels by Using Near-Infrared Spectroscopy // *Cereal Chem. J.* 2000. Vol. 77. №. 2. Pp. 155–158.
13. Rodríguez De Marco E., Steffolani M.E., Martínez C.S., León A.E. Effects of spirulina biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta // *LWT - Food Sci. Technol.* 2014. Vol. 58. №. 1. Pp. 102–108.
14. Wood J.A. Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality // *J. Cereal Sci.* 2009. Vol. 49. №. 1. Pp. 128–133.
15. Padalino L., Conte A., Del Nobile M. Overview on the General Approaches to Improve Gluten-Free Pasta and Bread // *Foods*. 2016. Vol. 5. №. 4. 87 p.
16. Martín-Esparza M.E., Raigón M.D., Raga A., Albors A. High fibre tiger nut pasta and xanthan gum: cooking quality, microstructure, physico-chemical properties and consumer acceptance // *Food Sci. Biotechnol.* 2018. Vol. 27. №. 4. Pp. 1075–1084.
17. Aravind N., Sissons M., Egan N., Fellows C. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti // *Food Chem.* 2012. Vol. 130. №. 2. Pp. 299–309.
18. Lucisano M., Cappa C., Fongaro L., Mariotti M. Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the cooking behaviour // *J. Cereal Sci.* 2012. Vol. 56. №. 3. Pp. 667–675.
19. Marti A., Barbiroli A., Marengo M., Fongaro L., Iametti S., Pagani M.A. Structuring and texturing gluten-free pasta: egg albumen or whey proteins? // *Eur. Food Res. Technol.* 2014. Vol. 238. №. 2. Pp. 217–224.
20. Wójtowicz A. *Precooked Pasta in Extrusion-Cooking Techniques*// Wiley. 2011. Pp. 99–117.
21. Sissons M. Development of Novel Pasta Products with Evidence Based Impacts on Health—A Review // *Foods*. 2022. Vol. 11. №. 1. P. 123.

УДК 631.8

## АНАЛИЗ РЫНКА УДОБРЕНИЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

*Комарова П.В.<sup>1</sup> (студент), Галлямова Д.Р.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат исторических наук, доцент Соснило А.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: marketing.lunarium@yandex.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №621280 «Методы проектирования и развития инновационных предпринимательских систем в условиях изменений трендов, вызовов и бизнес-моделей»*

---

В работе проведен анализ рынка удобрений нового поколения и анализ российских производителей инновационных удобрений и биодобавок с целью определения вектора развития современного сельского хозяйства. Проанализирована механика ценообразования и оценены основные факторы, влияющие на рынок производства удобрений.

### **Ключевые слова**

Удобрение, растениеводство, динамика рынка, конкурентный анализ, структура производства.

---

В сельском хозяйстве удобрения играют одну из важнейших ролей для роста сельскохозяйственных культур. На протяжении многих лет традиционные удобрения (органические удобрения (перегной, компост, торф) и минеральные (зола, основные фосфорные, калийные и комплексные) играли решающую роль в улучшении плодородия почвы и повышении урожайности. Однако с ростом спроса на устойчивое сельское хозяйство и необходимостью защиты окружающей среды растет интерес к разработке удобрений нового поколения. Эти удобрения призваны быть более эффективными и экологичными по сравнению с традиционными удобрениями.

Потребность аграриев в удобрениях растет от года в год. Так, потребление всех удобрений с 89,6 млн тонн в 1970-х возросло до 215,37 млн тонн в 2019 году. В 2021 году объем мирового рынка удобрений составил более 193 миллиардов долларов США, увеличившись примерно на 12 процентов по сравнению с 2020 годом. Согласно прогнозам, к 2030 году объем рынка удобрений превысит 240 миллиардов долларов США. По мере роста населения, самым эффективным способом обеспечения населения продовольствием становится внесение большего количества удобрений или использование более эффективных видов удобрений. Все эти факторы толкают фермерские хозяйства на использование комплексных удобрений нового поколения, способных как увеличить урожайность сельскохозяйственных угодий, так и уменьшить количество вносимых биодобавок в грунт, что в перспективе должно обеспечить снижение нагрузки на почву и предотвратить ее эрозирование и истощение.

Целью данной работы является оценка рынка удобрений нового поколения. Актуальность работы заключается в объекте исследования – в большинстве существующих работ оценивается только рынок традиционных однокомпонентных удобрений: калийных, фосфорных и азотных, без учета доли комплексных добавок и удобрений на биологической основе.

Удобрения нового поколения – современный тип удобрений, которые были разработаны с учетом текущих проблем в сельском хозяйстве, таких как ухудшение качества почвы, истощение полезных ископаемых и негативные воздействия на окружающую среду, они улучшают плодородие почвы без негативного воздействия на окружающую среду, а также могут быть разработаны специально для использования в определенных климатических условиях или типах почвы [1].

---



В большинстве своем они ориентированы на определенный тип грунта или на повышение эффективности доставки питательных веществ к корневой системе растения. Условно их можно объединить в следующие группы:

- удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ;
- бактериальные удобрения;
- микроудобрения;
- комплексные удобрения [6, 7, 8].

По статистике за 2022 год, общемировой рынок удобрений составил более 193 миллиардов долларов, что свидетельствует о его росте на 12% по сравнению с предыдущим годом (рис. 1). Однако мировой рынок все равно столкнулся с дефицитом удобрений, причиной которого послужили изменения цепочек поставок, а также увеличение стоимости природного газа [2].

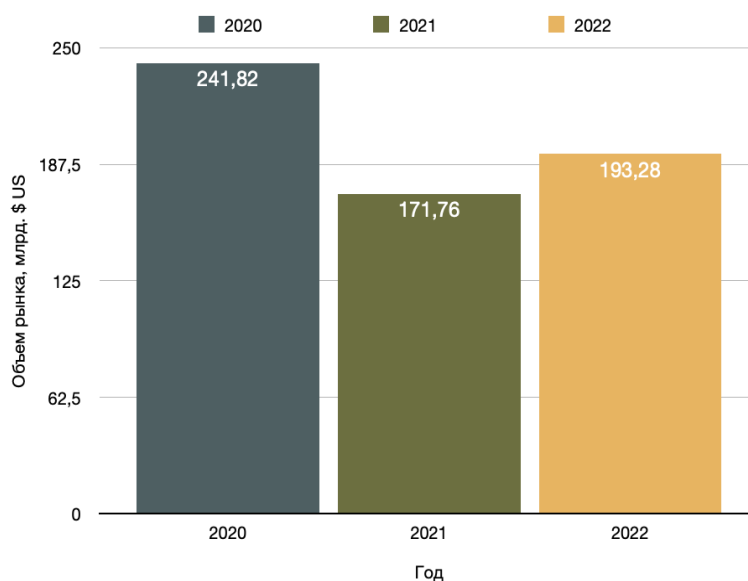


Рис. 1. Объем мирового рынка удобрений

Эксперты прогнозируют рост рынка до 240 миллиардов долларов к 2030 году. В то же время классические минеральные однокомпонентные удобрения занимают большую часть рынка, а размер инвестиций в комплексные и удобрения с контролируемым высвобождением составил всего 42,6 с прогнозом роста до 55,6 и 2,7 с перспективой роста до 3,6 миллиардов долларов США к 2027. Доля же инновационных бактериальных удобрений в общем объеме крайне ничтожна и составляет менее 5% [9].

Рост рынка обуславливается прежде всего ростом цен на удобрения, а не увеличением производства (рис. 2).

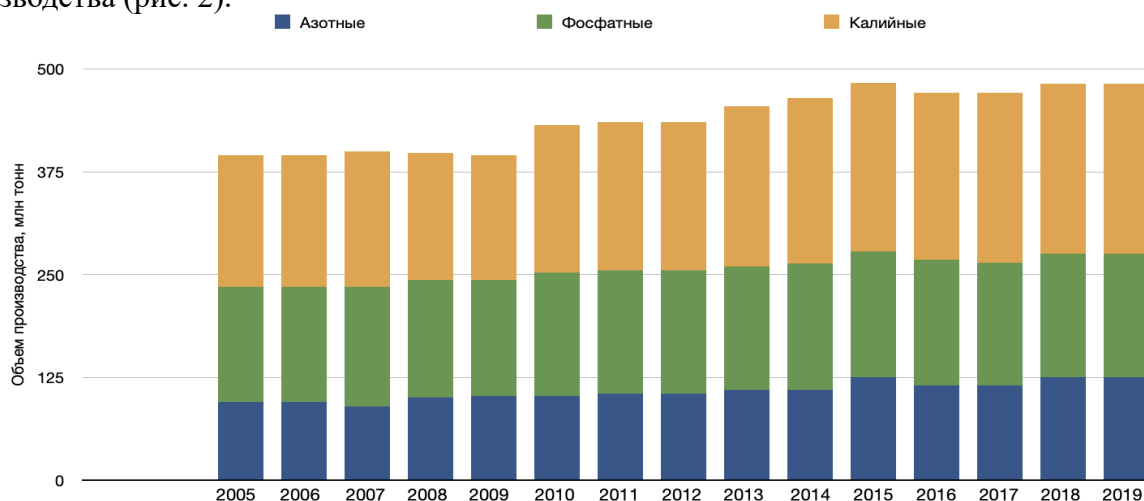


Рис. 2. Мировой объем производства удобрений

Это может быть связано прежде всего с ростом цен на газ, так как основной статьей расходов при производстве азотных удобрений является именно природный газ, и его доля от общих затрат на производство может достигать от 70 до 90%. При стоимости газа свыше 700 долларов за тысячу кубометров, производство азотных удобрений вообще становится нерентабельным [4]. США Одним из направлений по снижению стоимости производства удобрений всех типов может стать переход на альтернативные источники энергии [5].

На текущий момент производство удобрений, завязанное на использовании угля, осуществляется только в Китае и Западной Европе.

Несмотря на кажущуюся монополизацию однокомпонентных удобрений на мировом рынке, у удобрений нового поколения есть потенциал. Размер инвестиций в стартапы серии «В» в сфере «умных» удобрений возрос с 3,8 миллионов долларов до 11,5 и продолжает расти [3]. Однако цитаделью проектов с доступной экосистемой для создания такого рода бизнеса всё еще остается Кремниевая долина, Нью-Йорк, Лондон и Тель-Авив (по числу стартапов, зарегистрированных в юрисдикции стран).

В России тоже наблюдается рост в количестве запущенных агротех-стартапов: сегодня рынок представлен более чем 220 технологическими компаниями с уровнем готовности технологии на уровне MVP. Более 24% из них выбирают биотехнологии в качестве направления основной деятельности. Среди них и производители инновационных удобрений: компания «Экоген», «Biocraft», «Zion».

Большая часть рынка удобрений в России разделена между крупнейшими предприятиями, такими как Фосагро (выручка 421 млрд рублей), ЕвроХим (выручка 323 млрд рублей), Акрон (выручка 137 млрд рублей), УралХим (выручка 130 млрд рублей) и другие. Россия является крупнейшим экспортером минеральных удобрений в мире, однако и комплексные и инновационные продукты на базе предприятий разрабатываются: Акварин, Аквамикс, КМУС (Буйский химический завод), Aqua Drop, NPK Avroga (ЕвроХим), ЖКУ (Фосагро).

На протяжении многих лет традиционные удобрения играли решающую роль в улучшении плодородия почвы и повышении урожайности, однако с изменением климата, ростом спроса на устойчивое сельское хозяйство и необходимостью защиты окружающей среды растет интерес к использованию удобрений нового поколения. Удобрения нового поколения доказали свою эффективность и экологичность по сравнению с традиционными удобрениями. Более того, все больше становится агротех-стартапов, которые поднимают новые раунды инвестиций и продолжают проводить исследования и попытки по созданию более эффективных и экологичных удобрений.

#### **Список использованных источников:**

1. Ильин Д. Удобрение нового поколения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.apk-news.ru/udobrenie-novogo-rokoleniya/> (дата обращения: 03.03.2023).
2. Рынок удобрений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tinkoff.ru/invest/research/review/2022-fertilizers/> (дата обращения: 03.03.2023).
3. The Global Startup Ecosystem Report Agtech & New Food Edition. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://startupgenome.com/report/gser-agtechandnewfoodedition> (дата обращения: 03.03.2023).
4. Fertilizer Focus Magazine. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.argusmedia.com/en/fertilizer/fertilizer-focus> (дата обращения: 03.03.2023).
5. Длуцкий К. Глобальный рынок удобрений: обзор и прогнозы – 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://specagro.ru/news/202210/globalnyy-rynok-udobreniy-obzor-i-prognozu> (дата обращения: 03.03.2023).
6. Американский стартап намерен выпустить удобрения нового поколения – 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://specagro.ru/news/202210/globalnyy-rynok-udobreniy-obzor-i-prognozu> (дата обращения: 03.03.2023).
7. Зарипова К.Ф., Раджабов А.К. Результаты испытания гелевых удобрений нового поколения в условиях горно-долинного Крыма на столовом сорте винограда Италия // Известия ТСХА. 2022. №. 1. С. 5–11.

8. Российские ученые разработали удобрение нового поколения на основе нанопорошков металлов – 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/rossijskie-uchenye-razrabotali-udobrenie-novogo-pokoleniya-na-osnove-nanoporoshkov-metallov> (дата обращения: 03.03.2023).
9. В Group DF посчитали объем рынка удобрений за 2022 год – 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ukragroconsult.com/ru/news/v-group-df-poschitali-obem-rynka-udobrenij-za-2022-god/> (дата обращения: 03.03.2023).

УДК 633.854.78

## ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ ПОЛИСАХАРИДОВ В ПРОЦЕССАХ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОДСОЛНЕЧНОГО БЕЛКА

*Крылова И.В.<sup>1,2</sup> (студент), Демьяненко Т.Ф.<sup>2</sup>, Шагинова Л.О.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>ВНИИЖиров

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

---

В статье обоснована целесообразность ферментативной обработки полисахаридов шрота подсолнечника для получения изолятов белков. В качестве субстрата использовалась белковая фракция подсолнечного шрота, полученная в результате сухого фракционирования промышленного шрота. Гидролиз полисахаридов проводили с помощью комплексного ферментного препарата «Целлолюкс-А», обладающего целлюлазной, β-глюканазной и ксиланазной активностью. В результате в лабораторных условиях получен изолят подсолнечного белка с содержанием сырого протеина 94% на сухие вещества.

### **Ключевые слова**

Подсолнечный шрот, ферментативная обработка, сырой протеин, сырая клетчатка, целлюлаза.

---

Выделение белка из растительного сырья затруднено прочными клеточными стенками. Для более полного извлечения белка их разрушают различными реагентами (кислоты, щелочи и др.) [1]. При воздействии щелочей на клеточную стенку происходит ряд процессов: кристаллическая целлюлоза превращается в аморфную, разрушаются химические связи лигнина с ксиланом, возрастает растворимость лигнина, полисахаридов и гемицеллюлоз [2]. Разрушение клеточных стенок способствует экстракции белка, так как белки легче выходят в раствор. Однако при этом может происходить частичная денатурация белка.

Чтобы сохранить нативные свойства белка, необходимо разрушать компоненты клеточной стенки в более мягких условиях. Одним из возможных методов является применение ферментных препаратов, расщепляющих компоненты клеточных стенок. Воздействие ферментов также более специфично в отличие от других реагентов (минеральных кислот).

В шротах масличных растений содержится большое разнообразие структурных углеводов. В стенках растительных клеток входят преимущественно лигнин, целлюлоза и гемицеллюлоза, а в деревянистых частях растений (в том числе в лузге) преобладает лигнин. В шроте подсолнечника содержится до 18–20% сырой клетчатки, включающей пектин и, частично, гемицеллюлозу, целлюлозу и лигнин. Отдельно выделяют кислотно-детергентную и нейтрально-детергентную клетчатку. Нейтрально-детергентная клетчатка (часть сырой клетчатки) включает гемицеллюлозу, целлюлозу и лигнин и составляет в подсолнечном шроте около 30%. Кислотно-детергентная клетчатка (часть нейтрально-детергентной клетчатки) включает целлюлозу и лигнин и составляет в подсолнечном шроте около 24%. Содержание гемицеллюлозы в подсолнечном шроте около 6% [3]. Лигнин растительной биомассы прочно связан с полисахаридами и препятствует их ферментативному гидролизу. Он затрудняет молекулам фермента доступ к поверхности целлюлозных микрофибрилл [4].

Для расщепления некрахмалистых полисахаридов растительного сырья широко применяются целлюлолитические ферментные препараты. Чаще всего это комплексные ферментные препараты, выделяемые из культур микроскопических грибов и актиномицетов и

---

обладающие эндогликоказной, целлобиогидролазной и целлобиазной активностью [5]. Одним из таких препаратов является ферментный препарат «Целлолюкс-А», содержащий целлюлазу,  $\beta$ -глюканазу и ксиланазу. Целлюлаза катализирует гидролиз  $\beta$  (1,4)-гликозидных связей в целлюлозе с образованием глюкозы или целлобиозы.  $\beta$ -Глюканаза разрушает  $\beta$ -глюканы и целлюлозу путем гидролиза  $\beta$ (1,4)-гликозидных связей. Ксиланаза расщепляет ксиланы (пентозаны) до ксилозы.

В данном исследовании ферментативный гидролиз проводили с целью повышения эффективности выделения белка из продуктов переработки семян подсолнечника. В качестве исходного сырья использовали гранулированный тостированный шрот промышленного производства с содержанием сырого протеина 34,75% на а.с.в. и сырой клетчатки 27,21% на а.с.в.

Для повышения содержания белка и удаления части клетчатки из исходного шрота проводилось сухое фракционирование, включавшее измельчение и рассев на ситах подсолнечного шрота. Полученную белковую фракцию подсолнечного шрота использовали в качестве субстрата ферментативного гидролиза.

Белковая фракция подсолнечного шрота с размером частиц менее 0,2 мм содержала 91,96% сухих веществ, 42,78% сырого протеина на а.с.в. и 14,91% сырой клетчатки на а.с.в.

«Целлолюкс-А» – комплексный ферментный препарат, продуцируемый микробной культурой *Trichoderma viride* (reesei). Активность – 1500 ед./мл. Содержит целлюлазу – 2000 ед/г;  $\beta$ -глюканазу – 1500 ед/г; ксиланазу – 8000 ед/г. Диапазон действия pH 3,0–7,0 (оптимальный 4,0-6,0), температура 30-70°C.

Для проведения ферментативной обработки навеску подсолнечного шрота заливали дистиллированной водой в соотношении 1:10, доводили pH до 4,9 добавлением 10% HCl и вносили препарат Целлолюкс-А в количестве 0,5% от массы навески. Ферментативный гидролиз проводили в течение 2 часов при температуре 45°C и перемешивании со скоростью 1500 об/мин.

Затем pH доводили до 9,0 добавлением 0,2% NaOH и проводили экстракцию белка в течение 30 минут при 55°C и перемешивании со скоростью 1500 об/мин. Нерастворимый остаток отделяли центрифугированием при 2500 об/мин в течение 15 минут. Для осаждения белка pH надосадочной жидкости доводили до 4,5 добавлением 10% HCl. После центрифугирования при 2500 об/мин в течение 15 минут получали сыворотку и белковую пасту.

В результате описанного процесса из белковой фракции подсолнечного шрота, содержащей 42,78% сырого протеина на а.с.в., была получена белковая паста с содержанием сырого протеина 94,33% на а.с.в. (табл. 1). Помимо этого, были получены нерастворимый остаток, содержащий 37,6% сырого протеина на а.с.в. и сыворотка, содержащая 8,03% сырого протеина на а.с.в.

Таблица

**Характеристика субстрата и продуктов ферментативного гидролиза**

Наименование продукта	Сухие вещества, %	Сырой протеин, % а.с.в.
Белковая фракция шрота (субстрат)	91,96	42,78
Нерастворимый остаток	13,83	37,06
Сыворотка	1,59	8,03
Белковая паста	11,71	94,33

Из полученных данных видно, что произошли потери белка с нерастворимым остатком. В сыворотке содержание сырого протеина составило 8,03% от массы сухих веществ, следовательно потери белка с сывороткой были незначительными. Таким образом, применение ферментативной обработки позволяет получать из подсолнечного шрота белковые препараты с содержанием сырого протеина до 95% на абсолютно сухое вещество.

Применение ферментативной обработки в сочетании с механическим фракционированием может быть перспективным для получения изолятов белка из подсолнечного шрота. Изоляты подсолнечного белка могут использоваться как белокосодержащие компоненты пищевых продуктов.

#### **Список использованных источников**

1. Поморова Ю.Ю., Пятовский В.В., Бескоровайный Д.В., Болховитина Ю.С. Характеристика и методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор) // Масличные культуры. 2019. №. 4(180). С. 161–169.
2. Кушнаренко Л.В., Ершова Т.А., Кузнецова А.А., Левочкина Л.В. Обоснование технологии использования вторичных продуктов переработки риса // Вопросы современной науки. Коллект. науч. монография / Под ред. Н.Р. Красовской. – М.: Интернаука. 2022. Т. 73. 127 с.
3. Доморощенкова М.Л., Крылова И.В., Керв Ю.А. Исследование содержания НДК и КДК в продуктах фракционирования подсолнечного шрота // Вестник ВНИИЖ. 2017. №. 1–2. С. 59–61.
4. Базарнова Н.Г., Зеленцова М.В., Микушина И.В. Ферментативный гидролиз соломы гречихи, овса и сои препаратом Целлолюкс А // Международная научно-практическая конференция Промышленность и пищевая биотехнология в XXI веке. Сб. научных трудов. 2015. С. 118–121.
5. Зиновьева М.Е., Волкова Т.С., Шафигуллина Н.Ф. Особенности ферментативного гидролиза целлюлозосодержащего сырья ферментным препаратом Целлолюкс-А // Вестник технологического университета. 2018. №. 3(21). С. 56–58.

УДК 606

## ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

*Кузнецова А.П.<sup>1</sup> (аспирант), Грескова П.П.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат биологических наук, доцент Аль-Шехадат Р.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: aplkuznetcova@itmo.ru*

---

В работе приведен обзор и анализ существующих методов лабораторного получения биоразлагаемых полигидроксиалканоатов (ПГА) с использованием органических отходов производства (как пищевых, так и агропромышленных). Описаны особенности каждого подхода, рассмотрены перспективы их применения. В качестве наиболее перспективного метода получения ПГА рассматривается со-культивирование нескольких микроорганизмов, из которых только один синтезирует ПГА, что позволяет реализовать создать синергирующие пары микроорганизмов, увеличив выход ПГА.

### **Ключевые слова**

Полигидроксиалканоаты, ПГА, со-культивирование, биоразлагаемые материалы, биополимеры, органические отходы.

---

Полигидроксиалканоаты (ПГА) – микробные термопластичные полимеры. ПГА синтезируются прокариотическими микроорганизмами в условиях несбалансированного питания с целью хранения углерода и энергии. Семейство ПГА-полимеров довольно обширно, что обусловлено разницей в химической структуре отдельных видов ПГА [1].

Несмотря на ценные свойства различных видов ПГА для широкого спектра применения, промышленному развитию этих биополимеров по-прежнему препятствует высокая стоимость производства. Цена сырья составляет до 30% от общей стоимости производства ПГА. Использование недорогого сырья, такого как, например, пищевые, сельскохозяйственные и промышленные отходы, а также побочные продукты, отходы переработки фруктов и овощей исследуются в качестве более дешевого сырья для производства полимера. Особенно ценным в таком сырье является высокое содержание сахаров, которые могут быть использованы бактериями для роста клеток и синтеза ПГА. Комплексные возобновляемые источники углерода, изученные до настоящего времени для производства ПГА различными микроорганизмами, включают в себя: сгущенные кукурузные растворимые вещества, сахара, полученные из пшеничных отрубей, мелассу, сыворотку и растительные масла, такие как масло ятрофы, пальмовое масло, пальмоядровое масло, экстракты пальмового масла, соевое масло, рапсовое масло и отработанное кулинарное масло. Таким образом, возможно достичь снижения стоимости полимера, а также значительно повысить количество перерабатываемых органических отходов биотехнологическим путем. В статье рассматриваются применяемые методы лабораторного синтеза полигидроксиалканоатов, рассмотрены современные подходы и результаты использования различных органических отходов в качестве сырья для синтеза ПГА [2].

ПГА классифицируются на две основные группы соответственно длине углеродной цепочки: короткоцепочные (sc1-ПГА, 3–5 атомов углерода) и среднецепочные (mc1-ПГБ, 6-14 атомов углерода). Длина углеродной цепи мономера оказывает значительное влияние на характеристики получаемого полимера. Короткоцепочные ПГА обладают свойствами, схожими со свойствами полипропилена. в то время как среднецепочные характеризуются сниженной кристалличностью и повышенной эластичностью, свойственные

---

эластомерам. Синтез среднецепочных ПГА встречается реже, исследования свидетельствуют, что изоляты *Pseudomonas* LDC-5 и LDC-25 способны продуцировать среднецепочные ПГА. Примеры полимеров по группам представлены в таблице [2].

Таблица

**Виды и примеры ПГА [2]**

Короткоцепочные ПГА (scl-PHA)	Среднецепочные ПГА (mcl-PHB)
Поли(3-гидроксibuтират), П(3ГБ), P3HB	Поли(3-гидроксигексаноат), П(3ГГ)
Поли(4-гидроксibuтират), П(4ГБ), P4HB	Поли(3-гидроксioктаноат), П(3ГО)
Поли(3-гидроксивалерат), П(3ГВ), P3HV	

Биосинтезируемые ПГА могут быть гомополимерны и гетерополимерны, что зависит от типа мономера. Смесь нескольких гидроксикарбоновых-мономеров позволяет получить гетерополимеры:

- поли(3-гидроксibuтират-3-гидроксивалерат), П(3ГБ/3ГВ);
- поли(3-гидроксигексаноат-3-гидроксioктаноат), П(3ГГ/3ГВ);
- поли(3-гидроксibuтират-3-гидроксигексаноат), П(3ГБ/3ГГ) [2].

Лабораторные методы получения биоразлагаемых ПГА с использованием в качестве субстрата органических отходов в результате анализа были разделены на:

1. Традиционное получение ПГА с использованием конкретного штамма микроорганизмов и одного субстрата из органических отходов.
2. Со-культивирование нескольких микроорганизмов для получения синергетического эффекта. Смешанные культуры способны осуществлять многоступенчатые трансформации, которые были бы невозможны для одного микроорганизма, что позволяет осуществлять биоконверсию с использованием дешевых и нечистых субстратов.
3. Культивирование на смеси субстратов. Последние исследования показывают, что при сочетании нескольких субстратов возможно получение сополимеров с управляемым включением мономеров, синтезируемых микроорганизмами на этих субстратах.

Традиционное культивирование является самым распространённым и широко применяемым видом культивирования микроорганизмов. Сущность метода заключается в подборе питательной среды и условий культивирования для конкретного штамма микроорганизмов. В зависимости от отношения к наличию кислорода, кислотности среды, оптимума температуры и других факторов, подбираются наиболее благоприятные условия для культивирования. Традиционное получение ПГА с использованием конкретного штамма микроорганизмов производится с использованием одного субстрата из органических отходов.

В качестве субстрата для *S. pasteurii* исследовались различные отходы, в том числе, отходы агропромышленного комплекса, в связи с потенциально высокой экономической и экологической выгодой. Для *S. pasteurii* DSMZ 454 использовали сточные воды пивоваренного завода, содержащие мальтозу, которая может быть использована в качестве легкодоступного, дешевого и эффективного источника углерода для бактерий, производящих биополимеры [3]. Мальтоза промышленного производства подвергается гидролизу в процессе ферментации из-за снижения pH культуральной среды и в итоге превращается в глюкозу, потребляемую бактериями.

В результате было выявлено, что количество сухой массы клеток, полученное на очищенных и не очищенных сточных водах пивного завода, превышает количество сухой массы клеток, полученных на мальтозе промышленного производства. Однако количество синтезируемого ПГА было ниже для сточных вод, чем для чистой мальтозы, что может быть связано с двумя причинами. В первую очередь, для синтеза биополимеров требуется избыточное количество источника углерода, и количество мальтозы в сточных водах было недостаточным для биосинтеза большего количества полимера. Кроме того, сточные воды характеризуются сложным составом, включают в себя минералы, витамины и белки, что может



стимулировать рост микроорганизмов, но также смещать метаболические пути от синтеза ПГБ к синтезу клеток. Тем не менее, сточные воды, содержащие мальтозу, могут быть использованы в качестве источника углерода для синтеза ПГБ. Однако важную роль при этом играет соотношение C/N/P (для достижения максимального выхода оптимально 100:2:15 согласно исследованию). Кроме того, после очистки сточных вод было отмечено получения сополимера ПЗГБ-со-ПЗГВ в результате наличия нескольких питательных компонентов, доступных для микроорганизмов [3].

Культивирование *Azotobacter vinelandii* проводится либо на агаре Берка (BM) с добавлением 20 г/л сахарозы при 30°C, либо на среде с мелассой с концентрацией 60 г/л, принудительной аэрацией при температуре 25°C. Среди факторов, которые могут влиять на молекулярную массу ПЗГБ, синтезируемого *A. vinelandii*, важную роль играют условия культивирования. Например, сложные среды, дополненные тростниковой мелассой, рыбным пептоном или дрожжевым экстрактом, способствовали производству ПЗГБ с высокой молекулярной массой (от 2000 до 4100 кДа).

*Azotobacter chroococcum* H23 (CECT 4435), *Azotobacter vinelandii* UWD и *Azotobacter vinelandii* (ATCC 12837) изучались с целью определения их способности синтезировать полигидроксиалканоаты при условии использования в качестве единственного источника углерода двухфазных сточных вод завода по производству оливкового масла. В ходе эксперимента изменялась концентрация сточных вод, наибольший выход ПГА был достигнут при предварительном анаэробном сбраживании исследуемых сточных вод. Кроме того, было выявлено, что вне зависимости от наличия процесса анаэробного сбраживания штаммы синтезировали 3-гидроксibuтират [4].

Рост бактериальных штаммов в жидкой глюкозной среде Бурка проводился в течение 72 ч. инкубации при контролируемой температуре (28°C) и перемешивании (100 об/мин). В каждый период инкубации аликвоту ростовой среды, используемую для измерения оптической плотности (длина волны 640 нм), и остальную среду центрифугировали (10 000 об/мин, 15 мин). После этого биомассу замораживали (-80°C) и лиофилизировали для выделения ПГА.

Образцы исследуемого источника углерода до добавления к микроорганизмам разбавлялись до различных концентраций, центрифугировались для удаления твердых частиц, после чего были стерилизованы. После анаэробного сбраживания двухфазных сточных вод были достигнуты более высокие выходы ПГА для штаммов *Azotobacter*, что обусловлено образованием уксусной, пропионовой и масляной кислот, что в свою очередь позволяет получать сополимеры гидроксibuтирата и гидроксивалерата.

Со штаммом *A. vinelandii* UWD проводили более ранние исследования для изучения синтеза ПГА на другом отходе производства – свекловичной патоке (мелассе). Свекловичная меласса показала высокие результаты в качестве субстрата. При этом стоимость субстрата для производства ПГА из свекловичной мелассы в условиях периодического культивирования с подпиткой составляла одну треть от стоимости субстрата при использовании глюкозы [4]. В качестве полимера был образован полигидроксивалерат, а также отмечена необходимость присутствия азота для улучшения производительности. Так, при добавлении пептона к среде, количество синтезируемых ПГА значительно увеличилось, что соответствует выводам, полученным в ранее описанном исследовании.

Схожим с традиционным культивированием является культивирование микроорганизмов с целью получения ПГА на двух различных субстратах. Последние исследования показывают, что при сочетании нескольких субстратов возможно получение сополимеров с управляемым включением мономеров, синтезируемых микроорганизмами на этих субстратах, однако для получения такого результата требуется тщательное изучение условий культивирования и влияние субстратов друг на друга. Благодаря двум субстратам возможно увеличить общую концентрацию сахаров, что позволит увеличить ПГА, однако оценить экономическую выгоду применения двух субстратов затруднительно.

Так, интересно исследование Кумара П. «Valorization of polyhydroxyalkanoates production process by co-synthesis of value-added products», где в качестве субстрата используется смесь

мелассы и оливкового масла. Для выращивания бактериальных штаммов использовали два вида культуральных сред: питательные и минеральные. Для каждой среды ингредиенты последовательно соединяли в колбах Эрленмейера с перегородками. После использования 2 N NaOH для доведения pH до 7,4 колбы закрывали хлопковой и алюминиевой бумагой. Культуральная среда была продезинфицирована при 121°C, 15 минут. В результате проведенного исследования были получены содержания ПГА 24,33%, 18,66% и 40% при использовании мелассы, оливкового масла и смеси обоих субстратов, соответственно.

Исследование масла семян финика как источника углерода для рекомбинантного штамма *C. necator* под авторством Пурама Р.К. («Evaluation of date seed oil and date molasses as novel carbon sources for the production of poly(3Hydroxybutyrate-co-3Hydroxyhexanoate) by *Cupriavidus necator* H16 Re 2058/pCB113») показало увеличение сухой массы клеток и общего количества ПГА (а именно сополимера П(ЗГБ-со-ЗГГ)(поли-3-гидроксибутират-со-3-гидроксигексаноат)) с ростом концентрации масла семян финика до 10 г/л, при дальнейшем увеличении концентрации, показатели оставались неизменными. Накопление ПГБ в клетках достигло диапазона 70–82% с увеличением концентрации от 2,5 до 10 г/л. Оптимальная концентрация масла семян фиников составила 10 г/л. В таких условиях сухая масса клеток достигала 7,6 г/л, содержание ПГБ увеличивалось до 81% от сухой массы с сопутствующим общим содержанием ПГБ 6,2 г/л.

Применение финиковой мелассы в качестве источника углерода с тем же рекомбинантным штаммом позволило при оптимальной концентрации мелассы 20 г/л позволить достигнуть значений: сухая масса 4,2 г/л, содержание ПГБ 32 масс%.

Смешение двух источников углерода показало возможность получения сополимера П(ЗГБ-со-ЗГГ) с различным включением мономеров 3-гидроксигексаноата в зависимости от состава используемого двойного источника углерода. Масло семян финика, как предполагают авторы, служит основным фактором в образовании мономеров ЗГБ и ЗГГ, в то время как фруктоза из финиковой мелассы выступает в качестве основного источника производства клеточной биомассы, а также образования ЗГБ мономеров в значительных количествах.

Меласса сахарной свеклы и кукурузный экстракт использовались в качестве дешевых источников углерода и азота для производства ПЗГБ *Azotobacter vinelandii* UWD и *Bacillus megaterium*. Сообщалось, что растительные масла служат эффективным источником углерода для роста клеток *C. necator* дикого типа и показали высокое накопление ПЗГБ на этих масляных субстратах.

Исследователями было выявлено, что при увеличении аэрации увеличивается производство клеточного белка и уменьшается производство ПГБ, что позволяет разделить процесс синтеза ПГА на 2 этапа для штамма *A. vinelandii* UWD. Так, на первом этапе при повышенной аэрации происходит рост клеток (образование белка), а на втором – биосинтез ПГА. На первом этапе в течение 10–16 часов аэрация поддерживалась на уровне 20%, на втором – 5% с 17 часа до 49 часов эксперимента. На первом этапе свекловичная меласса в качестве субстрата позволила получить большую клеточную массу, и на втором этапе при дополнительном добавлении сахара и рыбного пептона достигнуть выхода ПГБ 76% [4].

Исследователи также рассматривали вопрос влияния содержания ПЗГБ в клетках инокулята *A. vinelandii* OP на биосинтез ПЗГБ или изменения его молекулярной массы (Mw), оценивали три различных инокулята, содержащих 20, 50 и 70% ПЗГБ.

Для культивирования *A. vinelandii* OP использовалась среда со следующим составом в г/л: сахароза 20,0; дрожжевой экстракт 3,0; пептон 5,0. pH среды был отрегулирован до 7,2 добавлением раствора 2 N NaOH, и среда была стерилизована при 121°C, 20 мин [4].

Результаты исследования показали обратную зависимость между содержанием ПЗГБ в инокуляте и удельной скоростью роста. Так, при концентрации ПЗГБ 20% в инокуляте, удельная скорость роста была значительно выше, нежели в случае концентраций 50 и 70% ПЗГБ в инокуляте. Авторы предполагают, что высокое содержание ПЗГБ каким-то образом влияет на процесс деления клеток, оказывая отрицательное воздействие на скорость роста конкретного вида.

Таким образом, исследования подчеркивают влияние на молекулярно-массовое распределение полимера таких факторов как растворенный кислород и удельная скорость роста. *A. vinelandii* показывает себя как штамм, способный производить относительно большие количества полимера с высокой молекулярной массой на дешевых субстратах. Повысить производительность процесса позволяют технологии ферментации.

Культивирование микроорганизмов в совместной культуре является альтернативной и дополнительной стратегией по сравнению с традиционной аксенической культурой. При таком культивировании выход продуктов и скорость роста микроорганизмов могут быть выше. Смешанные культуры способны осуществлять многоступенчатые трансформации, которые были бы невозможны для одного микроорганизма, что позволяет осуществлять биоконверсию с использованием дешевых и нечистых субстратов и получать сополимеры с лучшими свойствами по сравнению с полимерами из одних мономеров [5]. Создание консорциумов для синтеза ПГА включает в себя подбор микроорганизмов и возможную или необходимую их рекомбинацию для создания эффективной пары. В статье анализируется подход со-культивирование «с разделением труда». Со-культивирование двух производителей ПГА считается менее популярным в связи с меньшей продуктивности в соотношении с качественно подобранными синергирующими парами, реализующими подход «разделения труда».

Division of labor (DOL, разделение труда) как подход в синтетических консорциумах может минимизировать негативные последствия конкуренции за ресурсы и повысить эффективность использования субстратов при смешанной ферментации сахара [5]. В *E. coli* и *S. cerevisiae* различные члены были сконструированы так, чтобы потреблять только один из сахаров: глюкозу, ксилозу или арабинозу [5]. Расширение этой стратегии было использовано для консорциума рекомбинантных *Escherichia coli* MG1655 и *Pseudomonas putida* KT2440, использующего DOL для биосинтеза среднецепочечного ПГА [5]. *E. coli* была сконструирована для преимущественного потребления ксилозы и выделения высоких концентраций жирных кислот и ацетата. *P. putida* была создана для производства *mcl*-PHА из глюкозы, жирных кислот и ацетата, последний из которых токсичен для *E. coli* в высоких концентрациях. Этот консорциум демонстрирует многочисленные преимущества DOL: снижение конкуренции за ресурсы, снижение токсичности и создание взаимовыгодного перекрестного кормления, которое улучшает производство [5].

Учитывая необходимость применения возобновляемого непищевого сырья для синтеза ПГА, исследователи обратили внимание на возможность применения инулина. Авторы утверждают, что инулин является перспективным сырьем для качественной работы консорциума *Bacillus gibsonii* RHF15 и *C. Necator* [5]. *Bacillus gibsonii* RHF15 был выбран в связи с его способностью производить инулиназу, а *Cupriavidus necator* – в связи с невозможностью метаболизировать инулин. В оптимизированных условиях было достигнуто максимальное содержание полигидроксibuтирата (ПГБ) 1,9 г/л.

Совместное культивирование также применялось в паре *Ralstonia eutropha* (синтез ПГА) и *Bacillus subtilis* (продуцент инвертазы) для решения проблемы биосинтеза ПГА из сахарозы, так как обе бактерии в результате образуют симбиотические отношения. Так, *B. subtilis* производит глюкозу, фруктозу и пропионовую кислоту, а *R. eutropha* превращает их в сополимер П(ЗГБ-со-ЗГВ) [5].

Сочетание *Cupriavidus necator* и *Xanthomonas campestris* позволило одновременно получить ПГА и ксантановую камедь из пальмового масла. Биосинтез ПГА и ксантановой камеди в условиях совместного культивирования превосходил индивидуальный синтез полимеров. В условиях умеренной температуры, интенсивного перемешивания и обилия субстрата наблюдалось положительное взаимодействие между бактериями, что позволило обоим производить больше полимера, чем при культивировании по отдельности, подтверждая синергетическое взаимодействие, чрезвычайно зависящее от условий биоконверсии. Одновременное культивирование *X. campestris* и *C. necator* обеспечило 89,7% увеличение по сравнению с оптимальным производством ПГА и 11,8% по сравнению с оптимальным производством ксантановой камеди в аксенических культурах. Более того, было отмечено

улучшение свойств полимеров (кажущейся вязкости, начальная и максимальная температуры разложения) по сравнению с индивидуально полученными материалами.

Таким образом, главными недостатками получения ПГА выступают низкие выходы полимера и высокая стоимость конечного продукта, при этом последнее возможно решить использованием дешевого сырья (отходов). Однако в таком случае может обостряться проблема низкого выхода полимера. Для решения данной проблемы применяются различные методы культивирования микроорганизмов-продуцентов: традиционное культивирование, культивирование на смеси субстратов и со-культивирование нескольких микроорганизмов. Наиболее перспективным методом культивирования в лабораторных условиях с перспективой дальнейшего масштабирования в настоящий момент выступает со-культивирование нескольких микроорганизмов, из которых только один синтезирует ПГА, с развитием подхода «разделения труда». Проанализированные примеры со-культивирования показывают, что при подборе оптимальных условий и синергирующих пар, возможно получение сложных сополимеров полигидроксиалканоатов с заданными свойствами, а также получение полезного побочного продукта. Со-культивирование двух продуцентов ПГА показывает не столь высокие результаты по выходу конечного продукта, в связи с чем уступает в эффективности первому варианту со-культивирования.

#### **Список использованных источников**

1. Pakalapati H., Chang C.-K., Show P.L. Development of polyhydroxyalkanoates production from waste feedstocks and applications // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2018. №. 126(3). Pp. 282–292.
2. Tan G.-Y., Chen C.-K., Li L. Start a Research on Biopolymer Polyhydroxyalkanoate (PHA): A Review // *Polymers*. 2014. №. 6(3). Pp. 706–754.
3. O'Rourke R., Gaffney M., Murphy R. The effects of *Parachlorella kessleri* cultivation on brewery wastewater // *Water Science and Technology*. 2016. №. 73(6). Pp. 1401–1408.
4. Mok P.-S., Chuah J.-A., Najimudin N., Liew P.-W.-Y. In Vivo Characterization and Application of the PHA Synthase from *Azotobacter vinelandii* for the Biosynthesis of Polyhydroxyalkanoate Containing 4-Hydroxybutyrate // *Polymers*. 2021. №. 13(10). Pp. 1576.
5. Rafieenia R., Atkinson E., Ledesma-Amaro R. Division of labor for substrate utilization in natural and synthetic microbial communities // *Current Opinion in Biotechnology*. 2022. №. 75. Pp. 1027–1046.

УДК 658.8.012.12

**АНАЛИЗ ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ ЗАМОРОЖЕННОГО РЫБНОГО ПОЛУФАБРИКАТА ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ОЧНЫХ ИНТЕРВЬЮ***Куприянова С.А.<sup>1</sup> (студент), Салихова А.Н.<sup>1</sup> (студент), Бойцова Ю.С.<sup>1</sup>**Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Орлова О.Ю.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО*Работа выполнена в рамках темы НИР №622151 «Обеспечение коммерциализации научно-прикладных проектов»*

В статье приведено обоснование актуальности разработки нового продукта питания из гидробионтов. Поэтапно приведены результаты анализа продуктов-конкурентов и отзывов потребителей. Реализовано очное интервьюирование ряда респондентов, подходящих под первоначальные гипотезы о портрете потребителя. По результатам интервью скорректированы гипотезы о целевой аудитории, выведены ключевые потребности потенциальных покупателей. Также выявлены недостатки имеющихся на рынке продуктовых решений. Все перечисленные факторы повлияли на принятие решения об итоговом образе и форм-факторе продукта.

**Ключевые слова**

Customer Development, новый продукт питания, интервью, портрет потребителя, анализ целевой аудитории, продукт из трески.

Мировой рынок замороженных продуктов динамично развивается, по разным оценкам он достигнет 312,3 млрд долларов к 2025 году. В 2023 г. объем рынка супов и бульонов в жидком виде в России составит 6,22 тыс.т., что выше показателя в 2018 г. на 8,7% [1].

К 2025 году замороженные готовые блюда (в том числе супы) составят около 30% мирового рынка замороженных продуктов. Для России это относительно новый продукт, активно развивающийся только с 2010 года, но уже с 2014 по 2020 гг. рынок готовых замороженных супов вырос более чем в 2 раза, что значительно обусловлено пандемией COVID-19 [2].

Сегодня покупатель все чаще выбирает экономию и удобство, постепенно переключается с охлажденной и замороженной рыбы на продукцию категорий ready-to-cook и ready-to-eat («только приготовить» и «готово к употреблению»).

Таблица 1

**Сравнение характеристик продуктов-конкурентов**

	Натуральный состав	Надежная упаковка	Концентрат	Низкая цена	Обогащение нутриентами
<b>Авторский продукт</b>	+	+	+	+	+
ProBullion (Россия)	+	-	-	-	-
Bones Kitchen (Россия)	+	-	-	-	-
Приладожье (Россия)	+	-	-	+	-
Бульоны СУН (Россия)	+	+	-	-	-
ЛёдСуп (Россия)	+	+	-	+	-
Сухие бульоны (Dinner Service, Knorr)	-	+	+	+	-

Авторы статьи разрабатывают новый продукт питания из гидробионтов – концентрированный замороженный бульон из трески, обогащенный витамином D3. В таблице 1 представлено сравнение авторского с продуктами-конкурентами, относящимися к ready-to-cook и ready-to-eat бульонам и супам.

Как видно из таблицы, он обладает рядом преимуществ, которых не хватает продуктам-конкурентам.

Изначально авторы планировали сделать рыбный аналог всем знакомых куриных и говяжьих бульонных кубиков. Но, прежде чем сформулировать окончательную идею продукта, был использован один из наиболее подходящих инструментов изучения целевой аудитории – Customer Development (исследование потребителей). С его помощью стало возможным составить итоговый образ продукта – замороженный, обогащенный концентрат из трески.

Чтобы понять, что привлекает потребителей в наиболее похожих продуктах (ProBullion и Bones Kitchen), был проведен анализ отзывов на онлайн-площадках (OZON и Wildberries).

Исследуемые бренды замораживают бульон в бумажных стаканчиках. Он позиционируется как богатый коллагеном и Омега-3 продукт. Непосредственные покупатели выделяют следующие преимущества и слабые места (табл. 2).

Таблица 2

#### Отзывы потребителей рыбных бульонов ProBullion и Bones Kitchen

	<b>ProBullion (цена, объем)</b>	<b>Bones Kitchen</b>
<b>Достоинства</b>	натуральный состав подходит после болезни ЗОЖ-продукт наваристый малосолёный	большой объем отличный состав удобный формат продукт для поддержки суставов поддерживает ЖКТ
<b>Недостатки</b>	дорогой нет защитной мембраны (отсутствует контроль первого вскрытия) хлипкая упаковка	долго размораживать дорогой слишком жидкий

Здесь важно то, что ни один из этих бульонов нельзя развести водой без ухудшения органолептических качеств. То есть на них неудобно готовить – они недостаточно концентрированные.

Изначально, авторы планировали сделать рыбный аналог всем знакомых куриных и говяжьих бульонных кубиков. Но, прежде чем сформулировать окончательную идею продукта, был использован один из наиболее подходящих инструментов изучения целевой аудитории – Customer Development (исследование потребителей). С его помощью стало возможным составить итоговый образ продукта – замороженный, обогащенный концентрат из трески.

Перечень гипотез, предназначенных для проверки:

1. 80% домохозяйек заинтересованы в приготовлении рыбных блюд из замороженного сырья.
2. Для студенток важно тратить на готовку не более 30 минут, при этом большинство из них предпочитают полезные перекусы.
3. Холостые офисные работники мужского пола около 30 лет готовят блюда на основе рыбного бульона не реже 1 раза в 2 месяца.
4. Целевой аудитории неудобно готовить супы с использованием продуктов-конкурентов.

Кроме перечисленных основных гипотез был еще ряд более частных, касающихся внешнего вида, особенностей упаковки и хранения.

50 очных интервью помогли собрать информацию, необходимую для дальнейшей разработки продукта. Для анализа был собран пользовательский опыт у трех потенциальных сегментов целевой аудитории. Первый – работающие хозяйки от 30 до 50 лет. У них есть муж и 1–2 ребенка, один из которых живет с родителями. В среднем, они делали русскую уху в течение последнего месяца. В то время как рыбные блюда – в течение последней недели.

В результате интервью появился ряд инсайтов, которые значительно повлияли на итоговый образ продукта. Так, для домохозяек важно, чтобы в продукте были витамины В, D и Омега-3 (рис. 1).

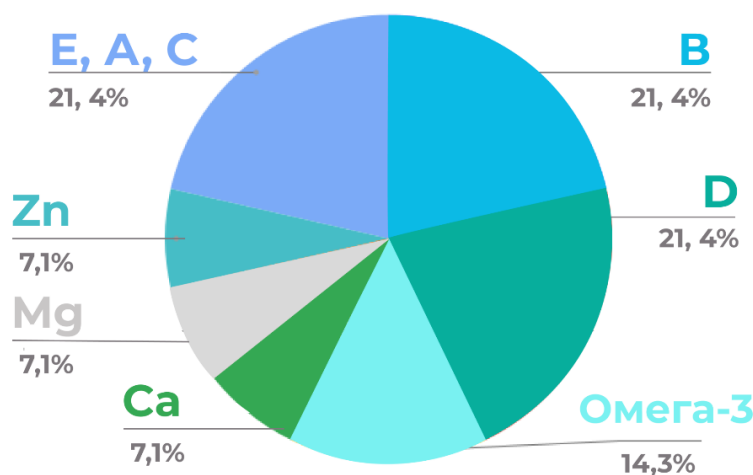


Рис. 1. Ответы на вопрос «Какие микроэлементы для Вас важнее всего?»

Также выяснено, что удобство хранения для 80% респондентов важнее экологичности упаковки. Они активно пользуются замороженными полуфабрикатами, но не замораживают бульон сами — это слишком трудозатратно. При этом 80% респонденток знают, что бульон можно замораживать без значительной потери свойств и пользы (рис. 2).

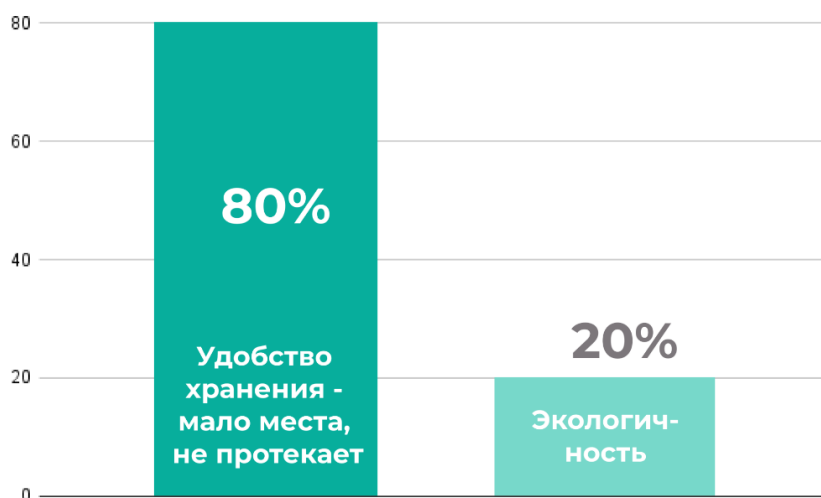


Рис. 2. Ответы на вопрос «Что для вас важнее: удобство хранения или экологичность?»

Второй опрошенный сегмент целевой аудитории – студентки 19–25 лет, живущие в одиночестве и получающие в среднем 34 тыс. руб. Доказано, что им важно тратить на готовку не более 30 минут в день, а готовить супы мешает недостаток времени (50%), недостаток средств на целую рыбу (33%) и наконец, недостаток опыта в готовке (18%). В качестве биодобавок студентки чаще всего употребляют коллаген и магний (по 29%).

Последний проанализированный сегмент – одинокие мужчины 30 лет не подошли под критерии будущих потребителей. Гипотеза о том, что они готовят блюда на основе рыбного бульона не реже 1 раза в 2 месяца, не нашла подтверждения: 30% представителей данного сегмента не едят рыбу вообще, 70% — готовили рыбные блюда в среднем в течение последних полутора лет. Причем основная причина полученных результатов — это не лень или отсутствие времени, а вкусовые предпочтения.

Как эти данные повлияли на итоговый образ продукта? Так как потребителям неудобно готовить на основе ProBulion и Bones Kitchen из-за слабой концентрации, авторы разработали концентрированный бульон из трески, который можно разбавлять водой 1:1 с сохранением привлекательных органолептических свойств. Он предназначен в первую очередь для приготовления рыбных супов. Компактный, заморожен по кубикам и занимает мало места в морозильной камере.

Кроме натурального состава, и Омега-3, наиболее важных выявленной целевой аудитории, продукт обогащен витамином D3. Витамин D3 борется с воспалением и стрессом, что особенно актуально для северных регионов [3]. По сути, это основа-заготовка для традиционного блюда в новом удобном формате — порции в вакуумной упаковке, с помощью которых можно приготовить рыбное блюдо, разбавив их водой.

Так как упаковка разрабатывалась в тесном контакте с целевой аудиторией, то выбран наиболее традиционный и удобный в хранении вариант – вакуумный пакет. В соответствии с анализом корзины потребителя, цена разрабатываемого продукта на полке торговой сети не должна превышать 170–190 рублей.

Таким образом, целевая аудитория продукта — хозяйки и студентки. На основе полученных от респондентов данных был сформирован итоговый образ продукта. В итоге это именно концентрированный порционный бульон, обогащенный витамином D3. Долгий срок годности обеспечивается шоковой заморозкой продукта, ведь хозяйки знают, что бульон не теряет свои свойства при заморозке. В совокупности с требуемым удобством выбрана вакуумная упаковка, объединяющая 6 кубиков бульона в одном пакете. Новый продукт даст возможность потребителям быстро приготовить рыбное блюдо как на всю семью, так и на одного человека. А обязательное условие его эффективной разработки – тщательный анализ целевой аудитории.

#### **Список использованных источников**

1. Анализ рынка рыбных полуфабрикатов в России в 2017–2021 гг, прогноз на 2022- 2026 гг. Структура розничной торговли. BusinesStat. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marketing.rbc.ru/research/47000/> (дата обращения: 09.02.2023).
2. Обзор рынка готовых замороженных супов. Techart. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://research.techart.ru/report/frozen-soups-report.htm> (дата обращения: 20.02.2023).
3. Малютина О. Витамин D полезен для костей, иммунитета, кожи и не только // Onco Rehab by D.Куров – 2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://onco.rehab/publikacii/stati/poleznye-materialy/vitamin-d-polezen-dlya-kostey-immuniteta-kozhi-i-ne-tolko/> (дата обращения: 20.02.2023).



УДК 615.322

**ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЛЬФОРАФАНА  
В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Матыцина В.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: vikaamtcn@mail.ru, barakova@itmo.ru*

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

---

В данной работе рассмотрены значимые для здоровья человека функции сульфорафана: его участие в снижении процессов окислительного стресса и в предотвращении воспалений, а также его положительное влияние на человека в терапии и лечении рака и расстройств аутистического спектра. Также была затронута проблема стабильности сульфорафана в зависимости от pH, температуры, тепла, света и кислорода. Было предложено решение проблемы нестабильности сульфорафана – его микроинкапсулирование.

**Ключевые слова**

Крестоцветные овощи, сульфорафан, воспаление, рак, расстройство аутистического спектра, химиопрофилактика, окислительные процессы, микроинкапсуляция, функциональные продукты питания.

---

В XXI веке снижение потребления фруктов и овощей связано с повышенным риском хронических заболеваний, ввиду недостаточного потребления человеком важных питательных веществ, пищевых волокон и фитохимических веществ. Употребление овощей семейства крестоцветных или капустных (брюссельская капуста, белокочанная капуста, брокколи и др.) обратно пропорционально риску развития хронических заболеваний, в том числе развитию различных злокачественных новообразований.

Съедобная часть зрелой брокколи содержит 507–684 мкг/г сухого сульфорафана, в то время как ростки брокколи содержат в десять раз большую концентрацию данного вещества (1153 мг/100 г сухого веса) и поэтому считаются богатыми источниками сульфорафана.

Сульфорафан является метаболитом фитохимического глюкорафанина, который является новым нутрицевтиком, функциональным ингредиентом, который обеспечивает пользу для здоровья и потенциально полезен для профилактики и / или лечения заболеваний [1].

К основным причинам возникновения онкологических заболеваний можно отнести снижение иммунитета, воспалительные процессы, образование свободных радикалов. К факторам повышенного риска относится излишняя масса тела, приводящая к таким заболеваниям, как рак молочной железы, рак желудка, матки, толстой кишки и почек. Международным агентством по изучению рака было установлено, что ведущее место среди многочисленных причин возникновения рака занимает фактор питания. Одной из причин возникновения предрака является пролиферация клеток, регулирование которой возможно осуществлять посредством биологически активных веществ, поступающих в организм, в том числе с продуктами питания.

Рак является важной проблемой здравоохранения во всем мире, поскольку он входит в число основных причин глобальной смертности, а доступная терапия имеет существенные

---

недостатки, например, побочные эффекты и фармакологическую резистентность. В этом контексте некоторые природные соединения, такие как сульфорафан, представляют собой альтернативу традиционной терапии, так как было показано, что он обладает антиканцерогенным действием, не вызывая побочных эффектов. Кроме того, эти соединения могут быть использованы в качестве адъювантной терапии, поскольку, как сообщалось, они улучшают некоторые побочные эффекты химиотерапии, а также устраняют резистентность к некоторым применяемым в настоящее время противораковым препаратам. Сульфорафан ингибирует прогрессирование клеточного цикла и вызывает апоптоз в предраковых и опухолевых клетках различного происхождения, оказывает цитотоксическое действие на раковые клетки, ингибирует способность самообновления раковых стволовых клеток [2].

Сульфорафан также может вызывать синергетические эффекты и предотвращать воспаление и экспрессию белка воспалительных ферментов, таких как iNOS и COX-2, в сочетании с другими функциональными ингредиентами, такими как нобилетин. Сообщалось, что введение однократной дозы сульфорафана (5 мкмоль) может достигать различных тканей (мозга, печени, почек, желудочно-кишечного тракта, легких и т. д.) в течение 2–6 ч после употребления. Однако самая высокая концентрация конъюгатов сульфорафана была зарегистрирована в тонком кишечнике, почках и легких, а самая низкая - в мозге. После попадания в организм сульфорафан он в основном всасывается в тонкой кишке и попадает в кровоток путем пассивной диффузии.

Традиционно известно, что митохондрии являются основным источником производства активных форм кислорода в тренирующихся мышцах, что приводит к окислительному повреждению, а также мышечной усталости. Пару лет назад было выявлено, что четыре инъекции сульфорафана у мышей дикого типа (Nrf2+/+) значительно увеличивали маркеры митохондриального биогенеза в икроножной мышце, включая повышенное число копий мтДНК относительно нДНК. Сульфорафан был связан с уменьшением митохондриального окислительного стресса, сохранением функции митохондрий за счет уменьшения свободных радикалов и повышением активности антиоксидантных ферментов.

Из этих экспериментов на животных данные были экстраполированы на исследования на людях. Недавно было проведено исследование на людях с участием 40 здоровых взрослых с избыточным весом с целью оценки противовоспалительных эффектов сульфорафана. Испытуемым было поручено есть сырые, свежие ростки брокколи (30 г / день) ежедневно в течение 10 недель. После периода вмешательства концентрации IL-6 в плазме были значительно ниже и оставались таковыми до 90 дней. Однако на 160-й день концентрации несколько выросли, но оставались ниже исходного уровня. Поскольку избыточный вес или ожирение является хроническим воспалительным состоянием, которое может вызвать другие заболевания, такие как диабет 2 типа, сердечно-сосудистые заболевания и т. д., долгосрочное потребление диеты, богатой сульфорафаном, может быть многообещающей стратегией для ослабления хронического воспаления [3].

Расстройства аутистического спектра, характеризующиеся нарушением коммуникации и социального взаимодействия, так и стереотипным поведением, затрагивают примерно 1 из 68 человек, преимущественно мужчин. Решение об испытании сульфорафана для лечения расстройств аутистического спектра было основано на четырех предпосылках. Во-первых, обширные данные показывают, что сульфорафан противодействует многим из тех же биохимических и молекулярных аномалий, связанных с расстройствами аутистического спектра, включая окислительный стресс и снижение антиоксидантной способности, дефекты синтеза глутатиона, митохондриальную дисфункцию и низкое окислительное фосфорилирование, повышенное перекисное окисление липидов и нейровоспаление.

Во-вторых, различные малые молекулы, включая сульфорафан, могут улучшить ряд несвязанных генетических нарушений, активируя «стрессовый протеом», который регулирует многие из вышеупомянутых повреждающих процессов. Было показано, что сульфорафан *in vitro* обладают терапевтическим потенциалом для восстановления клеточного гомеостаза при ряде несвязанных генетических нарушений.

В-третьих, сульфорафан является диетическим фитохимическим веществом, полученным из его предшественника глюкозинолата глюкорафанина, который широко потребляется в диетах, богатых крестоцветными растениями, и квалифицируется для рассмотрения в качестве пищи, пищевой добавки или лекарственного средства, в зависимости от его предполагаемого использования. Поэтому сульфорафан обоснованно считается малотоксичным, и его введение человеку хорошо переносится.

В-четвертых, употребление сульфорафана может резко, но временно улучшить нарушенное поведение многих аутичных пациентов. Примечательно, что степень улучшения (в основном в стереотипном поведении и неуместной речи) не была связана с тяжестью аутизма. Употребление сульфорафана может улучшить дальнюю кортикальную связность головного мозга, которая угнетается при расстройствах аутистического спектра. Сульфорафан также повышает экспрессию реакции теплового шока.

В исследовании влияния сульфорафана на людей с расстройствами аутистического спектра были выявлены поведенческие улучшения у подавляющего большинства (32 из 40; 80%) участников [4].

Несмотря на то, что сульфорафан обладает большим потенциалом в качестве оздоровительного соединения, его использование в пищевой промышленности было ограничено из-за его относительной нестабильности. На сульфорафан влияют pH, температура, тепло, свет и кислород. Вариантом стабилизации сульфорафана и даже повышения его биодоступности в пищевой матрице является микрокапсуляция. Микрокапсуляция сульфорафана недостаточно изучена. Имеющиеся исследования включают микрокапсуляцию физическими (распылительная сушка, сублимационная сушка) или химическими (коацервация, эмульгирование, комплексообразование включения и ионное гелеобразование) и методами и комбинации.

Оптимизация условий микрокапсулирования сульфорафана до сих пор не рассматривалась. Это открывает соответствующую исследовательскую линию, направленную на выявление технологических условий, которые могут быть использованы на промышленном уровне. Поощряются исследования стабильности микрокапсулированного сульфорафана в различных системах, поскольку эта информация поможет в разработке стратегий микрокапсуляции сульфорафана, которые расширяют промышленное применение этого многообещающего для укрепления здоровья соединения [4].

Сульфорафан препятствует окислительному стрессу, усталости и воспалению. Имеются также данные об использовании сульфорафана в качестве химиопрофилактики рака, профилактики и облегчения симптомов расстройств аутистического спектра благодаря его потенциальным антиканцерогенным и антиоксидантным свойствам. Современная литература показывает, что микроинкапсуляция значительно повышает стабильность сульфорафана. Поэтому целесообразно провести исследования для определения оптимального способа включения сульфорафана в качестве биологически активной добавки в рецептуру функциональных продуктов массового потребления.

#### **Список использованных источников**

1. Ruhee R.T., Suzuki K. The integrative role of sulforaphane in preventing inflammation, oxidative stress and fatigue: a review of a potential protective phytochemical // *Antioxidants*. 2020. Т. 9. №. 6. С. 521.
2. Briones-Herrera A. et al. New highlights on the health-improving effects of sulforaphane // *Food & function*. 2018. Т. 9. №. 5. С. 2589–2606.
3. Gu H., Mao X., Du M. Metabolism, absorption, and anti-cancer effects of sulforaphane: an update // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Т. 62. №. 13. С. 3437–3452.
4. Singh K. et al. Sulforaphane treatment of autism spectrum disorder (ASD) // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Т. 111. №. 43. С. 15550–15555.
5. Zambrano V., Bustos R., Mahn A. Insights about stabilization of sulforaphane through microencapsulation // *Heliyon*. 2019. Т. 5. №. 11. С. e02951.

УДК 628.398;597.005.6

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОИСКУ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БИОМАРКЕРОВ В РЫБЕ И РЫБНЫХ ПОЛУФАБРИКАТАХ

Наумова А.В.<sup>1,2</sup> (аспирант), Ишевский А.Л.<sup>1</sup>, Утсаль В.А.<sup>2</sup>, Яккола А.Н.<sup>3</sup>, Островидова Е.В.<sup>2</sup>,  
Наумов И.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ишевский А.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>Научно-клинический центр токсикологии им. С.Н. Голикова ФМБА России

<sup>3</sup>Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Данная работа посвящена возможности и способам поиска потенциальных биомаркеров в рыбе и рыбной продукции.

### Ключевые слова

Рыба, микроорганизмы, маркеры, хромато-масс спектрометрия, качество.

Рыба – один из ценных и полезных продуктов в рационе человека. Рыба содержит множество элементов и соединений, которые не синтезируются в организме и практически невозможны за счет биологически активных добавок. Основная ценность объектов рыбного промысла – белки и азотсодержащие вещества. Но наравне со всеми достоинствами, рыба – самый скоропортящийся продукт. Чаще всего рыба подвержена бактериальной порче. Это явление характерно для всех категорий рыб, в том числе свежемороженой и мороженой рыбы, поражение которых происходит в основном за счёт грибов. В составе обсемененной свежемороженой рыбы найдены в основном аспорогенные грамотрицательные палочки *Moraxella-Acinetobacter*. Для пресноводных рыб наиболее характерны психрофильные микроорганизмы родов *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Micrococcus* [1].

Применение низких температур – один из основных способов, который применяется для продления сроков хранения рыбы и рыбных полуфабрикатов. К сожалению, этот вид консервации эффективен не во всех случаях ввиду того, что микрофлора рыбы, поступившая на стадию охлаждения различна. В большинстве случаев она представлена различными группами бактерий: психрофилами, мезофилами, термофилами и другими. При использовании низких температур происходит лишь уменьшение концентрации микроорганизмов, так как ингибировать их рост и развитие полностью методом использования низких температур невозможно. При таком способе консервации погибает только 60–90% от всей патогенной микрофлоры. Для бактерий, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Lactobacillus* и *Streptococcus* этот способ мало эффективен. Метод холодной консервации также не эффективен для применения в отношении спор бактерий, дрожжей и плесневых грибов [1].

Для того чтобы рыба соответствовала требованиям качества и безопасности, при заморозке следует использовать рыбу, которая была обработана с соблюдением санитарно-гигиенических требований. Лёд, который применяется, должен отвечать требованиям ГОСТ 30.425–97. Консервы. Метод определения промышленной стерильности взамен ГОСТ 10444.3–85- ГОСТ 10444.6–85, общее количество микроорганизмов должно быть не более 100 клеток на 1 грамм. Лёд, в котором содержится рыба, подвержен обсеменению гнилостных микроорганизмов, а именно психрофильных микроорганизмов родов *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* [1, 2].

На начальной стадии микробиологической порчи микроорганизмы используют простые вещества, в результате чего образуются различные летучие соединения, которые негативно сказываются на органолептических показателях.

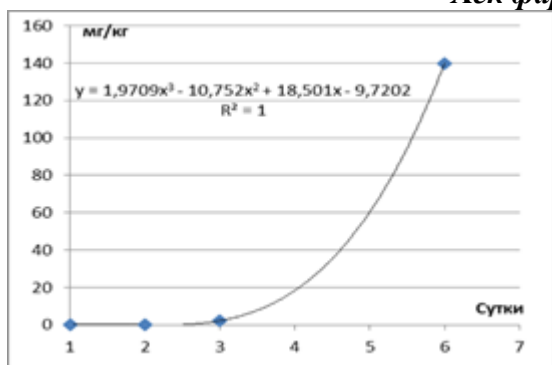
Рыба и рыбные полуфабрикаты чаще подвергаются гидролизу. Полагают [1, 2], что автолиз также как и микробная порча- катализатор порчи, а не ее причина. При детальном изучении причин типичной порчи рыбы установлено, что микробные контаминанты принадлежат к родам *Pseudomonas* и *Acinetobacter-Moraxella*. Также известно [3, 4], что тирамин продуцентами тирамина являются *Carnobacterium pisc cola* и *Weissella viridescens*, которые были выделены из упакованной под вакуумом подсоленной с добавлением сахара рыбы. При нормальных температурах хранения на автолиз также накладывается процесс бактериального разложения из-за действия литических ферментов. Наибольшую активность протеолитических ферментов имеют *Pseudomonas* и *Achromobacter*.

Наиболее приоритетны в качестве маркеров качества и безопасности рыбы-вещества, относящиеся к классу летучих соединений, а именно биогенные амины и диамины [4].

В настоящей работе метод масс-спектропии используется для исследования токсикологических параметров по 7.3 ГОСТ 32366-2013 "Рыба мороженая. Технические условия". Для исследования были взяты Хек без головы мороженный ТУ 9261-002-51561792-2005 и Сельдь с головой мороженая ТУ 10.20.13-002-51561792-2018. В качестве модели исследования был выбран фарш. Однородную массу, в количестве 1 г, шпателем переносим в чистый флакон, предварительно взвешенного без содержимого. Добавили 2 мл ацетанитрила. Затем содержимое флакона перемешали на Vortexe, перенесли жидкую фазу в чистый флакон. Экстракцию повторили дважды, затем объединили. Далее полученный единый экстракт сушим безводным сульфатом натрия, переносим в чистую виалу, после чего полностью удалили ацетанитрил под тягой. Затем добавили тридейтерометилловый эфир тридекановой кислоты в количестве 10 мкл  $C = 2$  мг/мл, сушим нагреваем при температуре 30С в течении 20 секунд, добавляем 50 мкл селилирующего агента N,O-бистриметилселлил-трифторацетамид (BSTFA), нагреваем 2 минуты при 50 С, после охлаждения разбавляем 100 мкл хлористого метилена. Вводили пробу в количестве 1 мкл [4, 5].

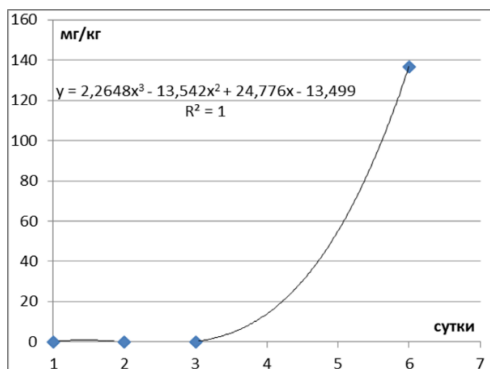
По данным полученных хроматограмм и после проведения дальнейших расчётов установлены концентрации биогенных аминов в обоих образцах замороженных рыб, которые по пункту 7.3 токсикология биогенные амины ГОСТ 32366-2013 [4].

### Хек фарш 2 и 6 сутки



Хек					D	%
	17,97591	14,38952	15,76168		1	0
m, г	1,1126	1,3899	1,2689		2	0,2
days	2	3	6	7	3	13,4
Tyramine	2590	124435	1100522	2225776	6	89,9
St	1111740	802592	123956	269906	7	89,2
sum	1114330	927027	1224478	2495682		
%	0,2	13,4	89,9	89,2		

Рис. 1. Концентрация тирамина в мороженном хеке



Seledka					D	%
	14,8721	15,85163	20,07831		1	0
	1,3448	1,2617	0,9961		2	0,02
days	2	3	6	7	3	0,6
Tyramine	114	7582	529979	1331290	6	87,2
St	480421	1199754	77766	450932	7	74,7
sum	480535	1207336	607745	1782222		
%	0,02	0,6	87,2	74,7		

Рис. 2. Концентрация тирамина в мороженной Сельди

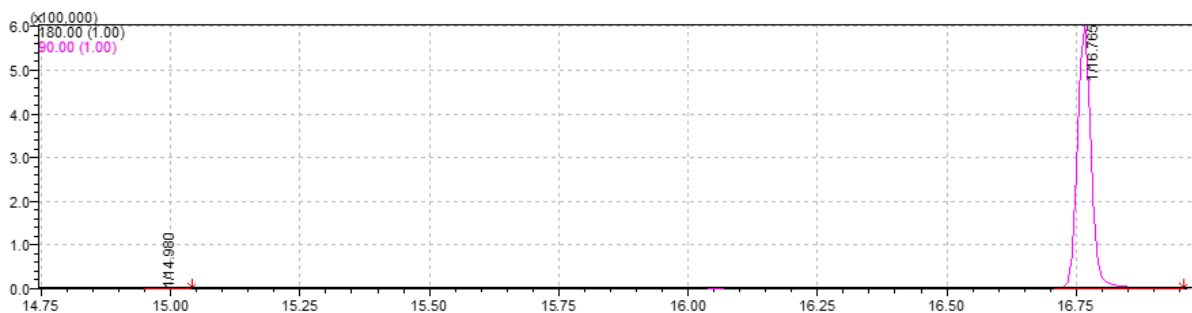


Рис. 3. Хек мороженный 2 сутки

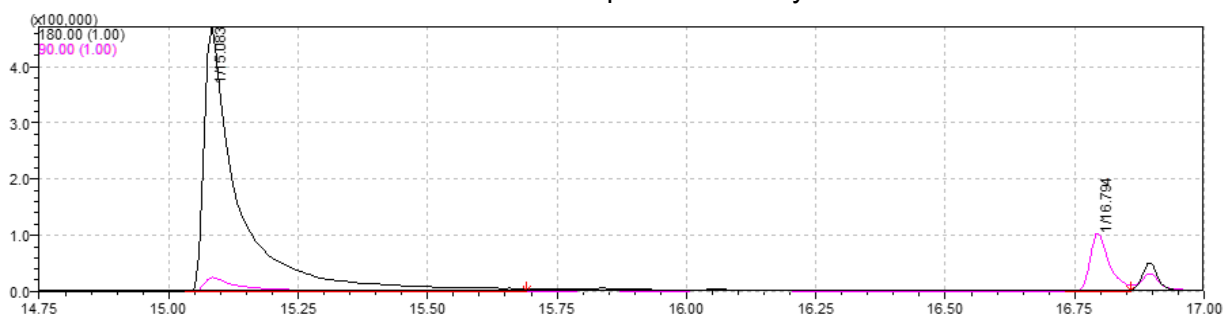


Рис. 4. Хек мороженный 7 сутки

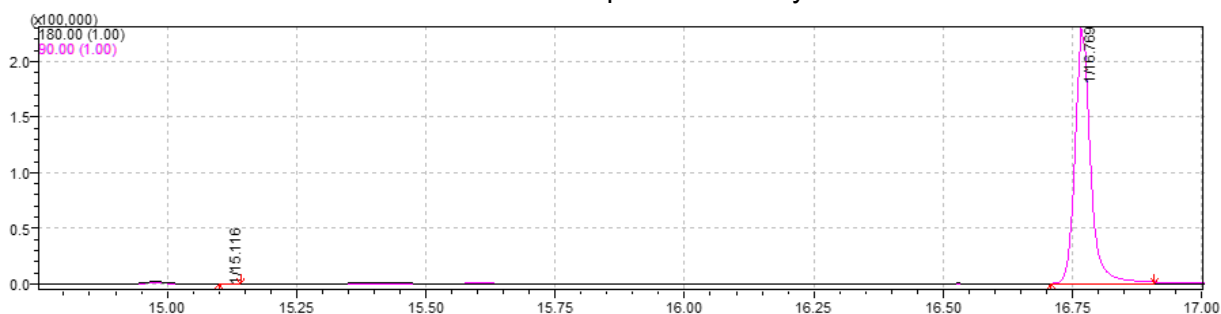


Рис. 5. Сельдь мороженная 2 сутки

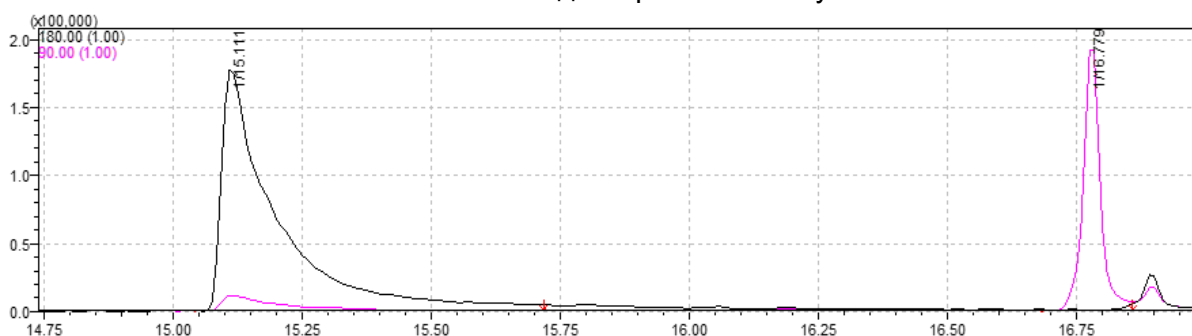


Рис. 6. Сельдь мороженная 7 сутки

Актуальность работы по изучению накопления маркеров в рыбе и рыбных продуктах связана с несоблюдением условий хранения, транспортировки, условий асептики на всех стадиях производства продукта.

В ходе работы было найдено 12 претендентов на маркеры качества и безопасности рыбы. Деструктивные процессы в обоих образцах рыб начинаются уже на 2 сутки, а на 7 становятся необратимыми. Также были определены концентрации биогенных аминов в обоих образцах рыб. Из полученных результатов видно, что значительное количество биогенных аминов, когда продукт становится не годным к потреблению происходит на 7 сутки в обоих образцах рыб.

В дальнейших исследованиях необходимо следить за гексановой и янтарной кислотами, так они наиболее полно отражают полный спектр нужный для оценки микробиологической

безопасности продукта, для того, чтобы в дальнейшем правильно подобрать композиционные составы пленок на основе природных и синтетических материалов с добавлением консервантов для увеличения сроков хранения рыбы и рыбных полуфабрикатов.

**Список использованных источников**

1. Гу Дж., Лю Т., Хоу Дж., Пан Л., Садик Ф.А., Лей Ю. и др. Анализ бактериального разнообразия и содержания биогенных аминов во время ферментации во-нючего тофу. *Food Res. 2018. Int.* 111. Pp. 689–698. DOI: 10.1016 / j.foodres.2018.05.065.
2. Ким Б., Бьон Б.Ю. и Ма Дж.-Х. Образование биогенных аминов и вклад бактерий в продукты Натто. *Food Chem.* 2012. №. 135. Pp. 2005–2011. DOI: 10.1016 / j.foodchem.2012.06.091.
3. Суцци Г., Торриани С. Редакционная статья: биогенные амины в пищевых продуктах. *Фронт. Микробиол.* 2015. №. 6:472. DOI: 10.3389/fmicb.2015.00472.
4. ГОСТ 32366-2013 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЫБА МОРОЖЕНАЯ.
5. ГОСТ 33490–2015. Молоко и молочная продукция.

УДК 579.22

## ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРМЕНТА А-АМИЛАЗЫ ПУТЕМ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ASPARGILLUS NIGER

*Оганнесян Ф.А.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: philhovhannisyan@gmail.com, barakova@itmo.ru*

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

---

В работе рассмотрено влияние способов культивирования на получение фермента а-амилазы. В качестве технологии культивирования было рассмотрено — поверхностное, глубинное и двухфазное.

### **Ключевые слова**

Культивирование, а-амилаза, водная двухфазная система (АТРС).

---

Химические реакции, происходящие в пищевой промышленности, могут ускоряться при помощи ферментов. За счет специфических условий культивирования и питательной среды различные микроорганизмы способны производить разнообразные ферменты. Амилазы - вид гликозил-гидролаз – активно используются в пищевой промышленности для деления ряда полисахаридов и олигосахаридов на моносахариды, и при этом их функциональное значение в пребиотической среде невероятно важно. Деятельность амилаз связана с использованием крахмала. Они используются для модификации крахмалосодержащего сырья, разрыв 1–4 гликозидных цепей. Амилазы являются незаменимыми в различных областях: медицинской, текстильной, мясной, пивоварении, фармацевтике, добавках для кормов, переработке отходов [1]. Продуцентами а-амилазы являются — животные, растения, а также грибы и бактерии. Бактерии, грибы, актиномицеты, растения и животные представляют широкий диапазон организмов, способных синтезировать альфа-амилазу. Микроорганизмы имеют высокую пролиферационную скорость и основные источники производства амилазы. При изготовлении промышленных препаратов для использования амилазы, основными организмами используются *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger* и *Aspergillus wentii*. К бактериальным продуцентам амилаз относятся бациллы — *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus macerans*, *Bacillus stearothermophilus* [2].

Способы культивирования — глубинным (питательная среда порошка маниоки) и поверхностным (питательная среда пшеничные отруби) а так же водные двухфазные системы культивирования.

Поверхностное культивирование: стерилизация воздуха, сред и оборудования - цель поверхностного культивирования микроскопических грибов. Для этого используют питательные среды в виде твердых субстратов с разветвленной поверхностью: пшеничные отруби, дробину барды, картофельную мезгу, яблочные выжимки и др., они должны быть увлажненными и тщательно простерилизованными. Это позволит сформировать микроскопические мицелии, которые будут расти в нестерильных условиях в культурных кюветах, установленных в негерметичных растительных камерах. Теплота, генерируемая этими грибами, будет контролироваться путем продувания стерильного воздуха.

---



Наивысшая эффективность поверхностной технологии достигается за счёт непрерывности насыщения питательных сред, передачи их на свежие и метода непрерывной сушки, которая сохраняет их гидрированность на уровне 10–11%. Это способствует избежанию распространения посторонних форм жизни по массе и типичного для их вида инфицирования.

Недостаток – необходимость устанавливать множество кювет, механизировать процесс практически невозможно.

В процесс глубинного культивирования микроорганизмов входит их развитие в полноценных условиях жидкой питательной среды. Так как многие из продуцентов ферментов – это аэробы, для достижения успеха питательная среда подвергается строгой аэрации. В микроорганизмах проходят два вида процесса – синтез биомассы и фермента. В зависимости от конкретного продуцента, посевной материал подготавливается как в глубинных, так и поверхностных средах. Для грибов это вегетативная мицелиальная масса или споровые культуры, для бактерий – клеточная масса в фазе роста (предварительно до спорообразования). Посевной материал получают постадийным увеличением массы культуры продуцента. Для выполнения целей необходим правильный микробиологический контроль: наличие стерильной микрофлоры, правильное количество спор и устойчивые характеристики продукта. Соблюдая экспериментальные факторы pH, температуры, времени ферментации, концентрации инокулята и концентрацию субстрата, глубинным способом культивирования *Aspergillus niger* в субстрате из порошка маниоки, можно получить крупномасштабное производство  $\alpha$ -амилазы. Оптимальными значениями являются pH – 4,8; температура – 32,4°C; время ферментации – 79,5 ч; концентрация инокулята – 5,07%; и концентрация субстрата – 18,2 г/л для продуцирования  $\alpha$ -амилазы из маниоки с использованием *Aspergillus niger*. Установлено, что максимальная активность амилазы составляет 14,01 Ед/мл [3].

Преимущества глубинного метода культивирования над поверхностным:

- сокращаются масштабы производства;
- увеличиваются санитарно-гигиенические условия труда;
- становится возможным автоматизировать технологические процессы;
- доступность выделения целевого продукта из культуральной жидкости;
- осуществление процесса непрерывного культивирования.

#### **Двухфазовая система культивирования $\alpha$ -амилазы**

Водные двухфазные системы (ATPS) — это быстрый, высокопроизводительный, недорогой и простой метод, который использовался для очистки биологических продуктов — белков, ферментов и антибиотиков, путем смешивания двух несмешивающихся соединений в неорганическом растворе, таком как полиэтиленгликоль (ПЭГ) и декстрана или ПЭГ и соли выше своей критической концентрации для достижения четкой жидкостной фазы [4]. Кроме того, водные двухфазные системы (ATPS) в качестве первого этапа очистки может удалять такие загрязнения, как нуклеиновые кислоты и нежелательные белки. Таким образом, ATPS стал привлекательным методом для промышленного применения, поскольку он более быстрый и приводит к повышению эффективности и повышенной чистоте выделенного фермента [5].

Было изучено получение продукции  $\alpha$ -амилазы из *Bacillus subtilis* в водных двухфазных системах, при различных концентрациях полиэтиленгликоль (ПЭГ 10000)/декстран (505000). Увеличение концентрации ПЭГ с 7 до 25% (масс./масс.) в водной двухфазной системе привело к увеличению объемного соотношения фаз с сопутствующим снижением коэффициента разделения и выделением  $\alpha$ -амилазы в верхней фазе. Было обнаружено, что коэффициент очистки увеличивается с увеличением концентрации ПЭГ до 9% (по массе), ПЭГ 9% (по массе) и декстрана 2,5% (по массе) является оптимальной для культивирования *Bacillus subtilis*, где более 95% произведенной  $\alpha$ -амилазы избирательно разделяется на верхнюю фазу. Активность  $\alpha$ -амилазы в верхней фазе, которая достигла 93 Ед/мл после 48 часов культивирования, была в 1,2 раза выше по сравнению с гомогенной средой. Было обнаружено, что *Bacillus subtilis* секретирует 84% всей продуцируемой  $\alpha$ -амилазы в течение 24 часов, в то время как в гомогенной среде соответствующее время превышало 33 часа. Под микроскопом наблюдали, как бактериальные клетки полностью распределялись в нижней фазе в используемой системе.

Нижняя фаза, которая богата декстраном, использовалась при разработке полунепрерывной системы рециркуляции клеток, в которой нижняя фаза использовалась повторно, а верхняя фаза свободная от клеток удалялась. При первых двух применениях активность  $\alpha$ -амилазы в верхней фазе превышала 90 ЕД/мл, а при третьем применении снижалась до 84 ЕД/мл [6].

В заключение, использование водной двухфазной системы ПЭГ 9% (масс./масс.)/декстрана 2,5% (масс./масс.) позволило обеспечить рециркуляцию бактериальных клеток и сократить необходимое время культивирования, тем самым способствуя значительному снижению от стоимости ферментации.

При изучении полученных результатов, культивирования в водных двухфазных системах является самым актуальным методом для промышленного применения, поскольку он более быстрый и приводит к повышению эффективности и повышенной чистоте выделенного фермента.

#### Список использованных источников

1. Ramachandran S., Patel A.K., Nampoothiri K.M., Francis F., Nagy V., Szakacs G., Pandey A. Coconut oil cake--a potential raw material for the production of alpha-amylase // *Bioresource technology*. 2004. №. 2. Vol. 93. Pp. 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.021>.
2. Elyasi Far B., Ahmadi, Y., Yari Khosroshahi, A., & Dilmaghani, A. Microbial Alpha-Amylase Production: Progress, Challenges and Perspectives. // *Advanced pharmaceutical bulletin*. 2020. №. 3. Vol. 10. Pp. 350–358. <https://doi.org/10.34172/apb.2020.043>.
3. Kamaraj M Subramaniam D. Amylase production by *Aspergillus niger* in submerged cultivation using cassava. // *J App Biol Biotech*. 2020. №. 6. Vol. 8. Pp. 82–87. <https://doi.org/10.7324/JABB.2020.80613>.
4. Wei Zhang Xiaoqin Liu, Huajun Fan, Dan Zhu, Xuehao Wu, Xiaowen Huang, James Tang. Separation and purification of alkaloids from *Sophora flavescens* Ait. by focused microwave-assisted aqueous two-phase extraction coupled with reversed micellar extraction // *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 86. Pp. 231–238, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.052>.
5. Lígia Maria Gonçalves Fernandes Márcia Nieves Carneiro-da-Cunha, Jônatas de Carvalho Silva, Ana Lúcia Figueiredo Porto, Tatiana Souza Porto. Purification and characterization of a novel *Aspergillus heteromorphus* URM 0269 protease extracted by aqueous two-phase systems PEG/citrate // *Journal of Molecular Liquids*. 2020. Vol. 317. Pp. 113957. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113957>.
6. Konsoula Z., Liakopoulou-Kyriakides M. Alpha-amylase production in aqueous two-phase systems by *Bacillus subtilis* // *The FEBS Journal*. - Thessaloniki, Greece. : [s.n.]. 2005. Vol. 272. Pp. 497–497. [https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2005.4739\\_13.x](https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2005.4739_13.x).

УДК 664.865

## ПРОЛОНГАЦИЯ СРОКОВ ГОДНОСТИ ОЛИВКОВОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ

*Петрий В.М.<sup>1</sup> (студент), Алнакуд М.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научные руководители – доктор технических наук, профессор Колодязная В.С.<sup>1</sup>,  
доктор технических наук, доцент Кипрушикина Е.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: vpetriy@itmo.ru, marynackoud1992@gmail.com*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620142 «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии биоактивных пищевых ингредиентов с заданными свойствами из биоресурсов и вторичных сырьевых источников растительного и животного происхождения для обеспечения здорового питания населения РФ с использованием пищевой комбинаторики»*

---

В работе приведены результаты исследования бета-каротина и экстракта розмарина в качестве антиоксидантов при длительном хранении оливкового масла холодного отжима. Проведённые эксперименты показывают, что вносимые экстракты эффективно замедляют окисление липидов, что ведёт к сохранению качества и увеличению сроков годности оливкового масла.

### **Ключевые слова**

Оливковое масло холодного отжима, насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, триглицериды, антиоксиданты, пролонгация сроков годности, розмарин, бета-каротин, хроматография, перекисное число, кислотное число.

---

В последние десятилетия во всем мире остро стоит проблема качества питания населения. Оливковое масло является ценным источником многих витаминов, моно- и полиненасыщенных жирных кислоты, фенольных соединений и фитостеринов. Включение в рацион оливкового масла первого холодного отжима ведёт к профилактике сердечно-сосудистой системы (ССЗ), благоприятно влияет на обменные процессы, нормализует уровень холестерина и глюкозы, способствуют усилению иммунной защиты организма.

Большую часть оливкового масла (~98%) составляют полиненасыщенные жирные кислоты: олеиновая кислота (55–283%), линолевая кислота (2,5–21%) и пальмитиновая кислота (7,5%–220%). Вследствие особенностей химического состава данные жиры легко подвергаются окислению в процессе хранения, что снижает качество и биологическую ценность масла. При длительном хранении масло может приобретать прогорклый вкус. Это обусловлено такими химическими процессами как гидролиз и окисление. Данная особенность значительно снижает органолептические свойства продукта и, более того, делает его непригодным для использования [1].

Для пролонгации сроков хранения и ингибирования окисления жиров в пищевой промышленности используют такие консерванты как пропилгаллат (Е310), трет-бутилгидрохинон (Е319), бутилгидроксианизол (Е320) и бутилгидрокситолуол (Е321). Наряду с синтетическими консервантами возможно применение биологически активных веществ с антиоксидантным эффектом. Розмарин является распространённой пищевой добавкой, которая используется в различных биотехнологических процессах. Экстракт розмарина обладает каскадной способностью к обновлению витамина Е и содержит большое количество фенольных соединений, что делает его мощным антиоксидантом [2]. Бета-каротин, предшественник ретинола (витамина А), обладает иммуностимулирующим и защитным действием и, кроме того, является ингибитором окислительных процессов [3].

---

Объектом исследования выбрано оливковое масло холодного отжима. Сырьём для изготовления масла являются оливки, выращенные в почвенно-климатической зоне Сирии, сбор урожая производился в 2019 г. (образец №1) и 2021 г. (образец №4).

К оливковому маслу 2019 г. сбора урожая (образец №1) добавляли бета-каротин фирмы «Экоресурс» в концентрациях 400 мг / л (образец №2), 600 мг/л (образец №3). Экстракт розмарина вносили в оливковое масло 2020 г. сбора урожая (образец №4), концентрация розмарина в масле составляет 0,5% (образец №5). В качестве сырья для приготовления экстрактов использовался сушённый розмарин фирмы KAMIS. Экстракт готовили следующим образом: высушенные измельчённые листья розмарина (5 г) экстрагировали с 100 мл дистиллированной воды на водяной бане в течение 30 минут при 60°C.

Контрольные (образцы №1 и №4) и опытные образцы хранили в герметично закрытых бутылках из темного стекла при температуре +18-20°C в темном месте.

При поступлении на хранение и в течение процесса хранения в исследуемых образцах определяли перекисное число, кислотное число титрометрическим методом, содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот методом газовой хроматографии, органолептические показатели качества по пятибалльной шкале [4].

1. Определение перекисного числа проводилось в соответствии с ГОСТ 26593-85 «Масла растительные. Методы определения перекисного числа» [5].
2. Кислотное число определялось по методике из ГОСТ Р 52110-2003 «Масла растительные. Методы определения кислотного числа» [6].
3. Определение состава жирных кислот оливкового масла осуществлялось на хроматомасс спектрометре GCMS-TQ8040 (Shimadzu, Япония). Сбор и обработка хроматографических данных проводилось с помощью специального программного обеспечения.
4. Определение органолептических показателей качества оливкового масла. Оценка масла проводилась группой из пяти человек; показатели качества оценивались по пятибалльной шкале по следующим признакам: вкус, цвет и запах оливкового масла.

В процессе исследования влияния дозы и вида растительных антиоксидантов на процессы гидролиза триацилглицеридов (ТАГ) и окисления свободных жирных кислот (СЖК) оливкового масла были получены результаты по изменению перекисного и кислотного числа.

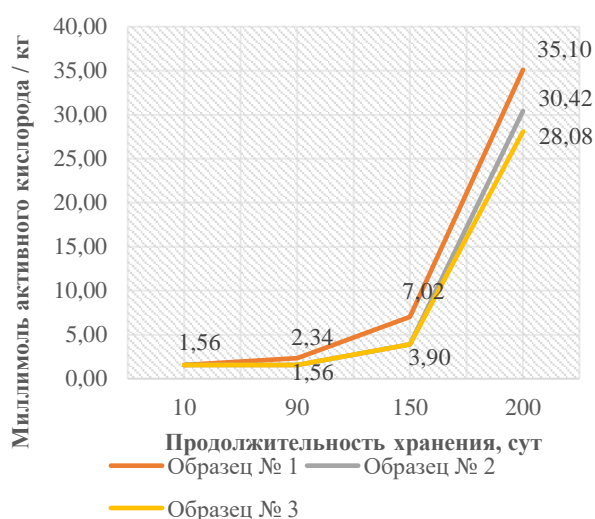


Рис. 1. Изменение перекисного числа оливкового масла 2019 г. урожая в процессе хранения

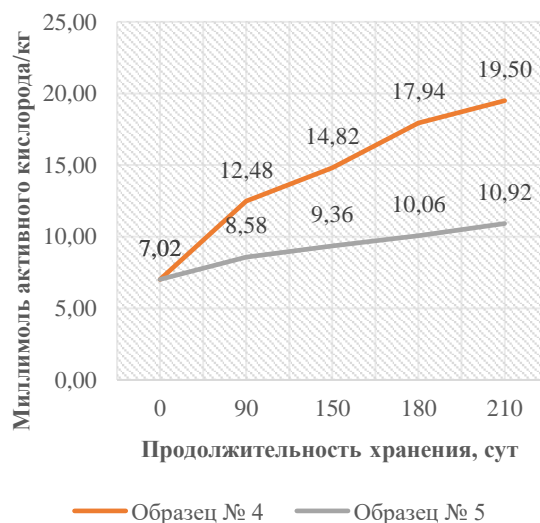


Рис. 2. Изменение перекисного числа оливкового масла 2020 г. урожая в процессе хранения



Рис. 3. Изменение кислотного числа оливкового масла 2019 г. урожая в процессе хранения

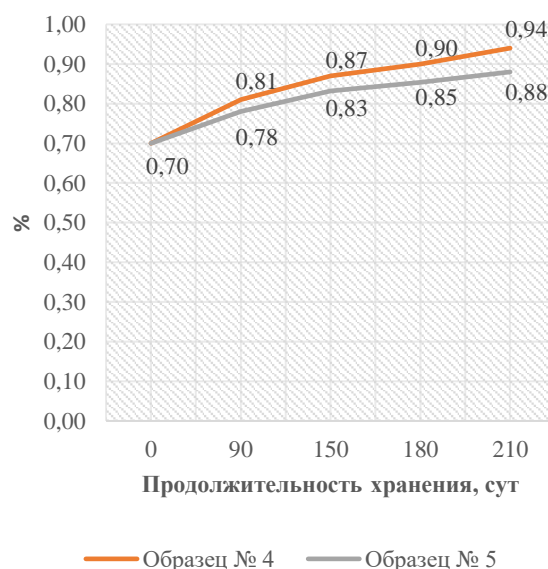


Рис. 4. Изменение кислотного числа оливкового масла 2020 г. урожая в процессе хранения

Как следует из рисунка 1 в процессе хранения масла в течение 90 сут. значение перекисного числа в трёх образцах оливкового масла незначительно увеличивается в контрольном образце №1, и не изменяется образцах №2, №3 с добавлением бета-каротина. Это свидетельствует о том, что герметичная упаковка и хранение в тёмном месте также помогают замедлить окислительные процессы. Наибольшие изменения перекисного числа происходят при хранении свыше 150 сут, при этом опытные образцы с растительными антиоксидантами имеют меньшие значения. Наибольший эффект ингибирования окисления показал образец №5 с добавлением экстракта розмарина, результаты представлены на рисунке 2.

Результаты измерения кислотного числа в контрольных и опытных образцах представлены на рисунках 3, 4 и показывают, что бета-каротин значительно снижает кислотность оливкового масла. Важным моментом является то, что концентрация бета-каротина 400 мг/л обладает антиоксидантным эффектом на уровне с концентрацией 600 мг/л.

При поступлении на хранение в контрольном образце было определено количество насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Данные анализа профиля жирных кислот представлены в таблице 1. Повторное хроматографическое исследование проводилось через 5 и 7 мес., в том числе в опытных образцах с добавлением бета-каротина и экстракта розмарина. Результаты хроматографии приведены в таблице 2.

Таблица 1

**Содержание насыщенных и ненасыщенных кислот оливкового масла в контрольных образцах при поступлении на хранение, мг/г**

Метилловый эфир карбоновой кислоты	Оливковое масло 2019 г. (образец №1)	Оливковое масло 2020 г. (образец №4)
Миристиновая кислота	0,18	0,20
Пальмитиновая кислота	137,00	154,00
Гептадекановая кислота	1,80	1,20
Стеариновая кислота	9,60	33,00
Эйкозановая кислота	2,80	2,80
9-гексадеценная кислота	0,94	0,94
Олеиновая кислота (омега 9)	686,00	675,00
Линоленовая кислота	122,00	134,00
Цис-11,14-эйкозадиеновая кислота (омега 6)	0,60	0,60

Таблица 2

**Содержание насыщенных и ненасыщенных кислот оливкового масла в контрольных и опытных образцах при хранении, мг/г**

Метилловый эфир карбоновой кислоты	Образец №1		Образец №2		Образец №3		Образец №4		Образец №5	
	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
Миристиновая кислота	0,09	0,06	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,13	0,10	0,11
Пальмитиновая кислота	61,08	70,35	97,14	92,43	97,00	91,78	82,00	59,00	120,0	70,20
Гептадекановая кислота	1,20	1,07	1,52	1,28	1,54	1,34	0,68	0,79	0,97	1,03
Стеариновая кислота	8,40	8,46	9,36	9,06	9,45	9,41	21,89	17,52	22,65	20,30
Эйкозановая кислота	2,20	2,05	2,90	2,37	2,94	2,32	3,30	2,62	2,85	2,70
9-гексадекановая кислота	0,74	2,17	0,78	3,42	0,95	3,83	316,0	151,0	395,60	155,0
Олеиновая кислота (омега 9)	162,0	250,0	303,0	301,0	309,0	300,00	26,41	22,46	28,47	25,40
Линоленовая кислота	21,38	25,35	37,05	34,71	37,92	35,11	0,45	0,44	0,51	0,39

Проведена органолептическая оценка показателей качества исследуемых образцов масла по следующим показателям: вкус, цвет, запах. Оценку проводили при поступлении на хранение контрольных образцов масла, затем контрольных и опытных образцов через 5 и 7 месяцев хранения, результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Органолептические показатели исследуемых образцов оливкового масла**

Номер образца	Продолжительность хранения, мес								
	0	5	7	0	5	7	0	5	7
	Вкус			Цвет			Запах		
Оливковое масло 2019 г. (образец №1)	4,8	3,8	2,2	5	4,8	4,6	4,8	4	3
Оливковое масло 2019 г. с бета-каротином 400 мг/л (образец №2)	4,8	4,4	3,6	5	4,8	4,6	4,8	4,6	3,8
Оливковое масло 2019 г. с бета-каротином 600 мг/л (образец №3)	4,8	4,4	3,6	5	4,8	4,6	4,8	4,6	3,8
Оливковое масло 2020 г. (образец №4)	5	4,6	3,8	5	4,8	4,7	5	4,6	3,85
Оливковое масло 2020 г. с розмарином (образец №5)	5	4,8	4,66	5	4,8	4,7	5	4,79	4,5

На основании теоретических и экспериментальных исследований оливкового масла было установлено, что применение бета-каротина и экстракта розмарина эффективно для пролонгации сроков хранения, т.к. данные растительные антиоксиданты замедляют процессы окисления насыщенных и ненасыщенных жирных кислот триацилглицеридов в процессе длительного хранения при температуре +18-20°C.

На основании анализа результатов исследований сделаны следующие выводы:

1. Доказано, что в процессе хранения опытных образцов оливкового масла значительно замедляются гидролитические и окислительные процессы триацилглицеридов при добавлении антиоксидантов бета-каротина и экстракта розмарина. Экспериментально установлено, что минимальные изменения содержания продуктов гидролиза ТАГ и окисления СЖК в процессе хранения оливкового масла при температуре +18°C характерны для образца, содержащего экстракты розмарина.
2. Установлено, что в процессе хранения оливкового масла количество насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, особенно олеиновой, уменьшается, что объясняется окислением СЖК масла. Минимальная скорость окисления СЖК отмечена при добавлении экстракта розмарина.
3. По комплексу органолептических и физико-химических показателей качества оливкового масла рекомендуются следующие сроки годности при температуре хранения +18°C: масло без добавления антиоксидантов – 5 мес., с добавлением бета-каротина – 7 мес., с добавлением экстракта розмарина – 9 мес.

#### **Список использованных источников**

1. Баймишева Д.Ш. Товароведение и экспертиза молочно-жировых товаров: практикум – Кинель : РИЦ СГСХА. 2014. 158 с.
2. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: Расчёт и испытание: Пер. с англ. – СПб.: Профессия. 2006. 480 с.
3. Горбачев В.В. Витамины. Микро- и макроэлементы [Текст] : Справочник / В.В. Горбачев, В.Н. Горбачева. – Минск : „Книжный дом”. 2002. 544 с.
4. Колодязная В.С., Кипрушкина Е.И., Шестопалова И.А. Методы определения показателей качества пищевых продуктов. СПб.: Университет ИТМО. 2018. 73 с.
5. ГОСТ 26593-85. Масла растительные. Методы определения перекисного числа. – М.: Изд-во стандартов. 1987. 8 с.
6. ГОСТ Р 52110-2003. Масла растительные. Методы определения кислотного числа. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2003. 10 с.
7. Колодязная В.С., Алнакуд М., Алексеева Т. Влияние температуры и бета-каротина на процессы гидролиза и окисления триацилглицеридов оливкового масла холодного отжима при хранении // Вестник ВГУИТ. 2021. №. 2. С. 126–132.
8. Бурункова Ю.Э., Успенская М.В., Самуйлова Е.О. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: Учебно-методическое пособие – СПб: Университет ИТМО. 2020. 82 с.

УДК 664.6.7

## РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО СЫРЬЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОБОГАЩЕННЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

*Радкевич А.В.<sup>1</sup> (аспирант), Науменко Н.В.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Науменко Н.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)

*e-mail: nastya.rh.98@gmail.com, naumenko\_natalya@mail.ru*

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 23-26-00290*

---

В работе рассмотрены способы и методы обогащения зерновых культур с целью повышения содержания в них целевых нутриентов для последующей разработки и создания сырьевых ингредиентов, которые смогут послужить основой для создания функциональных продуктов питания. Также в статье проведён сравнительный анализ приводимых методов, рассмотрена возможность их совмещения для получения наиболее эффективных результатов биофортификации.

### **Ключевые слова**

Биофортификация, зерновые культуры, обогащение, ультразвуковое воздействие, фолиарная обработка, предпосевная обработка, нутриенты.

---

Проблема «скрытого голода», то есть потребление людьми в пищу продуктов с несбалансированной пищевой ценностью, является одной из глобальных проблем, представляющих угрозу жизни и здоровью людей. Одним из вариантов её решения на сегодняшний день представляется разработка различных методов и подходов, направленных на повышение пищевой ценности сырья и производимых продуктов. Биофортификация является одним из способов увеличения содержания в сырье и конечном продукте таких компонентов, как витамины, минералы, биологически активные вещества. Она также является экологичным и экономичным методом возделывания богатых нутриентами культур в местностях со скудными и истощенными почвами.

Биофортификация, наряду с селекцией и генной инженерией, является основным направлением обогащения растительного сырья. Наиболее изученными целевыми нутриентами для сельскохозяйственной биофортификации являются цинк, селен, йод, медь, а также гамма-аминомасляная кислота. Этими нутриентами целесообразнее всего обогащать такие культуры, как пшеница, рис, рожь, овёс и ячмень. Комплексный анализ массива исследований, представленных в открытой печати, позволил изучить и проанализировать основные современные подходы к технологиям обогащения сельскохозяйственных культур, а также выполнить сравнительный анализ различных методов биофортификации.

Так, исходя из исследований зарубежных авторов, можно сделать вывод, что на всхожесть и урожайность культуры пшеницы благотворно влияет фолиарная обработка её растворами, содержащими цинк и железо [1, 2]. Этот метод также увеличивает итоговое содержание данных целевых нутриентов.

В работе А.П. Кирюшиной [3] описаны результаты обработки культуры ячменя раствором селенитом натрия в различных концентрациях. Наиболее эффективными и нетоксичными для растения при последующем проращивании оказались обработки растворами 0,005% и 0,01% селенита натрия. Авторы отмечают, что оптимальный для потребления человеком в пищу уровень селена в сырье достигается обработкой 0,005% раствором.

---



Помимо обработки составами с заданным химическим составом, было также комплексно изучено использование физических методов воздействия в рамках предпосевной обработки семян, из которых наиболее перспективными для изучения являются ультразвук и инфракрасное облучение.

В работе Н.Т. Гаджимусиевой и ее коллег [4] исследовано влияние кратковременного воздействия лазерного и инфракрасного излучения на зерно пшеницы. Отмечено, что в сочетании с последующим охлаждением, длина корней и стеблей увеличивается в среднем на 15% по сравнению с неохлажденными и необработанными культурами. Предварительная обработка семян ячменя ультразвуком также положительно сказывается и на его биохимических характеристиках при последующем проращивании. Это подтверждается исследованием И.С. Скобковой и её коллег [5].

На основе комплексного анализа массива исследований, представленных в открытой печати, была разработана схема обобщенного механизма биофортификации зерновых культур, которая подразумевает двойной подход в повышении пищевой ценности разрабатываемых сырьевых ингредиентов (рис. 1). В ней применение физических способов воздействия и регулирование химического состава среды позволит повысить содержание белковых веществ, витаминов, минералов и биологически активных веществ. Также была разработана схема возможных вариантов использования полученных сырьевых ингредиентов повышенной пищевой ценности в производстве пищевых продуктов, где возможны варианты создания снековой продукции, обогащения молочных изделий, а также получения сбалансированных кормовых систем.



Рис. 1. Схема обобщенного механизма биофортификации зерновых культур

Собственные рекогносцировочные исследования показали, что обработка ультразвуковым воздействием зерновых культур повышает содержание таких аминокислот как лизин, изолейцин и треонин, а также положительно влияет на антиоксидантные свойства сырьевых

ингредиентов (рис. 2). Необходимо отметить, что ультразвук значительно увеличивает на содержание ГАМК получаемых сырьевых ингредиентов в технологии проращивания [6], данный факт является объектом дальнейших исследований.

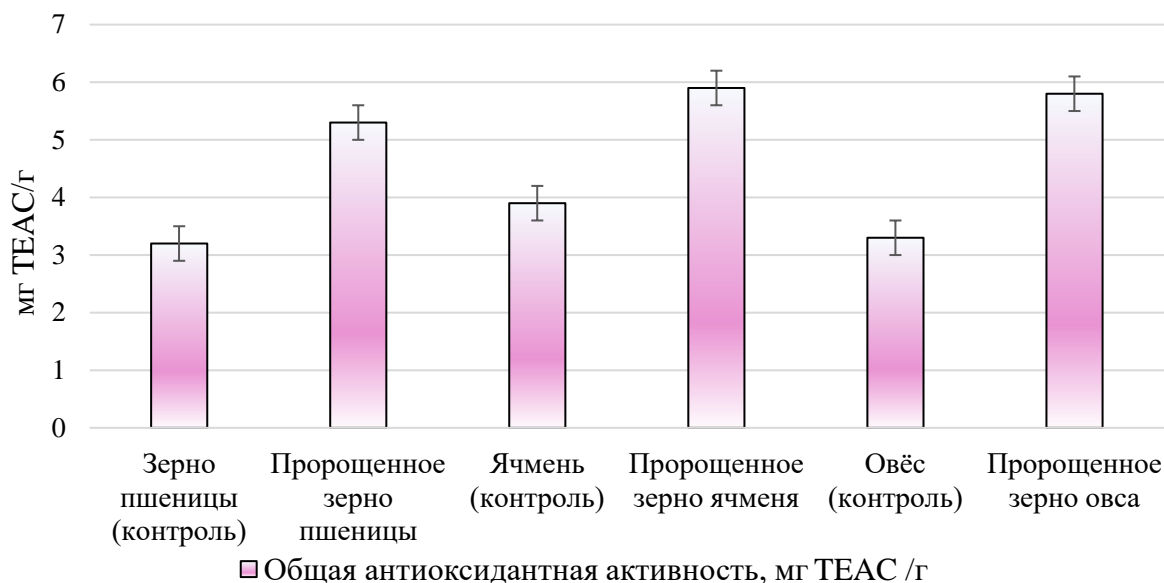


Рис. 2. Результаты определения общей антиоксидантной активности исследуемых образцов зерновых культур

Полученные результаты рекогносцировочных исследований показали, что биофортификация (как способ проращивания) является эффективной технологией повышения антиоксидантных свойств сырьевых ингредиентов.

Биофортификация является перспективным и экономичным решением проблемы разработки продуктов с повышенной пищевой ценностью. Она позволяет получать сырьевые ингредиенты, в которых содержатся необходимые микро- и макроэлементы, витамины и незаменимые аминокислоты, что даёт возможность создания функциональных продуктов.

#### Список использованных источников

1. Tewodros, Mulualem Application of Bio-fortification through Plant Breeding to Improve the Value of Staple Crops. // *Biomedicine and Biotechnology*. 2015. Vol. 3. №. 1. Pp. 11–19. DOI:10.12691/bb-3-1-3.
2. Prasad B.V.G., Mohanta Smaranika, S. Rahaman Prerna Bareily Bio-fortification in Horticultural Crops. // *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*. 2015. Vol. 2. №. 2. Pp. 95–99.
3. Кирюшина А.П., Воронина Л.П. Фолиарная обработка ячменя селенитом натрия в контролируемых условиях // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2017. №. 2. С. 13–18.
4. Гаджимусиева Н.Т., Асварова А.С., Абдулаева А.С. Эффект воздействия инфракрасного и лазерного излучения на всхожесть семян пшеницы // *Фундаментальные исследования*. 2014. №. 11-9. С. 1939–1943.
5. Скобкова И.С., Каменская Е.П. Влияние предпосевной обработки семян ячменя ультразвуком низкой интенсивности на биохимические показатели его ростков // В сборнике: *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности*. ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет». 2013. С. 421–424.
6. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Белоглазова Н.В. и др. Влияние ультразвукового воздействия при проращивании зерна пшеницы на синтез  $\gamma$ -аминоасляной кислоты// *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2019. Т. 7. №. 4. С. 85–93. DOI: 10.14529/food190409.

УДК 637.073

## БИОДОСТУПНОСТЬ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО И НЕОРГАНИЧЕСКОГО СЕЛЕНА

*Рухляда К.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Кипрушкина Е.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: ksn.ruh@gmail.com, eikiprushkina@itmo.ru*

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

---

В данной работе рассмотрены основные формы селена и их биодоступность. Селен является важным микроэлементом в рационе, который необходим для поддержания здоровья, роста и биохимических и физиологических функций. Исследования показали, что его усвояемость в организме человека зависит от того, в какой форме он поступает. А также были рассмотрены методы определения содержания селена в продуктах питания для исключения возможности его передозировки.

### **Ключевые слова**

Селен, органическая и неорганическая форма селена, селенометионин, селеноцистеин, токсичность.

---

Селен является важным элементом в окружающей среде и живых организмах, который необходим в очень узком диапазоне концентраций, в то время как дефицит или токсичность возникают за пределами этого диапазона. Однако его токсичность зависит не только от дозы, но и от его химической формы. Селен участвует в работе иммунной, антиоксидантной и детоксикационной систем организма, нейтрализует свободные радикалы в момент их возникновения, а также ингибирует образование перекисей в составе ферментов пероксидазы.

Установлено, что селен оказывает противораковое и омолаживающее действие на здоровье. Кроме того, он также снижает риск сердечных заболеваний, лечит астму, повышает иммунитет и уменьшает нарушение всасывания питательных веществ в организме. Дефицит селена может ослабить иммунную систему, замедлить умственное развитие, а также нарушить метаболизм гормонов щитовидной железы. Доза селена, ежедневно поступающая в организм, зависит от многих факторов, главным образом от географического региона, то есть от рациона питания в данной стране.

Из всех преимуществ для здоровья, приписываемых Se, наибольшее внимание уделяется его роли в качестве средства профилактики рака. Эпидемиологические исследования, проведенные за последние четыре десятилетия, показали более низкие показатели смертности от рака в регионах с высоким уровнем Se в почве, а также корреляцию между возникновением определенных видов рака и уровнем Se в плазме населения. Противоопухолевые свойства Se, в основном на сверхпитательных уровнях добавок, были продемонстрированы в ряде исследований на животных и *in vitro*. Кроме того, сообщалось, что Se может использоваться не только для профилактики рака, но и для лечения рака. Было показано, что прием добавок селена наряду с обычной противоопухолевой терапией повышает эффективность стандартных химиотерапевтических препаратов, ограничивает побочные эффекты и улучшает общее состояние пациентов, не снижая эффективности лечения.

Селен поддерживает очень тонкую грань между уровнем необходимости и вредности. Из-за этого дефицит или избыток этого элемента в организме опасен и вызывает проблемы со здоровьем, как физические, так и психические.

---

Основным источником селена является сбалансированное питание с правильным выбором мясных и растительных продуктов. Между тем, правильное усвоение селена в этих продуктах зависит от их биодоступности, биодоступности и/или биологической активности данного соединения селена. В России установлена норма потребности в селене в 55 мкг/сутки для женщин, 75 мкг/сутки для мужчин, 10-50 мкг/сутки для детей. Следует стремиться придерживаться рекомендуемой дозировки, а также верхнего допустимого предела потребления этого элемента. Дозы селена выше 400 мкг/сут до 700 мкг/сут могут оказывать токсическое действие [1].

Известно, что биодоступность Se, получаемого с пищей, зависит от источника [2]. Основным источником селена является правильное питание, что означает правильный выбор продуктов животного и растительного происхождения. Однако содержание селена в пищевом продукте не означает, что организм получит необходимое количество этого элемента. Правильное усвоение селена из пищевых продуктов зависит от: биодоступности комплекса селена, которая может быть легко транспортирована через мембрану биологического организм; биодоступности измененной формы селена в кишечнике или легких в растворимую форму, способную трансформироваться с биологической мембраной; биологическая активность, означающая усвоение данной формы селена, влияющая на повышение активности некоторых селенопротеинов, таких как глутатионпероксидаза или йодтирониндейодиназа [3].

Селен существует в двух формах: неорганической (селенат и селенит) и органической (селенометионин и селеноцистеин). Обе формы могут быть хорошими диетическими источниками селена, но они имеют различную биодоступность и токсичность. Почвы содержат неорганические селениты и селенаты, которые растения накапливают и преобразуют в органические формы, в основном селеноцистеин и селенометионин и их метилированные производные.

Неорганический селен поступает в организм в виде селенат- и селенит-анионов и восстанавливается до селеноводорода. При поступлении в организм избыточного количества неорганического селена он может накапливаться в тканях в виде токсичного гидроселениданиона, который с трудом утилизируется организмом. По этой причине специалисты по селену советуют принимать только органически связанный селен, а препараты с неорганическим селеном принимать только под наблюдением врача.

Селен в органической форме (селенометионин и селеноцистеин) при избыточном потреблении легко занимает «свободные места» в одноименных аминокислотах в белках, что позволяет судить о его низкой токсичности. Одним из способов восполнения суточной потребности организма в селене является потребление биологически активных добавок, однако большинство таких добавок содержат селен в минеральной и синтезированной форме, проявляющей токсичные свойства. В то же время установлено, что в составе органических соединений селен теряет свои токсичные свойства и становится безопасным для потребителя, следовательно, включать селен в функциональные продукты питания необходимо в органической форме, в виде селенометионина или селеноцистеина. Селеноцистеин используется для создания селенопротеинов, которые включают транспортный белок селенопротеин, и селенометионин неспецифически включается в пул белков, конкурируя с метионином.

Таким образом, определение соединений селена в настоящее время является очень распространенной областью аналитической химии из-за важности селена для роста и здоровья человека. На данный момент методы, основанные на сопряженной хроматографии (особенно ВЭЖХ) и спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), считаются наиболее осуществимыми и потенциальными аналитическими инструментами для определения селена. Хотя существует множество публикаций об определении различных соединений селена, точность определения в них редко демонстрируется. Это из-за отсутствия сертифицированных справочных материалов для определения вида селена и, следовательно, валидация определения вида селена является непростой задачей.

Сегодня наиболее часто используемым методом анализа выделения селена является хроматографическое или электрофоретическое разделение в сочетании с чувствительной масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) [4].

Каталитический спектрофотометрический метод - это еще один метод определения селена в пищевых продуктах. В этом способе происходит каталитическое восстановление метиленового синего сульфидами до селеносульфидов.

Комбинация хроматографа со спектрометром (ВЭЖХ-ICP-MS) действует как селективный детектор, который позволяет определять органические соединения селена и аминокислоты селена. Se также может быть определен с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в сочетании с пламенной атомно-абсорбционной спектрометрией (FAAS) детектирования (с использованием целевого концентратора STAT) или индуктивно связанной плазмы с масс-спектроскопией (ICP-MS) детектирования.

В последнее время селективное определение Se (IV) стало возможным с помощью адсорбционной вольтамперометрии после восстановления Se (IV) горячим HCl [5]. Для определения селена применяют два варианта метода инверсионной вольтамперометрии: анодную и катодную. Наиболее часто используется индикаторный электрод при анодном инверсионно вольтамперометрическом определении селена, но чувствительность данного метода определения недостаточна для анализа объектов с естественным содержанием селена – на уровне 0,005 мкг/дм<sup>3</sup>. При определении селена наиболее предпочтителен метод катодной инверсионной вольтамперометрии, так как предел обнаружения, достигнутый разными исследователями, составляет 0,0002–0,001 мкг/дм<sup>3</sup>, что значительно превышает предел определения при анодной вольтамперометрии и позволяет использовать катодную вольтамперометрию для анализа объектов с низким содержанием селена, таких как пищевые продукты [6].

Воздействие Se на здоровье человека является сложным процессом. Интерес к селену растет в течение последних нескольких десятилетий в связи с ростом знаний о его важности для общего состояния здоровья. Способность некоторых растений накапливать и преобразовывать неорганические формы селена в его биологически активные органические соединения имеет важные последствия для питания и здоровья человека. Но, учитывая его небольшой диапазон допустимой суточной нормы потребления, необходимо следить за концентрацией селена в продуктах питания.

Наиболее перспективным методом решения проблемы недостаточности Se у человека и животных является агрохимическое обогащение растений селеном. При этом происходит преобразование неорганической формы селена в органическую путем трансформации почвенного селена в селенометионин.

#### Список использованных источников

1. МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. – Введ. 2008-12-18. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.
2. Zia W.M. et al. Organic and inorganic selenium in poultry: A review // *Indian J Anim Res.* 2018. Т. 52. №. 4. С. 483–489.
3. Vodnar M. et al. Methods of selenium supplementation: bioavailability and determination of selenium compounds // *Critical reviews in food science and nutrition.* 2016. Т. 56. №. 1. С. 36–55.
4. Pyrzynska K. Selenium speciation in enriched vegetables // *Food chemistry.* 2009. Т. 114. №. 4. С. 1183–1191.
5. Rai A. et al. Selenium in Food, its Detection Methods and Human Health: A Review // *Trends in Biosciences.* 2019. Т. 12. №. 12. С. 849–854.
6. Антонова С.Г. и др. Содержание и определение селена в пищевых продуктах // *Пищевая промышленность.* 2009. №. 2. С. 8–10.

УДК 667.27

## ЭКСТРАКЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА ИЗ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УДАРНО-ДЕЗИНТЕГРАТОРНО-АКТИВАТОРНОЙ ОБРАБОТКИ

Силин П.А.<sup>1</sup> (аспирант), Самоделкин М.А.<sup>2</sup>

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

e-mail: Pasha1408@mail.ru, barakova@itmo.ru

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

---

В статье показано преимущество извлечения хлорофилла из морских водорослей с применением ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки. Установлено, что при использовании в качестве растворителей: этилового спирта, смеси гексана и этилового спирта (9:1) и хлороформа, повышается концентрация хлорофилла в экстракте из морских водорослей на 79,4; 42; и 2 % соответственно относительно концентрации хлорофилла в экстрактах, полученных из морских водорослей, обработанных на измельчителе с роторно-ножевым рабочим органом.

### **Ключевые слова**

Хлорофилл, морские водоросли. экстракция, ударно-дезинтеграторно-активаторная обработка, роторно-ножевой рабочий орган, хлорофилл.

---

Хлорофилл является важнейшим компонентом фотосинтетического аппарата листьев в растениях. В организме человека хлорофилл помогает выработке эритроцитов, связывает токсины тяжелых металлов и удаляет их, стимулирует производство красных кровяных телец, увеличивает подачу кислорода, блокирует метаболизм прокарциногенов, стимулирует производство ферментов, которые разрушают жирные кислоты и т. д. В соответствии с положительным влиянием хлорофилла на организм человека, важно получать экстракты с большей его концентрацией.

Сырьем для извлечения хлорофилла являются: зелень, лекарственные травы, сине зеленые водоросли. Преимуществом сине зеленых водорослей является то, что в них содержится только хлорофилл [1].

Существуют разные способы извлечения хлорофилла. В качестве экстрагента выбирают следующие растворители: ацетон, спирт этиловый питьевой (95%), гексан, петролейный эфир, хлороформ. Используют одно- и многократную экстракцию, а также одно- и двухфазовую экстракцию с применением не смешивающихся растворителей [2].

Для повышения выхода биологически активных веществ из растительного сырья эффективным способом является обработка растительного сырья ферментными препаратами [3]. При получении порошка моркови из морковных выжимок, обработанных ферментными препаратами и последующей обработкой на установке ударно-дезинтеграторно - активаторного действия, была показана перспективность применения такого типа обработки при извлечении каротиноидов [4]. Дальнейшее, после экстрагирования, сгущение экстрактов проводят при избыточных давлениях (400 Па) и температуре не выше 40°C [5].

Эксперименты проводились с применением этилового спирта, смеси этилового спирта с гексаном и с применением хлороформа, полученные результаты представлены в таблице.

---

Таблица

**Влияние вида растворителя и способа обработки водорослей на концентрацию хлорофилла в экстракте**

Наименование растворителя	Способы обработки морских водорослей	Концентрация извлеченного хлорофилла, мг/дм <sup>3</sup>
Этиловый спирт	Измельчитель с роторно-ножевым рабочим органом	3,49
	Ударно дезинтеграторно-активаторная обработка	6,20
Гексан и этиловый спирт (9:1)	Измельчитель с роторно-ножевым рабочим органом	2,49
	Ударно дезинтеграторно-активаторная обработка	3,53
Хлороформ	Измельчитель с роторно-ножевым рабочим органом	5,95
	Ударно дезинтеграторно-активаторная обработка	6,07

В результате проведенных экспериментов было показано положительное влияние ударно-дезинтеграторно- активаторной обработки морских водорослей при извлечении хлорофилла. Было установлено, что при использовании в качестве растворителей: этилового спирта, смеси гексана и этилового спирта (9:1) и хлороформа, повышается концентрация хлорофилла в экстракте из морских водорослей на 79,4; 42; и 2% соответственно относительно концентрации хлорофилла в экстрактах полученных из морских водорослей, обработанных на измельчителе с роторно-ножевым рабочим органом.

**Список использованных источников**

1. Ефимова А.А. Обоснование технологии получения хлорофилла из сине зеленых водорослей, как пищевой добавки//Фундаментальные исследования. 2007. №. 11. С. 82–84.
2. Найтушена Л.В., Карасева А.Ю., Чесноков Н.В. Спектрофотометрическое исследование накопления хлорофилла и его производных в экстрактах Melissa лекарственной при использовании двухфазной системы растворителей // Журнал СФУ. Химия. 2012. №. 3. С. 281–288.
3. Адади П., Баракова Н.В., Филиппова Д.С. Влияние ферментных препаратов на извлечение пигментов из растительного сырья // Вестник международной академии холода. 2019. №. 2. С. 64–68.
4. Басковцева А.С., Кыздарбек У., Баракова Н.В., Самоделкин Е.А. Эффективность применения ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки (УДА-обработки) в технологии получения порошка моркови X Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», Санкт-Петербург, 27-29 октября 2021г.): материалы конференции. 2021. С. 239–244.
5. Костина Н.Г., Подлегаева Т.В., Сергеева И.Ю. Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. (49). №. 4. С.522–530.

УДК 661.123

## МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОПОЛИМЕРОВ С ЗАДААННЫМИ СВОЙСТВАМИ

*Соловей И.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Кременевская М.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: fenixo1999@gmail.com*

---

В работе рассмотрено потенциальное применение полимерной матрицы на коллагеновой основе для лечения и профилактики гнойных ранений путём интегрирования в основную структуру матрицы антибактериальных экстрактов, полученных методом экстрагирования из лекарственных растений *Mentha piperita* (Мята перечная) и *Rubia tinctorum* (марена красильная), произрастающих на территории Российской Федерации.

### **Ключевые слова**

Полимерная матрица, коллаген, ментол, люцидин примеверозид, руберитриновая кислота, *R. tinctorum*, *M. piperita*.

---

Противогнойные раневые покрытия на территории Российской Федерации представлены двумя основными брендами: Mepitel® и Branolind N. Mepitel® представляет собой полиамидную сетку, покрытую с обеих сторон силиконовым покрытием Safetac (также используется в повязках бренда Mepilex®) и направленную на ускорение заживления различных видов кожных ранений. Branolind N состоит из однослойной сетчатой хлопчатобумажной ткани и мазевой основы, состоящей из вазелина и перуанского бальзама. Данный бренд также направлен на лечение ран, язв и иных поверхностных повреждений кожи.

В настоящее время есть вероятность прекращения, либо снижения деятельности данных брендов на территории Российской Федерации. Производство Mepitel® сосредоточено в Швеции, в то время как перуанский бальзам для повязок Branolind N является дорогостоящим импортным товаром. В связи с этим было принято решение рассмотреть потенциальные возможности импортозамещения при создании модели полимерной матрицы противогнойных покрытий. Повышения антибактериальной эффективности покрытия возможно добиться путём введения в матрицу антибактериальных экстрактов, полученных из лекарственных растений, обладающих бактерицидными свойствами.

*Mentha piperita* (мята перечная) сама по себе обладает слабой антибактериальной активностью, поэтому зачастую включается в более комплексные препараты. В качестве основного компонента, обуславливающего антибактериальную активность *M. Piperita*, выступает ментол. Процентное содержание в растении составляет 30–55%. При повышении концентрации в растении/экстракте ментол демонстрирует большую антибактериальную активность, в том числе против *S. aureus* (золотистый стафилококк) и *S. epidermidis* (стафилококк эпидермальный), являющихся одними из основных возбудителей гнойных инфекций [1]. Для повышения качества интеграции экстракта мяты в коллагеновую основу использовался краситель, полученный из корня *Rubia tinctorum* (Марена красильная). Двумя наиболее распространенными красителями в необработанных корнях марены являются гликозиды люцидин примеверозид и руберитриновая кислота. Оба гликозида демонстрируют значительное взаимодействие между сахарами в кристаллической решётке [2]. Подобные наблюдения приводят к вопросам о том, как молекулы данного красителя взаимодействуют с подложками из текстильных волокон. Помимо связующих взаимодействий, экстракт *R. tinctorum* также проявляет слабую антибактериальную активность.

---



Целью данной работы является исследование реологических свойств полимерной матрицы на коллагеновой основе и возможность придания ей антибактериальных свойств путём интегрирования в основную структуру растительных экстрактов. Сама матрица направлена на использование в качестве покрытия/повязки, обеспечивающей изоляцию и последующее заживление гнойных кожных ранений.

Для определения реологических характеристик были выбраны четыре опытных образца коллагеновой матрицы размерами 30 x 50 см и средней толщиной 0.55 мм. Образцы делились на 4-5 полос 30 x 10 см, толщина полос составляла от 0.2 до 0.9 мм в зависимости от выбранного образца. Полосы закреплялись и проверялись на растяжение и разрыв на устройстве марки INSTRON. На рисунке 1 представлен график зависимости напряжения от деформации для образца толщиной 0.206 мм. В таблице приведены значения предела прочности, удлинения при разрыве и модуля Юнга для каждой из полос.

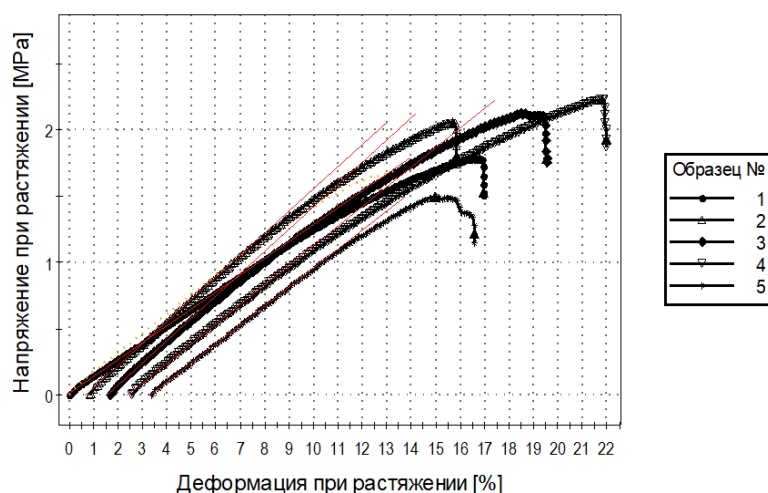


Рис. 1. Зависимость напряжения от растяжения при деформации образцов толщиной 0.206 мм

Таблица

**Предел прочности, удлинение при разрыве и модуль Юнга для полос образца толщиной 0.206 мм**

Номер образца	Предел прочности, МПа	Удлинение при разрыве, %	Модуль Юнга, МПа
1	1.787	16.98	12.768
2	2.058	15.03	16.8
3	2.123	17.82	16.770
4	2.229	19.42	14.807
5	1.493	13.16	14.347
Среднее значение	1.938	16.48	15.099
Стандартное отклонение	0.298	2.44	1.715

Результаты исследований проводились с необходимой кратностью, обеспечивающей доверительный интервал случайной погрешности результата измерения 0,95. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Bluehill® Fracture.

Для приведённого образца средняя деформация при растяжении составляет около 16.48%, что при указанной толщине превосходит среднюю деформацию коллагена, составляющую приблизительно около 12–15%. Доказана сравнительно высокая пластичность коллагеновой матрицы, что свидетельствует о потенциальной возможности её применения в качестве раневой повязки.

После определения оптимальной структуры была осуществлена подготовка водных растительных экстрактов и растворов на основе коллагена. Три раствора – Коллаген + R. Tinctorum (1:20), Коллаген + M. piperita (1:30) и Коллаген + H<sub>2</sub>O (1:20) в качестве образца сравнения были направлены на дальнейшее измерение динамической вязкости и плотности.

Измерение плотности осуществлялось на устройстве DMA 5000M (Anton Paar GmbH), измерение вязкости – на устройстве MCR 702. На рисунке 2 приведены результаты измерения вязкости исследуемых растворов, представленные в виде зависимости напряжения сдвига цилиндра реометра от скорости сдвига. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы RheoCompass.

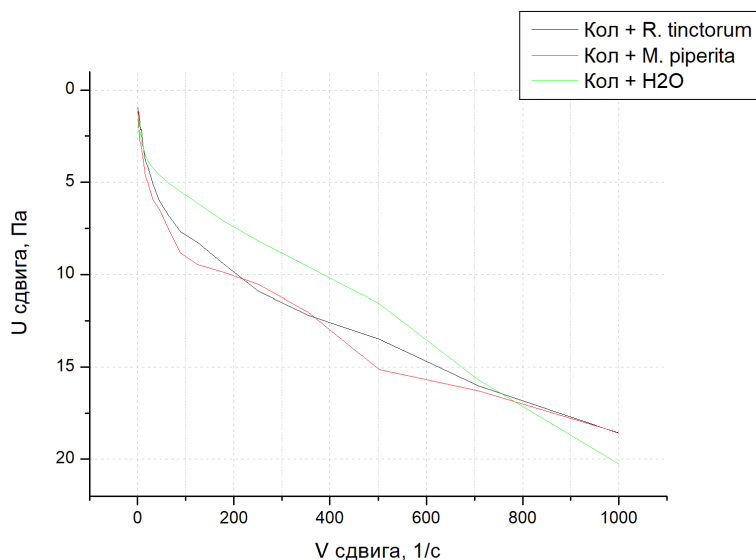


Рис. 2. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига для 3 исследуемых растворов: Коллаген + R. tinctorum, Коллаген + M. Piperita, Коллаген + H<sub>2</sub>O

Плотность растворов составила 1.01079 г/см<sup>3</sup> (Коллаген + R. tinctorum), 1.0038 г/см<sup>3</sup> (Коллаген + M. Piperita), 0.9739 г/см<sup>3</sup> (Коллаген + H<sub>2</sub>O). На основании полученных результатов возможно сделать вывод о незначительных отличиях вязкости и плотности исследуемых растворов от образца сравнения, что в свою очередь свидетельствует о потенциальной возможности внедрения данных растворов в коллагеновую структуру без значительного изменения её реологических свойств.

Таким образом, интеграция в коллагеновую матрицу антибактериальных экстрактов на основе M. Piperita L. и R. tinctorum является возможной и не должна оказывать влияние на изменение реологических свойств коллагеновой матрицы, полученной на основе раствора коллагена + H<sub>2</sub>O. Дальнейшими задачами являются непосредственная интеграция экстрактов на растительной основе в коллагеновую матрицу, подтверждение её антибактериальных свойств и исследование физико – химических характеристик полученного продукта.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении исследований Центру химической инженерии Университета ИТМО и «Центру диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники», Научный парк, СПбГУ.

#### Список использованных источников

1. Singh R., Shushni M.A.M., Belkheir A. Antibacterial and antioxidant activities of Mentha piperita L // Arabian Journal of Chemistry. 2015. Vol. 8. Iss. 3. Pp. 322–328.
2. Henderson R.L., Rayner C.M., Blackburn R.S. Isolation and extraction of lucidin primeveroside from Rubia tinctorum L. and crystal structure elucidation // Phytochemistry. 2013. №. 95. Pp. 105–108.

УДК 664.38:664.139

## АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНИЦИАТИВ В ЗАВЕДЕНИЯХ ОБЩЕПИТА В РОССИИ

*Ткаченко Е.С.<sup>1</sup> (студент), Кутузов А.А.<sup>1</sup>(студент)*

*Научные руководители – кандидат технических наук, доцент Орлова О.Ю.<sup>1</sup>,  
доцент Бойцова Ю.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: tkachenko-ekaterina-2017@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №622151 «Обеспечение коммерциализации и капитализации научно-прикладных проектов в области Foodtech»*

---

В представленном исследовании был проведён анализ примеров реализации экологических инициатив в сфере заведений общественного питания в России. Особое внимание уделено флагманским, с позиции «зелёных» инициатив, заведениям, интегрирующим инновационные подходы к переработке и минимизации отходов в собственный технический процесс, собственную корпоративную культуру и маркетинговые решения, тем самым, повышающим уровень осознанности своей целевой аудитории и повышая её интерес к проблемам экологического характера. Анализ заведений общественного питания также позволил сформировать понимание того, на каком уровне находится актуальный сегмент «зелёных» заведений и выделить наиболее острые проблемы в области реализации экологических инициатив в современной России.

### **Ключевые слова**

Foodtech, zero waste, экология, общественное питание, переработка отходов, разработка рецептур, осознанное потребление.

---

В современном секторе общественного питания всё популярнее становится интеграция в бизнес-модель экологических решений. Данная тенденция обусловлена сразу рядом причин – от преимущественно маркетинговых решений до реальной деятельности по рационализации технического процесса и, как следствие, уменьшение фактических издержек [1].

Среди наиболее популярных направлений «зелёных» инициатив в общепите можно выделить: составление техкарт для продуктов с исходящим сроком годности; прогнозирование издержек в процессе приготовления блюд; интеграция заведения в фудшеринг-сервисы и сообщества; применение в процессе производства блюд ресурсосберегающих технологий; сортировка отходов [2].

Перечисленные направления взяты на вооружение, в том числе, в заведениях отечественного рынка общепита, что представляет особый интерес, с точки зрения анализа актуальных тенденций развития экологических инициатив в современной России.

В представленной работе будет дан анализ экологических инициатив в заведениях Harvest, Garage, Vjörn и петербургской сети пекарен «Буше» как в ресторанах-флагманах в сфере использования «зелёных» решений. Проведение подобного анализа позволит сформировать целостное и истинное представление о положении экологических инициатив в условиях реального российского рынка общественного питания [3].

В рамках изучения экологических инициатив ведущих российских заведений общественного питания было принято решение вынести результаты в общую сводную таблицу, где будут представлены реализованные и нереализованные заведениями «зелёные» практики.

Все перечисленные заведения постулируют в собственных интернет-ресурсах взгляд в будущее и необходимость распространения «зелёных» решений для сохранения планеты и повышения качества жизни каждого из нас – в известной степени, спекулируя на теме экологии

---

и привлекая лояльную аудиторию [4]. Но, де-факто, не все заведения дают чёткую и справедливую оценку собственной экологической деятельности.

Так, из всех проанализированных заведений регулярно отчитывается о собственных результатах только московский ресторан Bjorn, публикующий в открытом доступе информацию о количестве «спасённых» и отсортированных ресурсов, интеграции zero waste на всех этапах приготовления блюд и привлечении ресурсоёмких решений для сокращения использования энергетических ресурсов.

На приближенном уровне осознанности функционирует и петербургский ресторан Harvest, который, в отличие от предыдущего заведения, не интегрировал zero waste на всех этапах работы заведения, а также не уделяет должного внимания фиксации и публикации результатов своей деятельности в рамках экологических инициатив.

Петербургский ресторан Garage уже значительно отличается от Bjorn и Harvest как с позиции ценовой категории (первые два ресторана относятся к околопремиальному сегменту, на их фоне Garage более бюджетное решение), так и в степени адаптации экологических инициатив. Garage заявляет о своей "зелёной" направленности, но, на данный момент, ограничивается сортировкой отходов, использованием собственной линейки биоразлагаемой посуды и достаточно модной акцией на приобретение напитков в посуду гостей со скидкой, а также проводятся точечные экологические мероприятия. Заведение не занимается переработкой или минимизацией пищевых отходов посредством zero waste, не интегрирует фудшеринг, а также не предоставляет системные и прозрачные отчёты о своей "зелёной" деятельности.

Выбор сети пекарен "Буше" для анализа, в одном ряду с перечисленными выше ресторанами высокого и среднего сегмента, был обусловлен высокой узнаваемостью бренда, зарекомендовавшего себя, как прогрессивного (в том числе, с позиции экологических инициатив) флагмана в сегменте кофеен и булочных. На практике, все не так однозначно и радужно, как в маркетинговых активностях сети в медиа и социальных сетях: в заведениях сети номинально сортируют кофейные отходы, пластик и бумажные отходы и поддерживают точечные инициативы локальных активистов. На перечисленных инициативах, на данный момент, остановилась одна из крупнейших и узнаваемых сетей общественного питания в Петербурге.

Можно предположить, что медленный ритм инновационной деятельности обусловлен масштабами бизнеса, но, на данный момент экологические активности сети оставляют желать лучшего.

В уже упомянутой таблице представлены более детальные результаты сопоставительного анализа российских заведений общественного питания, наиболее активно вовлеченных в реализацию экологических инициатив.

Таблица

**Результаты анализа российских заведений общественного питания, наиболее активно вовлеченных в реализацию экологических инициатив**

Критерии	Bjorn	Garage	Harvest	буше
Сортировка мусора	+	+/-	+	+/-
Органические отходы	+	-	-	-
Минимизация расходных материалов	+	+	+	+/-
Ресурсосбережение	+	+	+	+/-
Прогноз закупок	+	+/-	+	+/-
Маркетинг	+	+	+	+
Отчетность	+	-	-	-
Итог	1 место	3 место	2 место	4 место

В ходе проведённого анализа экологических инициатив в отечественном секторе заведений общественного питания был подтвержден тезис о том, что "зелёные" инициативы все чаще встречаются на бытовом уровне и рестораны здесь не исключение, а, скорее, флагманы,

выполняющие роль популяризаторов трендов и инновационных подходов к приготовлению блюд и, в целом, работе заведений.

Так, наиболее эффективными и выделяющимися в области экологических инициатив являются рестораны Москвы и Санкт-Петербурга, а среди приоритетными направлений деятельности заведений можно выделить сортировку отходов, привлечение локальных поставщиков и использование многоразовых или экологичных расходников; также особое внимание заведения уделяют минимизации пищевых отходов (концепция zero waste, которая привлекает всё большее внимание не только замотивированных с точки зрения маркетинга рестораторов, но и ведущих исследователей) [5].

Выделяя наиболее выдающиеся, по числу и масштабам экологических инициатив, заведения, необходимо сказать о таких ресторанах, как Bjorn и Harvest, которые выполняют сразу комплекс мер по минимизации издержек энергетических ресурсов, уменьшению количества расходных материалов, сортировке отходов, а также повсеместному следованию концепции zero waste в процессе приготовления блюд.

Переходя от частного к общему и оценивая более масштабные, всероссийские, перспективы роста экологических инициатив, можно заключить, что, в массе своей, эффективные "зелёные" инициативы лишь точно распространены в двух крупнейших городах страны, в то время, как регионы и массовый потребитель крайне далеки от прогрессивных трендов.

Причина столь удручающего положения дел – низкий уровень осознанности потребителя, с которым можно бороться лишь посредством долгой и системной работы со стороны крупного бизнеса и государства. Примечателен тот факт, что в рамках деятельности по утилизации пищевых отходов существуют две достаточно серьёзные преграды – устаревшая законодательная база, не позволяющая, например, заниматься отечественному бизнесу масштабным фудшерингом; а также не самая эффективная инфраструктура в сфере переработки отходов.

#### **Список использованных источников:**

1. Мировой спрос на органические продукты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrobook.ru/news/5086/mirovoy-spros-na-orgamcheskie-produkty-budet-uvlichivatsya> (дата обращения: 09.12.2022).
2. Лучшие эко инициативы международных. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shopolog.ru/metodichka/kompanii-i-rynki/luchshie-eko-iniciativ-mezhhdunarodnyh-ritevlerov/> (дата обращения: 10.12.2022).
3. Ермолаева Ю.В. Zero waste мегаполисы в России: реализация эффективной схемы управления отходами в России поданным экспертного опроса на примере Москвы и Казани // Научный результат. Социология и управление. 2019. №. 5(1). С. 96–108.
4. Божук С.Г., Плетнева Н.А. Влияние экологических и социальных инициатив компаний на формирование потребительской лояльности // Практический маркетинг. 2017. №. 2-1(240-1). С. 11–18.
5. Доля И.А., Сидорова М.Ю. Проблемы и перспективы развития формата торговли «zero waste» // Вестник магистратуры. 2021. №.5-3(116). С. 8–11.

УДК 663.03

**ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ КРАХМАЛА ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ  
ПРИ ВЫРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЫ НАПИТКОВ**

*Трофимов А.А.<sup>1</sup> (аспирант), Бучилина А.С.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Гунькова П.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: nutrof@vk.com*

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

---

В работе показана перспективность зернового сырья для выработки ферментированных напитков в связи с его высокой пищевой ценностью. Представлены характеристика зернового крахмала и анализ отечественного рынка ферментных препаратов для его гидролиза. Определены задачи гидролиза крахмала при выработке растительной основы ферментированных зерновых напитков, альтернативных молочным.

**Ключевые слова**

Растительные напитки, зерновые культуры, ферментативный гидролиз крахмала, российские ферментные препараты.

---

Согласно данным аналитиков на сегодняшний день, наблюдается значительный рост мировой индустрии альтернатив молочных продуктов. В 2020 году суммарный доход данного сегмента рынка составил \$13 млрд, а в 2031 году ожидается увеличение годовой прибыли до \$55 млрд, что свидетельствует о среднегодовом темпе роста рынка 13,75%. Спрос на молочные альтернативы наблюдается и в нашей стране, что объясняется целым рядом причин, таких как непереносимость лактозы у значительной части населения, обеспокоенность людей о наличии антибиотиков и гормонов роста в молоке сельскохозяйственных животных, приверженность веганской философии и др. [1]. На Российском рынке представлены аналогичные молочным напитки: овсяное, соевое, рисовое, миндальное и кокосовое «молоко». Однако ассортимент таких продуктов требует расширения за счет использования новых источников растительного сырья и выпуска ферментированных молочных альтернатив.

Перспективным сырьем для альтернативных напитков являются зерновые культуры. Использование семян зерновых культур в качестве сырья при выработке растительных напитков обусловлено их высокой пищевой ценностью и наличием в РФ оптимальных условий для возделывания. Пищевая ценность семян зерновых культур обеспечивается их химическими составом. Основные показатели усредненного химического состава семян некоторых зерновых культур по данным [2] представлены в таблице 1. Химический состав семян может различаться в зависимости от сорта, климатических условий, географического расположения района произрастания и агротехники возделывания.

Как показано в таблице 1 наибольший удельный вес в составе зерновых культур имеют углеводы, среди которых преобладает крахмал. Содержание крахмала в зерне различных культур может достигать 64% и выше. Крахмал является недоступным источником углерода для микроорганизмов, поэтому при выработке ферментированных зерновых продуктов требуется его гидролиз до моно- и дисахаров. Параметры процесса гидролиза крахмала определяются его физико-химическими свойствами и температурой клейстеризации (желатинизации), которые, в свою очередь, зависят от размера крахмальных зерен и соотношения в них амилозы и

амилопектина. Амилоза и амилопектин являются основными компонентами крахмала. Амилоза – линейный полисахарид, он состоит из остатков D-глюкозы, связанных между собой  $\alpha$ -1,4-гликозидными связями. Амилопектин – разветвленный полисахарид, образованный остатками D-глюкозы, соединенными  $\alpha$ -1,4-, а в точках разветвления  $\alpha$ -1,6 гликозидными связями.

Таблица 1

**Основные показатели химического состава семян зерновых культур**

Культура	Содержание, г/100г						
	Вода	Белки	Жир	Зола	Углеводы		
					Моно- и дисахариды	Крахмал	Некрахмалистые полисахариды
Пшеница	14,0	12,7	2,31	1,7	1,2	52,4	2,5
Тритикале	14,0	13,6	1,5	2,0	1,0	64,7	3,1
Рожь	14,0	9,9	2,18	1,7	1,5	54,0	2,6
Ячмень	14,0	11,5	2,41	2,4	1,3	50,1	4,3
Овес	13,5	10,2	6,21	3,2	1,1	36,1	10,7
Рис	14,0	7,3	2,53	4,6	0,9	55,2	9,0
Гречиха	14,0	11,6	3,22	1,8	1,2	54,9	10,8
Просо	13,5	11,2	3,93	2,9	1,3	54,7	7,9
Кукуруза	14,0	10,3	4,85	1,2	1,5	56,9	2,1

Количественное соотношение амилозы и амилопектина в крахмальных зернах оказывает влияние на степень набухания крахмала в воде и вязкость смеси. Характеристика крахмала некоторых зерновых культур по данным [3] представлена в таблице 2.

Таблица 2

**Характеристика крахмала различных зерновых культур**

Показатель	Зернопродукты				
	Семена гречихи	Пшеница	Ячмень	Рис	Кукуруза
Содержание крахмала, мг/100г	54–71	52–62	50–66	55–77	56–58
Амилопектин, % от крахмала	75	82	78	79	79
Амилоза, % от крахмала	25	16	22	18	19
Температура клейстеризации, °С	40–67	53–65	60–64	71–84	70–80

Из таблицы 2 видно, что температура клейстеризации крахмала индивидуальна для каждого вида зерновой культуры. Соотношение амилопектина и амилозы в зерновом крахмале в среднем составляет 1:3.

Ферментативный гидролиз зернового крахмала включает три стадии: клейстаризацию, разжижение и осахаривание. Он осуществляется амилолитическими ферментами:  $\alpha$ -,  $\beta$ -амилазами и глюкоамилазой.

$\alpha$ -Амилаза – декстринирующий фермент, интенсивно разжижающий крахмальный клейстер, он действует только на глубинные  $\alpha$ -1,4-гликозидные связи без определенного порядка, и в результате образуются декстрины и небольшое количество мальтозы.  $\beta$ -Амилаза – осахаривающий фермент, гидролизует в крахмале каждую вторую  $\alpha$ -1,4-гликозидную связь, начиная с нередуцирующего конца полисахаридной цепи. Продуктами реакции являются мальтоза и декстрины, называемых  $\beta$ -амилодекстринами. Глюкоамилаза расщепляет в молекуле крахмала  $\alpha$ -1,4- и  $\alpha$ -1,6-гликозидную связь. Глюкоамилаза осуществляет полный гидролиз крахмала до глюкозы [4]. Для снижения высокой первоначальной вязкости смеси при гидролизе крахмала целесообразно использовать ксиланазу. Ксиланаза разрушает клеточные стенки растительного сырья, вызывая деградацию ксилана до ксилозы. Действие этого фермента также способствует повышению в зерновом гидролизате количества белковых веществ, пигментов, крахмала, пектина, сахаристых и биологически активных веществ [5].

К сожалению, в настоящее время на Российском рынке пока немного компаний, которые производят ферментные препараты. Российский рынок ферментов имеет высокую зависимость от импорта, на нем доминируют такие компании как Новозаймс, DSM, DuPont (Danisco), Kemin, Biochem. Отечественные ферментные препараты производят компании ООО «ПО«Сиббиофарм», НПЦ «АгроСистема», ООО «Агрофермент». Эти предприятия ежегодно увеличивают объём выпуска, и в настоящее время производят более 1 тыс. тонн ферментов в год [4]. Для обеспечения продовольственной безопасности развитие отечественной ферментной промышленности является крайне актуальной задачей на сегодняшний день. Ферменты для гидролиза крахмала, производимые в нашей стране, представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Ферменты для гидролиза зернового крахмала, производимые в РФ**

Основной фермент	Ферментный препарат (ФП)	Оптimum действия ФП		Цель применения ФП в биотехнологии ферментированных напитков
		t, °C	pH	
Бактериальная термолабильная $\alpha$ -амилаза	АмилоЛюкс-АТС; АмилоЛюкс-А; Амилосубтилин; Глюкаваморин; Глюконигрин; Амилонигрин	60–70	5,5–7,0	Интенсивное разжижение крахмального клейстера. Расщепление крахмала до декстринов и мальтозы
	Грибная $\alpha$ -амилаза	Амилосубтилин; Глюкаваморин; Амилоризин	50–55	
Глюкоамилаза	ГлюкаваморинГ3х и Г18х; Глюкозим Л400С+; ГлюкоЛюкс-А; ГлюкоЛюкс-Ф	55–60	4,0–5,0	Осахаривание частично расщепленного крахмала до глюкозы
Ксиланаза	Агроксил Плюс; Агроксил; Премиум	40–65	5,0–7,0	Снижение первоначальной вязкости смеси за счет расщепления некрахмалистых полисахаридов

Характеристика ферментных препаратов, представленная в таблице 3, показывает, что отечественные продукты действуют в широком диапазоне температур и pH, что позволяет их использовать при переработке различного зернового сырья.

Таким образом, проведенные исследования показали следующее. Зерновое сырье характеризуется высокой пищевой ценностью и является перспективным для производства ферментированных напитков, альтернативных молочным. В связи с высоким содержанием в зерне недоступного для питания заквасочных микроорганизмов крахмала при выработке растительной основы напитков необходимо проводить ферментативный гидролиз зернового крахмала до моно- и дисахаров. Параметры гидролиза крахмала определяются видом используемого зернового сырья. Отечественные ферментные препараты для гидролиза крахмала характеризуются широким диапазоном действия и могут быть использованы в биотехнологии ферментированных напитков из различного зернового сырья.

**Список использованных источников**

1. Webber J. Groundbreaking: Plant Based Food Market To Skyrocket To \$162 Billion, Says Bloomberg. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plantbasednews.org/news/economics/plant-based-market-skyrocket/> (дата обращения: 14.02.2023).



2. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов: справочник / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. – М.: ДеЛи. 2009. 276 с.
3. Трегубов Н.Н., Жарова Е.Я., Жушман А.И., Сидорова Е.К. Технология крахмала и крахмалопродуктов 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая промышленность. 1981. 472 с.
4. Шлейкин А.Г., Скворцова Н.Н., Бландов Н.Н. Прикладная энзимология. – СПб: Университет ИТМО. 2019. 160 с.
5. A.S. Buchilina., P.I., Gunkova., N.V.Barakova., A.V.Butylev., A.A.Trofimov. The Effect of Xylanase on the Buckwheat Starch Hydrolysis et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 852. P. 012013.

УДК 665.33/ 664.143

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КИЗИЛОВОЙ КОСТОЧКОВОЙ МУКИ В ХЛЕБОПЕЧЕНИИ

*Исаева С.А.<sup>1</sup> (студент), Ушаева И.У.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Джамалдинова Б.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова*

*e-mail: dbirlant@list.ru*

---

Резервом растительного сырья для перерабатывающей промышленности России могут стать дикорастущие растения и вторичные продукты их переработки, доля которых в общем объеме пищевой промышленности еще незначительна. В связи с чем, нами рассматривается возможность применения кизиловой косточковой муки (ККМ) в качестве добавки в хлебобулочные изделия для компенсации дефицита биологически активных веществ в пшеничной муке. В ходе исследования определен химический состав кизиловой косточковой муки и установлена дозировка ККМ (5% к массе муки), обеспечивающая положительный эффект на реологические свойства хлебопекарного теста из пшеничной муки.

### **Ключевые слова**

Кизиловая косточковая мука, биологически активные вещества, альвеограф, фаринограф, реологические характеристики теста.

---

Начало нового века обозначился во всем мире значительным прорывом в развитии индустрии здорового питания, но образ жизни современного человека, стрессовые ситуации и состояние экологии ставят все новые и новые задачи перед наукой о питании.

Хлебобулочные и мучные кондитерские изделия традиционно являются наиболее востребованными продуктами питания россиян, поэтому разработка и создание изделий именно этих групп с заданным химическим составом позволит наиболее эффективно влиять на здоровье населения [1, 2].

Широкое применение в функциональном питании нашли такие продукты переработки дикоросов, как амарантовая мука, порошок расторопши пятнистой, порошок из ягод и семян ежевики, порошок из плодов и косточек мушмулы германской, облепихового обезжиренного шрота и др., на основе этих полуфабрикатов разработаны хлебобулочные изделия высокой пищевой ценности [3, 4].

В связи с вышесказанным, представляется перспективным нетрадиционным сырьем для хлебопечения и кондитерского производства косточки кизила, как вторичный продукт переработки плодов кизила.

Согласно литературным данным известно, что витамины, микроэлементы, а также жирные эфирные масла, содержащиеся в косточках кизила, положительно влияют на организм человека. Косточки кизила обладают противовоспалительными, антибактериальными, ранозаживляющими, регенерирующими, вяжущими свойствами, их рекомендуют применять при лечении патологий печени, сахарного диабета, ожирения, нарушенного обмена веществ, также косточки кизила являются отличным сорбентом, который поглощает и выводит токсины из организма. Кизилловые плоды вместе с косточками обладают успокаивающим и тонизирующим действием.

С учетом вышесказанного, была поставлена задача определить химический состав косточек кизила, выбрать рациональные способы и режимы сушки растительного сырья, обеспечивающие сохранность биологически активных веществ, установить влияние кизиловой косточковой муки (ККМ) на реологические свойства теста из пшеничной муки с целью

---

разработки хлебобулочных изделий с добавкой ККМ, чтобы компенсировать недостаток биологически активных веществ в муке пшеничной.

Косточки кизила тщательно очищали от остатков мякоти, высушивали потоком воздуха температурой 35–45°C, после охлаждения косточки подвергали размолу на дезинтеграторе до размера частиц не более 100 мкм.

Кизиловая косточковая мука представляет собой сыпучую массу кремового цвета без запаха, дисперсность 80 мкм, кислотность – 40 град, массовая доля влаги и летучих веществ – 5,19%, массовая доля сырого протеина (на абс.сух.в-во) – 3,19%, массовая доля жира (на абс.сух. в-во) – 5,89%.

Для исследования влияния ККМ на упруго-деформационные свойства пшеничного теста высшего сорта проводили серию опытных испытаний на приборе альвеограф (Chopin, France) в соответствии с ГОСТ Р 51415-99; ISO 5530-4-91. Для проведения исследований использовалась мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (ГОСТ 26574–2017), производитель ОАО «ЛКХП Кирова», г. Санкт-Петербург, дата выбоа: 27.08.2022, влажность 13,0%.

В ходе работы замешивали четыре образца теста из 250 г пшеничной муки высшего сорта и 2,5%-го раствора поваренной соли, температура теста 25°C: I образец (контроль) – без ККМ; II образец с добавлением ККМ – 2,5%; III образец – 5,0%; IV образец – 7,5%.

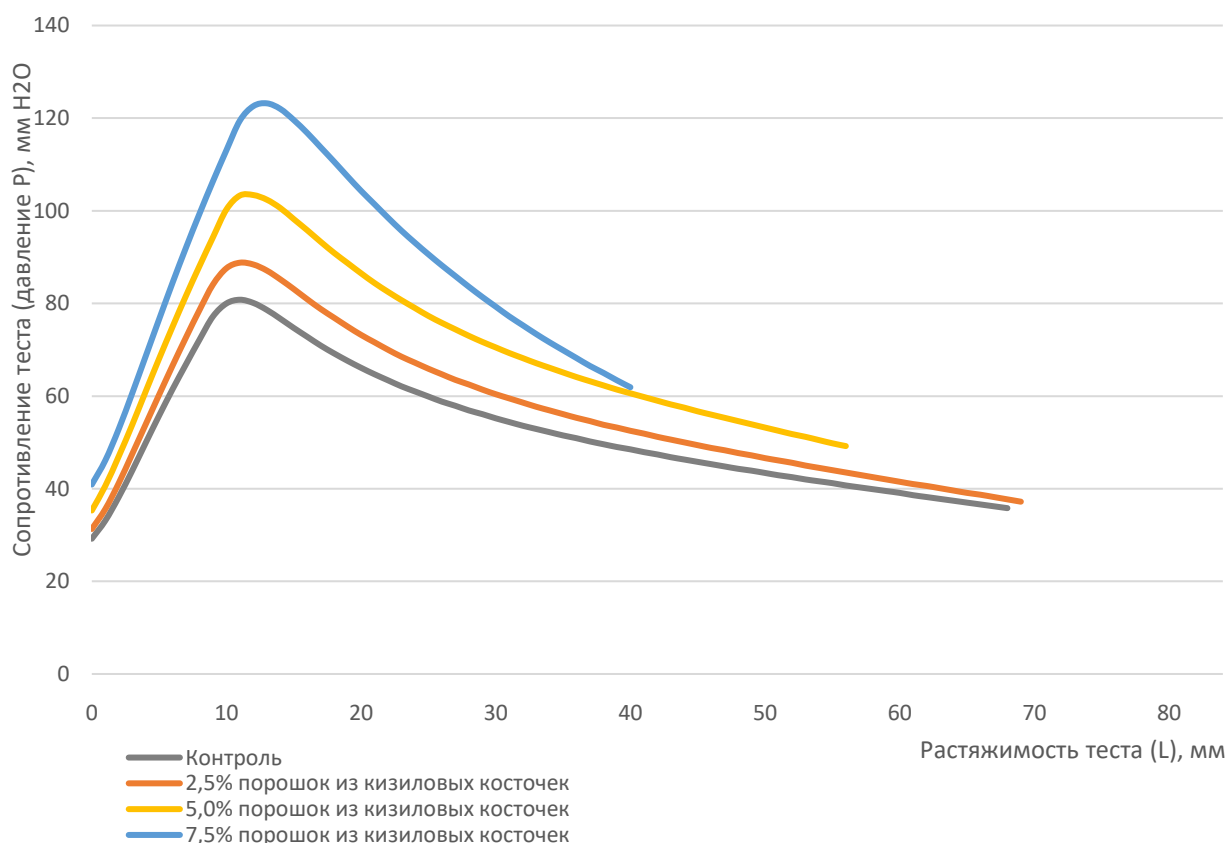


Рисунок. Реологические характеристики теста, исследованного на альвеографе

Результаты исследований, представленные на рисунке, показали, что увеличение дозировки ККМ к массе муки влияет на реологические свойства теста следующим образом: сопротивление теста (давление P, мм H<sub>2</sub>O) увеличивается по отношению к контрольному образцу и достигает: I образец (контроль) – 80; II образец – 88; III образец – 104; IV образец – 122). В то же время изменение растяжимости (L, мм) тех же образцов имеет следующий характер: I образец (контроль) – 67; II образец – 70; III образец – 56; IV образец – 40).

Как известно, хлебопекарное пшеничное тесто представляет собой сложную упруговязкопластичную систему и внесение дополнительных ингредиентов при замесе теста может значительно повлиять на его реологические характеристики [5].

Анализ полученных результатов показал, что влияние ККМ на реологические свойства носит сложный характер: показатель упругости  $R$  при повышении дозировки ККМ увеличивается относительно контроля, показатель растяжимости теста в образце II соизмерим с контролем, в образцах III, IV идет на спад.

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что внесение ККМ в пределах 2.5–5.0% к массе муки способствуют комплексному улучшению реологических свойств теста, при дозировке ККМ–7.5% имеет место некоторый парадокс: с одной стороны, достигается высокий уровень упругости, с другой – резкое снижение растяжимости.

Вероятно, высокий показатель упругости в образце IV связан с тем, что белковый состав сырого протеина, содержащего в ККМ представлен нерастворимыми в воде фракциями белков, которые повышают общее содержание клейковины в тесте, а низкая эластичность (почти в два раза ниже, чем в контроле) теста нежелательный фактор для хлебопекарного теста.

В дальнейших исследованиях рекомендуется применение кизиловой косточковой муки дозировкой 5% для обогащения хлеба пшеничного и ржано-пшеничных сортов, а также провести серию пробных выпечек для подтверждения положительного эффекта ККМ на реологические характеристики теста и хлеба.

#### **Список использованных источников**

1. Пат. № 2305941, Россия; МПК А21D 2/36, А21D 8/02. Способ производства хлеба «Амарантовый» / С.В. Кадыров, Н.М. Дерканосова, Т.Н. Тертычная, А.В. Стуртуа; заявлено 09.03.2006; опубл. 20.09.2007, Бюл. № 26.
2. Дерканосова Н.М., Котарев В.И., Каширина Н.А. Товароведение и экспертиза хлебобулочных и макаронных изделий: учебное пособие – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». 2013. 279 с.
3. Джабоева А.С., Шаова Л.Г., Кабалоева А.С., Думанишева З.С. Влияние продуктов переработки дикорастущих плодов на качество хлебобулочных изделий / Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. №. 1. С. 43–44.
4. Думанишева З.С. Разработка способов получения и применения порошков дикорастущей мушмулы в производстве булочных и мучных кондитерских изделий: диссерт. канд. тех. наук. М.: 2013. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://new-disser.ru/product\\_info.php?products\\_id=1003702](https://new-disser.ru/product_info.php?products_id=1003702).
5. Пащенко Л.П., Жаркова И.М. Технология хлебопекарного производства: Учебник. -СПб.: Издательство «Лань». 2014. 672 с.

УДК 664:621.798

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ УПАКОВКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

*Фролова К.О.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Еремеева Н.Б.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: ksenya.fr.good98@gmail.com*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 23-26-00056*

---

В работе рассмотрена концепция интеллектуальной упаковки для пищевых продуктов, ее разновидности. Проведен анализ последних разработок на тему интеллектуальной упаковки для пищевых продуктов, выявлены тенденции в использовании рН-чувствительных красителей растительного происхождения и биополимеров.

### **Ключевые слова**

Интеллектуальная упаковка, индикаторы рН, антоцианы, беталаины, биополимеры, пищевые продукты.

---

Пищевая упаковка является важным аспектом в жизненном цикле продуктов питания. Упаковка пищевых продуктов необходима: она позволяет обеспечить их защиту от окружающей среды, повысить их качество и безопасность, увеличить срок хранения и облегчить обработку, хранение и транспортировку [1, 2].

Интеллектуальная упаковка – концепция, разработанная для обеспечения дополнительной защиты и контроля пищевых продуктов. Интеллектуальная упаковка представляет собой упаковочную систему, обладающую способностью осуществлять интеллектуальные функции (среди которых обнаружение, распознавание, запись, отслеживание, обмен данными и применение научной логики), что позволяет облегчить принятие решений в целях продления срока годности, повышения качества и безопасности, предоставления информации и предупреждения о проблемах [3]. Таким образом, к функциям интеллектуальной упаковки относятся мониторинг, обнаружение, распознавание, запись, отслеживание и обмен данными [4].

Интеллектуальную упаковку подразделяют на три основные категории:

- индикаторы (обеспечивают информацию о качестве продукта);
- датчики (обеспечивают быстрое и эффективное измерение определенных характеристик продукта);
- носители данных (обеспечивают информацию о хранении и распространении, отслеживаемость) [2].

Принцип интеллектуальной упаковки (рис. 1) состоит том, что качество продуктов внутри упаковки контролируется и данная информация передается с помощью датчиков или индикаторов, прикрепленных к упаковке. Индикатор представляет собой вещество, которое может давать характерное оптическое изменение для определения присутствия или концентрации другого вещества или реакции между двумя или более веществами, что обеспечивает качественную или полуколичественную информацию о пищевом продукте. Оптическое изменение может проявляться в изменении цвета индикатора. Цветовые индикаторы реагируют с веществами, выделяющимися в ходе роста микроорганизмов в упакованных пищевых продуктах, или меняют цвет в результате изменения рН [5, 6].

---

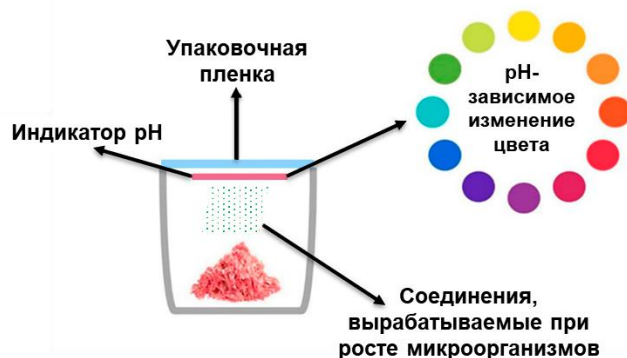


Рис. 1. Принцип интеллектуальной упаковки. Адаптирован из [5]

Выделяют три категории индикаторов [2, 4, 5]:

- индикаторы температуры. Подразделяются на два типа: простые индикаторы температуры и интеграторы время-температура. Индикаторы температуры показывают, был ли продукт нагрет выше или ниже критической температуры. Интегратор время-температура используются для мониторинга любого неблагоприятного изменения температуры по всей цепочке поставок пищевых продуктов, другими словами, с течением времени;
- индикаторы свежести. Принцип их работы основан на необратимом обнаружении таких метаболитов, как диоксид углерода, диоксид серы, аммиак, амины, органические кислоты, этанол, токсины или ферменты, которые присутствуют на поверхности пищевых продуктов из-за их порчи. Индикаторы свежести включают в себя вещества, которые способны менять свой цвет из-за присутствия метаболитов, образующихся при порче;
- индикаторы газа. Указывают на качественное состояние пищи в зависимости от атмосферы внутри упаковки. Сенсор в его составе обнаруживает изменения атмосферы и реагирует на них, а непосредственно индикатор отображает состояние качества продукта. Большинство индикаторов газа контролируют концентрацию кислорода и углекислого газа, также проверяются водяной пар, этанол, сероводород и другие газы, поскольку их концентрации часто связаны с прогрессированием процесса порчи.

В некоторых случаях выделяют индикаторы pH как отдельную категорию. Такие индикаторы проявляют отклик на изменение pH упакованного продукта. Индикатор pH состоит из двух частей: основы (носителя) и красителя, который чувствителен к pH. В качестве носителя используются биоразлагаемые полимеры. pH-чувствительные красители представляют собой натуральные или синтетические пигменты. Предпочтение отдается природным красителям из-за их низкой токсичности и простоты приготовления [5].

Рассмотрим опубликованные за последнее время исследования на тему интеллектуальной упаковки для пищевых продуктов с использованием растительных красителей [7–16].

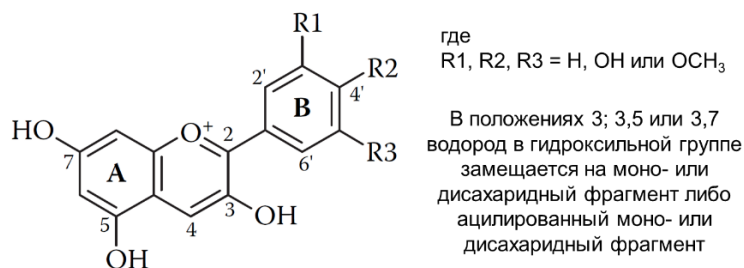


Рис. 2. Общая структурная формула антоцианов

В качестве pH-чувствительных индикаторов хорошо показывают себя в первую очередь антоцианы, дающие окрашивание от красно-розового, переходящего в фиолетовый, в кислой среде до синего, зеленого и, наконец, желтого в щелочной [7, 8, 11–13, 15, 16]. Антоцианы являются гликозидами антоцианидина, в основе которого лежит катион флавилия (рис. 2). Они

содержатся во многих высших растениях и обеспечивают окраску их цветов, плодов, листьев и запасающих органов. Среди источников антоцианов можно выделить виноград, краснокочанную капусту [7, 11, 16], чернику, черноплодную рябину, барбарис [8], бруснику, фиолетовый картофель [12]. Изменение окраски антоцианов в зависимости от pH обуславливается структурными модификациями, возникающими по причине их амфотерной природы [5].

За последние пять лет больший интерес стали вызывать беталаины, применение которых также перспективно [9, 10, 14–16]. Беталаины представляют собой N-гетероциклические пигменты, являющиеся производными беталамовой кислоты (рис. 3). Беталаины подразделяют на две группы: красно-фиолетовые бетацианины и желтые бетаксантины. Они встречаются в 17 семействах растений порядка Гвоздичноцветные и обнаружены у некоторых высших грибов [17]. Известно небольшое количество съедобных источников беталаинов, среди которых наиболее распространены красная свекла [14], питайя [10, 15, 16] и зерновой или листовой амарант [9]. Беталаины претерпевают структурные изменения и меняют цвет с красного на желтый при высоких значениях pH, что соответствует их постепенной деградации до предшественников [5].

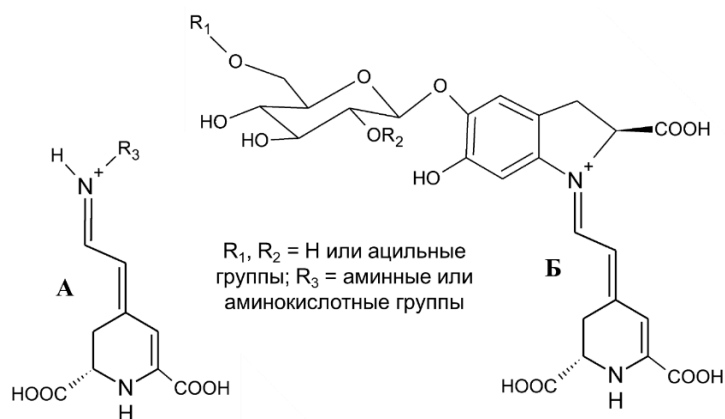


Рис. 3. Общая структурная формула бетаксантинов (А) и бетацианинов (Б)

Что касается носителя для индикатора, в разработках интеллектуальной упаковки применяется широкий спектр биополимеров, в том числе пектин [10, 14], хитозан и альгинат натрия [12, 13]. С целью компенсировать отдельные недостатки биоразлагаемых материалов и приблизить их физические и механические свойства, в частности прочность и устойчивость в воде, к уровню синтетических полимеров предлагаются композитные материалы из нескольких биополимеров [7-9, 11, 15, 16]. Например, была разработана рецептура пленки, состоящей из растворов крахмала и поливинилового спирта в соотношении 1:1 с добавлением глицерина в качестве пластификатора, а также с внесением растительных экстрактов из *Lucium ruthenicum* и кожуры красной питайи по отдельности и в соотношениях 1:3, 2:2 и 3:1 [15]. Авторы исследовали механические свойства и способность полученных пленок к пропусканию водяных паров и выявили, что совместное использование биополимеров и в особенности добавление растительных экстрактов, содержащих антоцианы и бетацианины, способствовали повышению барьерных свойств по отношению к водяным парам, увеличению прочности и удлинения при разрыве. Отмечено, что по параметрам прочности и удлинения при разрыве разработанные пленки превосходят коммерчески используемый полиэтилен.

Применение интеллектуальной упаковки актуально для скоропортящихся продуктов, продуктов, для которых необходимы определенные условия хранения и порча которых может не проявляться визуально. Наиболее активно разрабатывается упаковка для мяса [7-9, 11-16] и морепродуктов [9, 10, 13] – в форме пленки или небольшой этикетки, прикрепляемой с внутренней стороны упаковки в качестве дополнения.

В качестве индикаторов для дальнейшего исследования выбраны антоцианы и беталаины. Данные красители способны выполнять необходимую функцию, относительно стабильны и

распространены в растительных источниках – в различных частях овощей и фруктов. Также предполагается рассмотреть возможность их совместного использования.

#### Список использованных источников

1. Sani M.A. et al. Recent Advances in the Development of Smart and Active Biodegradable Packaging Materials // *Nanomaterials*. 2021. Vol. 11. P. 1331.
2. Ma Y. et al. Properties and Applications of Intelligent Packaging Indicators for Food Spoilage // *Membranes*. 2022. Vol. 12. P. 477.
3. Yam K.L., Takhistov P.T., Miltz J. Intelligent Packaging: Concepts and Applications // *Journal of Food Science*. 2005. Vol. 70. №. 1. Pp. R1–R10.
4. Kalpana S. et al. Intelligent packaging: Trends and applications in food systems // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 93. Pp. 145–157.
5. Priyadarshi R., Ezati P., and Rhim J.-W. Recent Advances in Intelligent Food Packaging Applications Using Natural Food Colorants // *ACS Food Science & Technology*. 2021. Vol. 1. №. 2. Pp. 124–138.
6. Roy S., and Rhim J.-W. Anthocyanin food colorant and its application in pH-responsive color change indicator films // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 61. №. 14. Pp. 2297–2325.
7. Chumee J. et al. Colorimetric biofilm sensor with anthocyanin for monitoring fresh pork spoilage // *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 65. Pp. 2467–2472.
8. Alizadeh-Sani M. et al. pH-responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 166. Pp. 741–750.
9. Kanatt S.R. Development of active/intelligent food packaging film containing Amaranthus leaf extract for shelf life extension of chicken/fish during chilled storage // *Food Packaging and Shelf Life*. 2020. Vol. 24. P. 100506.
10. Jiang H. et al. Development and characterization of a novel active and intelligent film based on pectin and betacyanins from peel waste of pitaya (*Hylocereus undatus*) // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 404. P. 134444.
11. Vo T.-V., Dang T.-H., and Chen B.-H. Synthesis of Intelligent pH Indicative Films from Chitosan/Poly(vinyl alcohol)/Anthocyanin Extracted from Red Cabbage // *Polymers*. 2019. Vol. 11. №. 7. P. 1088.
12. Zhao M. et al. Monitoring dynamic changes in chicken freshness at 4°C and 25°C using pH-sensitive intelligent films based on sodium alginate and purple sweet potato peel extracts // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 216. Pp. 361–373.
13. Santos L.G., Alves-Silva G.F., and Martins V.G. Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 220. Pp. 866–877.
14. Guo Z. et al. Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor the freshness of packaged chilled beef // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 119. P. 106751.
15. Qin Y. et al. Comparison of the physical and functional properties of starch/polyvinyl alcohol films containing anthocyanins and/or betacyanins // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 163. Pp. 898–909.
16. Liu D. Novel colorimetric films based on polyvinyl alcohol/sodium carboxymethyl cellulose doped with anthocyanins and betacyanins to monitor pork freshness // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 404. P. 134426.
17. Sadowska-Bartosz I., Bartosz G. Biological Properties and Applications of Betalains // *Molecules*. 2021. Vol. 26. P. 2520.



УДК 577.15

## ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ФЕРМЕНТОВ

*Хасанов Д.Г.<sup>1</sup> (студент), Шавронская Д.О.<sup>1</sup> (студент), Оганнесян Ф.А.<sup>1</sup> (аспирант), Назарова Е.А.<sup>1</sup>, Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

*Научные руководители – кандидат химических наук Назарова Е.А.<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

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

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620155 «Гибридные материалы на основе биополимеров и неорганических наночастиц: дизайн и применение»*

---

В результате технологических процессов пищевой промышленности образуется большое количество побочных продуктов, которые могут являться ценным источником вторичного сырья и повторно использоваться для различных целей, в частности, для иммобилизации ферментов. В данной статье рассмотрены преимущества применения иммобилизованных ферментов перед растворимыми аналогами и раскрыты возможности иммобилизации биокатализаторов на носителях, полученных путем переработки вторичных ресурсов пищевой промышленности.

### **Ключевые слова**

Ферменты, иммобилизация, побочные продукты, пищевая промышленность, природные биополимеры, переработка отходов.

---

Ферменты, также известные как биологические катализаторы, используются в различных отраслях промышленности. Для того, чтобы интенсифицировать ферментативный технологический процесс, применяется иммобилизация ферментов за счет включения молекулы биокатализатора в фазу, отделенную от фазы раствора субстрата. Основной целью иммобилизации ферментов является обеспечение возможности их многократного использования.

Преимущество иммобилизованных ферментов перед свободными аналогами заключается в том, что появляется возможность [1]:

- остановить реакцию в любой момент;
- отделять иммобилизованный фермент от реакционной среды и использовать фермент повторно, получая при этом чистый от фермента продукт;
- проводить ферментативный процесс непрерывно, регулируя при этом скорость катализируемой реакции и выход продукта;
- осуществлять целенаправленную модификацию фермента, изменяя его свойства, такие как: специфичность, зависимость каталитической активности от рН, ионного состава и других параметров среды, стабильность к денатурирующим воздействиям.

Пищевые отходы, которые обладают рядом определенных характеристик, могут быть потенциально интересными в качестве носителей для технологии иммобилизации ферментов (рис. 1). В настоящее время ряд природных биополимеров демонстрирует потенциал в качестве многообещающей основы композитного материала для различных применений в биомедицинском, экологическом, фармацевтическом, пищевом секторах и энергетике (биотопливо). Помимо того, что они находятся в широком доступе и являются недорогими ресурсами, они могут обладать высокой пористостью и различными химическими группами (аминогруппы, гидроксильные, карбоксильные, тиоловые и фосфатные). Таким образом, целью

---

данного исследования является освещение существующих методов переработки вторичных сырьевых ресурсов пищевой промышленности с перспективой использования в качестве носителей для иммобилизации ферментов.



Рис. 1. Источники вторичных ресурсов и типы носителей для иммобилизации ферментов на их основе

Пектин – это растительный гидроколлоид, который в наибольшем количестве содержится в яблоках и цитрусовых (грейпфруте, апельсине, лайме). Гидрогели пектина в качестве продуктов переработки являются перспективными твердыми носителями для иммобилизации ферментов благодаря:

- гидрофильности;
- водопоглощающей способности;
- биосовместимости;
- биоразлагаемости;
- нетоксичности.

Более высокая активность фермента, иммобилизованного в композитном гидрогеле, содержащем 10% соснового волокна, наблюдается при pH 4,0. Это связано с увеличенной механической и термической стойкостью гидрогеля, который защищает иммобилизованный белок от денатурации. Для композитного гидрогеля, содержащего 10% соснового волокна, загрузка лактазы составляла до  $306,03 \pm 1,63$  мг/г [2].

Другим побочным продуктом пищевой промышленности, является мембрана яичной скорлупы – ценный биологический ресурс, который можно легко и экономично получить. Предполагается, что обильное наличие функциональных групп у мембраны яичной скорлупы увеличивает количество активных центров для иммобилизации фермента. Добавление мембраны яичной скорлупы к хитозану приводит к увеличению активности иммобилизованных ферментов, в частности, внесение 20% мембраны яичной скорлупы повышает активность папаина на 12% [3].

Сыворотка – это жидкий вторичный продукт, получаемый в молочной промышленности. Сыворотка вырабатывается в огромных количествах, и ее сложный состав создает большую нагрузку на любую систему очистки сточных вод. Из сыворотки можно выделить сывороточные белки, которые представляют определенный интерес для получения нерастворимых биокатализаторов. Каррагинан также часто используется в качестве носителя для иммобилизации ферментов. Каррагинан – это натуральный полисахарид, полученный из

красных морских водорослей. Однако у каррагинана отсутствуют функциональные группы для ковалентной иммобилизации. Для функционализации каррагинана, а также повышения его устойчивости можно использовать изолят сывороточного белка. Активация каррагинана происходит в два этапа: сначала осуществляется ионное взаимодействие между сульфатными группами каррагинана и аминными группами изолята, а затем – взаимодействие между карбонильной группой глутарового альдегида и аминными группами изолята. Использование этого способа иммобилизации приводит к увеличению активности лактазы на 24% по сравнению с нефункционализированным каррагинаном [4].

Скорлупа семян кунжута является побочным продуктом производства семян кунжута и, следовательно, готовым и распространенным природным материалом, который можно рассматривать как сырье для производства эффективного адсорбента. Активированный уголь, получаемый микроволновым облучением скорлупы семян кунжута, представляет собой преимущественно аморфное твердое вещество с большой площадью поверхности и объемом пор.

Активированный уголь хорошо подходит в качестве носителя благодаря:

- большому объему пор;
- высокой адсорбционной способности;
- хорошим механическим свойствам;
- инертности и нетоксичности.

Активированный уголь сначала функционализируют этилендиамином, а затем активируют глутаровым альдегидом. Использование этого метода позволяет сохранить активность фермента амилоглюкозидазы после 20 применений [5].

Таким образом, был проведен анализ носителей для иммобилизации на основе вторичных ресурсов пищевой промышленности. Все приведенные носители используются для иммобилизации ферментов с образованием ковалентных химических связей. В будущем можно создать условия для непрерывного производственного цикла, в ходе которого образующиеся побочные продукты перерабатываются в носители для ферментов и возвращаются обратно на производство в виде нерастворимых биокатализаторов (рис. 2).

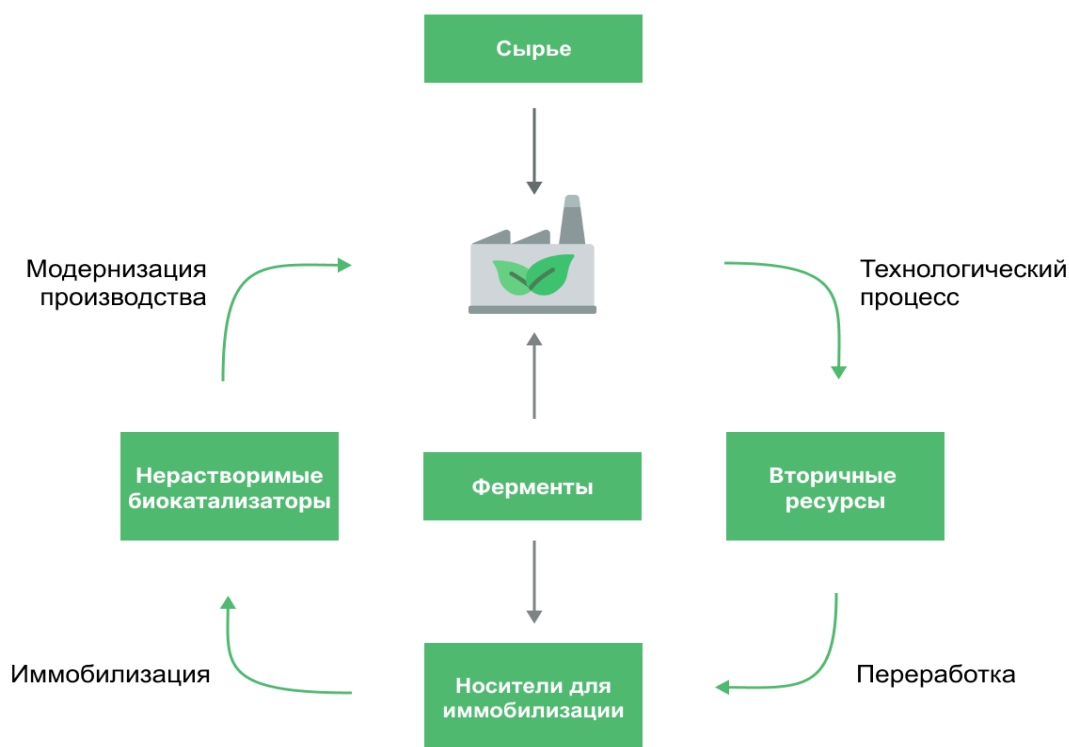


Рис. 2. Схема предполагаемого производства замкнутого цикла

**Список использованных источников**

1. Bial M., Iqbal H.M.N. Naturally-derived biopolymers: Potential platforms for enzyme immobilization. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. V. 130. Pp. 462–482.
2. Cargnin M.A., Gasparin B.C., Paulino A.T. Hydrolysis of lactose using  $\beta$ -D-galactosidase immobilized in pectin-based hydrogels: Modeling and optimization by factorial design // *LWT-Food Science and Technology*. 2020. V. 132. P. 109836.
3. Liu Y., Cai Z., Ma M., Sheng L., Huang X. Effect of eggshell membrane as porogen on the physicochemical structure and protease immobilization of chitosan-based macroparticles // *Carbohydrate Polymers*. 2020. V. 242. P. 116387.
4. Wahba M.I., Soliman T.N. Whey protein isolate for the preparation of covalent immobilization beads // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2018. V. 14. Pp. 328–337.
5. Aslan Y., Sharif Y.M., Şahin Ö. Covalent immobilization of *Aspergillus niger* amyloglucosidase (ANAG) with ethylenediamine-functionalized and glutaraldehyde-activated active carbon (EFGAAC) obtained from sesame seed shell // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. V. 142. Pp. 222–231.

УДК 664.38

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА ИЗ ПОЛНОЖИРОВОЙ СОЕВОЙ МУКИ

*Челомбиткин М.А.<sup>1</sup> (аспирант), Франсеш Пиреш М.<sup>1</sup> (студент), Самоделкин М.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

*e-mail: mchelombitkin@gmail.com, mariafrances97@gmail.com, smdlkn@inbox.ru, barakova@mail.ru*

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

---

В статье обоснована целесообразность применения полножировой соевой муки в технологии получения гидролизатов соевого белка. В соевой полножировой муке сохраняются полезные для организма человека полиненасыщенные жирные кислоты и другие биологически активные вещества. Для характеристики белковых гидролизатов применяют такие показатели качества, как степень гидролиза белка, осмоляльность, антигенность, адсорбционная способность, органолептические показатели.

### **Ключевые слова**

Полножировая соевая мука, гидролизат соевого белка, степень гидролиза, аминокислоты, пептиды, осмоляльность, антигенность, адсорбционная способность.

---

Основным строительным материалом для нашего организма являются белки. Белки-биополимеры сложного строения, макромолекулы которых состоят из остатков аминокислот, соединенных между собой пептидными связями. В организм человека белки поступают из сырья растительного и животного происхождения. С учетом дефицита на сегодняшний день белков животного происхождения мощным резервом белка является сырье растительного происхождения, при этом особая роль отводится бобовым культурам, в частности сое.

Важными компонентами, входящими в химический состав сои являются белки. Качество пищевого белка определяется его биологической ценностью (набором аминокислот) и усвояемостью. Отличительной особенностью соевого белка является высокое содержание в нем лизина, которым, как правило, бедны белки злаковых культур. Нужно сказать, что усвояемость белков растительного происхождения ниже, чем животных, потому что они заключены в плотные оболочки из клетчатки, что заметно затрудняет проникновение пищеварительных ферментов внутрь клетки. По усвояемости белки сои близки к казеину молока, по аминокислотному составу белки сои наиболее близки белкам животных, к мясу, и являются полноценными.

В химический состав сои помимо белка (28–50%) входят незаменимые кислоты (10–16%), липиды – жирные кислоты (16–27%, сахара (10%) крахмал (3,5%) полисахариды-целлюлоза, пектины (10%). Наличие фосфолипидов, токоферолов, изофлавонов, витаминов группы В, некоторых макро – и микроэлементов в количествах, превосходящих другие культуры, позволяет считать сою необходимой бобовой культурой для лечебно-профилактического питания. Потребление сои в размере 100 г в сутки позволяет полностью удовлетворить потребность человека в полиненасыщенных жирных кислотах, изофлавонов, нерастворимых пищевых волокнах, витаминах – В<sub>1</sub>, Е, К, β-каротине, биотине, фолиевой кислоте, минеральных элементах – калии, железе, марганце, кремнии, кобальте. Потребление 150–250 г сои могут

---

удовлетворить потребность человека во всех аминокислотах при отсутствии других источников белка в рационе, в том числе и белка животного происхождения.

Белки сои обладают рядом функциональных свойств, которые помогут улучшить технологические и питательные свойства готовых продуктов. В пищевой промышленности широко применяются различные формы соевых белков – изоляты и концентраты. Под концентрированными обычно подразумевают белковые продукты, свободные от липидов и безазотистых экстрактивных веществ. Содержание протеинов в них не менее 70%. Изоляты являются наиболее очищенной формой белков (не менее 85–90%). Изолированные белки в процессе производства отделяются как от нерастворимых полисахаридов при растворении белков, так и от безазотистых экстрактивных веществ при их осаждении [1].

Полученные белковые концентраты и изоляты модифицируют различными способами: кислотным, щелочным, ферментативным и получают белковые гидролизаты, которые состоят из аминокислот, их натриевых солей и полипептидных остатков.

В настоящее время стремительное развитие получает технология производства не обезжиренной соевой муки. Обезжиренная – из шрота (остатка после получения масла экстракцией). Не обезжиренная мука получается из цельных семян сои, полуобезжиренная – из соевого жмыха (остатка после получения масла прессованием).

Технология получения не обезжиренной соевой муки состоит из следующих технологических операций: термообработка, отделение оболочки (40%), отделение зародыша (10%, дробление семядоли (50%). Дробление осуществляется на мельницах грубого помола (размер частиц до 0,5 мм и на вихревых мельницах (размер частиц 5–25 мкм) [2]. Принципиально-технологическая схема получения гидролизата из полножировой соевой муки представлена на рисунке.

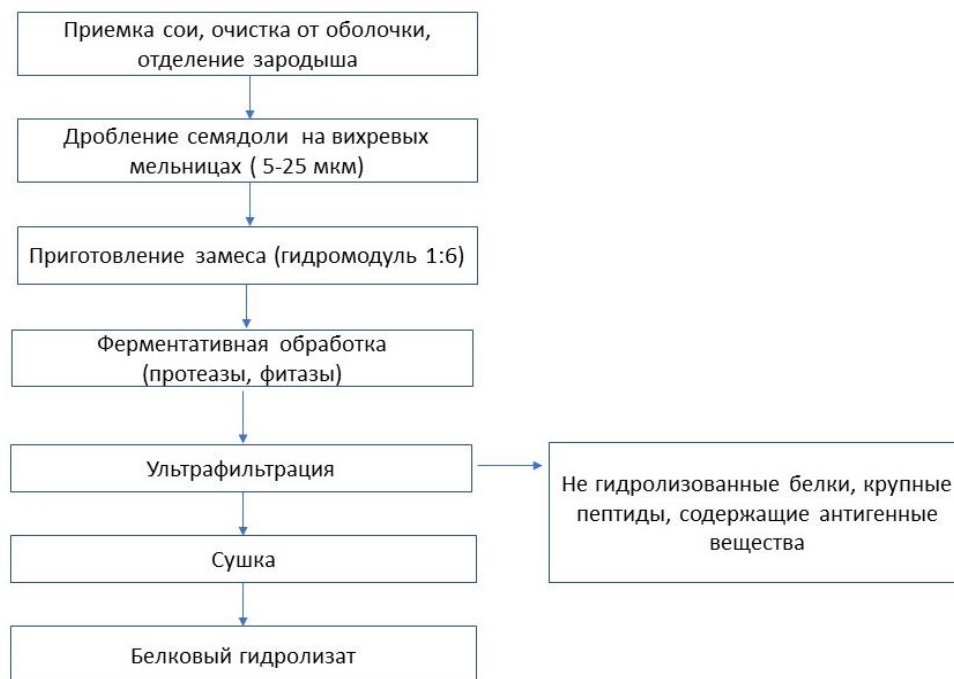


Рисунок. Принципиально-технологическая схема получения гидролизата из полножировой соевой муки

В не обезжиренной соевой муке сохраняется такой важный компонент, как жирные кислоты, которые выполняют в организме человека жизненно важные функции и входят в состав мембранных структур клеток [3]. Актуальным вопросом является вопрос разработки технологии получения соевых гидролизатов из полножировой муки.

Усвоение белков в организме происходит как в виде аминокислот, так и в виде пептидов (ди- и трипептиды), причем усвоение пептидов в кишечнике происходит более эффективно, чем

аминокислот. Нужны белковые гидролизаты с высокой степенью гидролиза, состоящие из смеси аминокислот и пептидов с короткой длиной цепи. У многих организмов белок вызывает аллергию. Гидролизаты со смешанной антигенной активностью применяются в гипоаллергических смесях, используемых для питания детей раннего возраста, для людей, страдающих непереносимостью белка молока. Молекулярная масса сывороточного белка, на вызывающего иммунный ответ организма 300–5000 Да.

Важным показателем, характеризующим гидролизаты является осмоляльность растворов. Осмоляльность характеризует осмотическое давление жидкостей и определяется суммарной концентрацией катионов, анионов, неэлектролитов и суммой все кинетически активных частиц. Осмотические характеристики важны, так как они влияют на степень усвоения питательных веществ в ЖКТ. Гидролиз белка приводит к увеличению удельного сопротивления продуктов гидролиза с низкой молекулярной массой (короткие пептиды и аминокислоты) в гидролизате. Увеличивается показатель осмотического давления в гидролизате. Если гидролизат используется в рецептурах продуктов питания гипоаллергического питания, степень гидролиза должна быть в разумных пределах. Уменьшение гипоаллергической реакции повышает степень усвоения липидов, углеводов, витаминов.

Глубокий гидролиз белка порождает горький вкус, который зависит от типа используемых протеаз и гидролаз. Это связано с тем, что при низкой степени гидролиза белка гидрофобные участки белков находятся внутри нераскрывшихся белковых частиц, вызывающих горький вкус. С повышением степени гидролиза гидрофобные участки белков, вызывающие горький вкус, скрыты внутри и нерасщеплённых белковых частиц и горечи не вызывают. При более глубокой степени гидролиза гидрофобные пептиды расщепляются на пептиды меньших размеров и свободные аминокислоты, особенно это характерно при щелочном и кислотном гидролизе белков и в меньшей степени при ферментативном гидролизе. По окончании процесса гидролиза белка необходимо проводить инактивацию ферментов, при этом могут возникать новые вкусо-ароматические вещества, возникающие под влиянием температуры в результате реакции Майера, Штрекера.

В процессе гидролиза белка меняются такие свойства гидролизатов, как вкус, осмоляльность, степень антигенности, адсорбционная кинетика. При гидролизе белка улучшаются его эмульгирующие и влагоудерживающие свойства и растворимость, что делает белки более удобными в использовании в составе пищевых продуктов. Белковые гидролизаты используются в составе продуктов специального питания, диетических продуктов для снижения массы тела, продуктов для терапии и лечения ЖКТ, усвоения и аминокислотного метаболизма, в спортивном питании.

Если провести 10% гидролиза белка, то повышаются эмульгирующие свойства белков. Более глубокий гидролиз повышает растворимость продуктов гидролиза, делая его стойким к высоким температурам, кислотам, ионов металлов. Гидратированные белки часто используют в напитках (спортивные, энергетические) в силу их способности сохранять растворимость в кислой среде и при пастеризации, традиционно используемой для увеличения срока хранения таких напитков.

Но термическая обработка отрицательно может сказаться на качестве продукта. Термическая обработка стимулирует реакцию Майера- превращение аминокислот в специфические альдегиды, например, 3-метил-бутанол и метаналь, 2 и 3-метил-бутаналь и метаналь, в результате формируется «солодовый вкус». Они образуются в результате дегидратации аминокислот с разветвленной боковой цепью: изолейцина, валина, лейцина.

Реакция Штрекера-взаимодействие дикарбоновых промежуточных продуктов реакции Майера и аминокислот. Происходит разрушение аминокислот и образуются различные альдегиды, пиризинны, появляется «капустный», плесневый, химический запах.

При температурной обработке теряются такие аминокислоты, как L- лизин, L-аргинин, L-цистеин. Конечные продукты реакции Майера (меланоидины) ухудшают усвояемость белка в организме, а также могут обладать мутагенными свойствами.

Решение этой проблемы- ультрафильтрация гидролизатов. Очистка гидролизатов от остатков не гидролизованных белков, крупных пептидов, содержащих неразрушенные антигенные последовательности и имеющие горький вкус, а также ферментов, применяемых для гидролиза.

Продукты с модифицированными пептидным и аминокислотным составом предназначены для больных с различными метаболическими нарушениями, включая больных с нарушенной функцией пищеварения, продукты энтерального зондового питания, гипоаллергенные продукты для детей, страдающих аллергическими реакциями или входящих в группу риска по развитию таких составов, продукты для лечения спортсменов.

Ферментативные гидролизаты соевого белка влияют на биодоступность эссенциальных микроэлементов, в том числе органического цинка [4, 5]. Биодоступность обеспечивается за счет встраивания переходных металлов в белково-пептидные матрицы с образованием органических форм эссенциальных микроэлементов. Современные биотехнологические подходы, которые используются при получении гидролизатов пищевых белков и органических комплексов эссенциальных микроэлементов на их основе, позволяют повысить степень усвоения белков растительного происхождения.

#### **Список использованных источников**

1. Гапонова Л.В., Полежаева Т.А., Волотовская Н.В., Кузьмин А.Л. Современные технологии переработки сои в России // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. №. 2. С. 30–31.
2. Доденко С.М., Гружель Ю.А., Агафонов И.В., Ковалева Л.А., Волков С.П. Основное технологическое оборудование с целью получения соевого компонента для пищевых систем различного назначения // Вестник КрасГАУ. 2016. С. 84–90.
3. Перова Н.В., Метельская В.А., Соколов Е.И., Щукина Г.Н., Фомина В.М. Пищевые жирные кислоты. Влияние на риск болезней кровообращения // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2011. №. 7(5). С. 620–627.
4. Баяржоргал М., Зилова И.С., Зорин С.Н., Мошинский И.В., Бурчинова А.В., Шевякова Л.В., Махова Н.Н., Мазок В.К. Сравнительная оценка биодоступности органической и неорганической формы цинка *in vivo* // Вопросы питания. 2008. Т. 77(1). С. 34–37.
5. Зорин С.Н. Ферментативные гидролизаты пищевых белков и органические комплексы эссенциальных микроэлементов на их основе // Вопросы питания. 2009. Т. 76(6). С. 60–66.



УДК 579.674

## ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА С ПОМОЩЬЮ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

*Шевякова П.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Гунькова П.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: shevyakovapolina@rambler.ru, gunkova@itmo.ru*

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

---

В работе приведены данные о влиянии на организм человека ферментированных продуктов питания. Показано, что введение в ежедневный рацион продуктов, содержащих пробиотики, пребиотики и постбиотики способствует оптимизации микроэкологического статуса организма. Функциональные продукты с постбиотиками эффективны при профилактике и лечении инфекционных, онкологических заболеваний, а также при стрессах и повышенной тревожности.

### **Ключевые слова**

Микроэкологический статус человека, ферментированные продукты питания, постбиотики, пробиотики, пребиотики, профилактика инфекций и тревожности, лечение онкологических заболеваний.

---

Появление новых инфекций и видоизменение уже известных болезней, ухудшение экологии, наблюдаемые в современном мире, а также рутинная загруженность приводят к ухудшению показателей здоровья человека. Стрессы, повышение тревожности, понижение иммунитета, наблюдаемые у значительного числа людей вследствие перенесенных инфекционных заболеваний, приводят к нарушению микроэкологического статуса человека. На состояние микроэкологического статуса значительное влияние оказывает рацион питания [1]. Введение в ежедневный рацион человека функциональных ферментированных продуктов, имеющих в составе живые пробиотические микроорганизмы, микробные продуценты и клеточные компоненты позволит оптимизировать состояние микробиома и вследствие этого оказать положительное влияние на физиологические и метаболические функции организма [1]. Тенденция к отказу людей от продуктов животного происхождения диктует необходимость разработки биотехнологий ферментированных продуктов на основе растительного сырья. Обеспечить функциональные свойства таких продуктов позволит введение в их состав пробиотических культур, их продуцентов или компонентов микробных клеток [1]. Виды пробиотических микроорганизмов и их функциональные свойства приведены в таблице 1.

Среди таких микроорганизмов наиболее распространены виды рода *Lactobacillus*. Они благотворно влияют на общее состояние организма, в частности восстанавливают нормальную микрофлору кишечника, продуцируют молочную кислоту, вследствие чего способствуют препятствованию роста патогенных бактерий и грибов. Кроме того, они расщепляют холестерин, нормализуют обмен веществ и являются доступными для получения их организмом, так как используются при производстве различных продуктов питания. Также следует отметить, что многие виды рода *Bifidobacterium* и *Propionibacterium* обладают пробиотическими и ферментативными свойствами: Тем самым, ферментативные продукты, при производстве которых они использовались, являются и функциональными.

---

Таблица 1

<b>Характеристика некоторых пробиотических культур</b>	
<b>Пробиотические культуры</b>	<b>Функциональные свойства</b>
L. acidophilus L. casei L.rhamnosus L. plantarum L. helveticum L. brevis L. fermentum L. buchneri B. longum B. Bifidum P. freudenreichii P. acidipropionici	Поддержание баланса нормофлоры кишечника Препятствие колонизации патогенных и условно-патогенных микробов Улучшение белкового и минерального обмена Синтезирование витаминов и незаменимых аминокислот Снижение уровня холестерина в крови Иммуностимулирующий эффект Противовирусный эффект

Пробиотические культуры, выбранные для использования в биотехнологии ферментированных функциональных продуктов, должны отвечать ряду требований: быть непатогенными для человека, обладать способностью оказывать на макроорганизм положительное действие, иметь высокий колонизационный потенциал, проявлять устойчивость к низким значениям pH среды, желчным кислотам и антимикробным веществам, продуцируемым индигенной микрофлорой. Для поддержания жизнедеятельности пробиотических культур в состав продуктов целесообразно вводить пребиотики – не перевариваемые в кишечнике вещества, избирательно стимулирующие рост и метаболическую активность одной или нескольких групп микроорганизмов, находящихся в толстом кишечнике [1]. Некоторые пребиотики и их функциональные свойства приведены в таблице 2.

Таблица 2

<b>Некоторые пребиотики и их свойства</b>	
<b>Пребиотик</b>	<b>Функциональные свойства</b>
Инулин Пектин Лактулоза Лактитол	Гиперосмотическое слабительное действие; Улучшение всасывания фосфатов, солей калия и магния; Выведение солей аммония; Положительное влияние на процесс переваривания пищи; Способствование повышению иммунитета; Снижение уровня холестерина в крови

Пребиотики, используемые при выработке пищевых продуктов, не должны адсорбироваться в верхних отделах пищеварительного тракта и подвергаться гидролизу в кишечнике человека, но должны служить селективным субстратом для пробиотических культур [1].

Перспективным направлением при выработке ферментированных продуктов является использование постбиотиков. По определению ISAPP (международная научная ассоциация по пробиотикам и пребиотикам) постбиотиками являются препараты или продукты с неживыми микроорганизмами, их составляющими и метаболитами, которые оказывают полезное воздействие на здоровье человека. К постбиотикам относят: инактивированные микробные клетки, клеточные компоненты (мукопептиды, тейхоевые кислоты, эндо- и экзополисахариды, белки поверхностного слоя), клеточные метаболиты (короткоцепочечные жирные кислоты, бактериоцины, ферменты). Благодаря полезным свойствам и отсутствию токсического действия на организм человека, невысоким затратам на получение и длительному сроку годности постбиотики привлекают все большее внимание ученых, занимающихся разработкой новых лекарственных препаратов [2, 3]. Возможные пути практического использования постбиотиков приведены в таблице 3.

**Пути использования постбиотиков**

<b>Использование постбиотиков</b>	<b>Влияние на организм человека</b>
Адьювантная терапия рака	Уменьшение побочных эффектов от лекарств, предназначенных для лечения онкологических заболеваний; Снижение жизнеспособности раковых клеток; Регулирование иммунной реакции; Усиление апоптоза и некроза; Ингибирование раковой инвазии
Лечение инфекционных заболеваний	Сокращение продолжительности диареи; Снижение количества случаев острого гастроэнтерита Снижение числа инфекций дыхательных путей
Снижение уровня стресса	Оптимизация состава микробиома

Использование в терапии препаратов постбиотиков поможет различать нормальные и раковые клетки и запустить апоптоз в раковых клетках [3]. Кроме того, препараты постбиотиков, включающие экзополисахариды, продуцируемые лактобактериями, проявляют значительную антипролиферативную активность против клеточных линий карциномы [3].

Исследования по оцениванию эффективности постбиотиков при лечении различных инфекционных заболеваний у детей младше пяти лет, проводились по рекомендациям Кокрейновского сотрудничества одновременно в Европе, Латинской Америке и Таиланде. В них участвовали 1740 детей, которые были разделены на две группы. Первой группе в пищу добавляли термически инактивированную культуру *L. acidophilus* LB и *L. paracasei* CBA L74 и смеси культур *B. breve* C50 и *Str. thermophilus* 065. Второй экспериментальной группе давали плацебо. Результаты исследований показали, что введение в рацион термически инактивированной культуры *L. acidophilus* LB сокращало продолжительность диареи по сравнению с плацебо, а введение термически инактивированной культуры *L. paracasei* CBA L74 снижало количество случаев острого гастроэнтерита и инфекций дыхательных путей у детей [4].

По другим данным, прием в течение четырех недель пациентами с синдромом раздраженного кишечника таблеток, содержащих термоинактивированную культуру *L. gasseri* CP2305 оптимизировал состояние микробиома исследуемых. Те же препараты при наиболее долгосрочном приеме в течение 24-х недель приводили к значительному улучшению состояния хронического стресса у студентов, готовящихся к сдаче национального экзамена в медицинском университете [5].

Анализ имеющихся научных результатов показал, что введение в ежедневный рацион человека ферментированных продуктов с пробиотическими свойствами и пребиотиками позволит оптимизировать микробиологический статус человека. Использование в составе ферментированных продуктов постбиотиков является актуальным направлением в пищевой биотехнологии. Выявленная эффективность постбиотиков при лечении и профилактике онкологических, инфекционных и психоземональных заболеваний обуславливает перспективность исследований по разработке биотехнологий ферментированных продуктов с применением препаратов постбиотиков. Благодаря отсутствию необходимости поддержания жизнеспособности бактерий в препаратах постбиотики могут стать альтернативой продуктов с пробиотическими свойствами.

**Список использованных источников**

1. Красникова Л.В. Микробиология продуктов животного происхождения: учебное пособие. - Санкт-Петербург: ООО «ИТК Троицкий мост». 2016. 296 с.
2. Salminen S., Collado M.C., Endo A. et al. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics // *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2021. №. 18. С. 649–667.

3. Davis C.D., Milner J.A. Gastrointestinal microflora, food components and colon cancer prevention // *J Nutr Biochem*. 2009. №. 20. С. 743–752.
4. Malagón-Rojas J.N.; Mantziari A.; Salminen S.; Szajewska H. Postbiotics for Preventing and Treating Common Infectious/Diseases in Children: A Systematic Review // *Nutrients*. 2020. №. 12. С. 389.
5. Nishida K., Sawada D., Kuwano Y., Tanaka H., Rokutan K. Health Benefits of *Lactobacillus gasseri* CP2305 Tablets in Young Adults Exposed to Chronic Stress: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study // *Nutrients*. 2019. №. 11. С. 1859.

УДК 504.06

## РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ ПО ГОСТ Р 57219-2016

*Шестель А.А.<sup>1</sup> (студент), Гаврецкая А.В.<sup>1</sup> (студент), Николаев Е.М.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: shestel@mail.ru

*Работа выполнена в рамках темы НИР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биodeградации», НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики»*

В работе рассмотрены международные и отечественные стандарты, описывающие методики проведения оценки биоразложения материалов. Была выбрана наиболее оптимальная методика. На ее основе была создана установка по оценке биоразложения в условиях аэробного компостирования. Работа посвящена разработке инструментального обеспечения, позволяющего проводить оценку в соответствии с методикой ГОСТ Р 57219-2016. Приведены основные параметры проведения процесса, чертежи и фотографии установки. Описаны ее устройство и основные преимущества.

### Ключевые слова

Биоразложение, компостирование, оборудование, методика, отходы.

В настоящий момент все больше возрастает интерес к использованию биоразлагаемых, в частности, компостируемых материалов. Это приводит к необходимости иметь возможность проводить исследования, способные подтвердить наличие свойств биоразложения у данных материалов. Существует ряд стандартов, содержащих методики позволяющие оценить способность материалов к биodeградации в конкретных условиях. Однако при проведении исследования рынка было выяснено, что готовые инструментальные решения для проведения таких анализов отсутствуют. В связи с этим было принято решение о разработке установки, позволяющей проводить полноценный анализ оценки способности биodeградации в условиях аэробного компостирования.

Для подбора наиболее подходящей методики были изучены стандарты, которые позволяют оценить биodeградацию материала в условиях аэробного компостирования. Данные стандарты приведены в таблице.

Таблица

### Международные и аналогичные им отечественные стандарты

ISO	Название	ГОСТ Р
14855-1	Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Часть 1. Общий метод	57224-2016
14855-2	Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Часть 2. Гравиметрический метод анализа диоксида углерода, выделяемого при лабораторном испытании	57219-2016

Продолжение таблицы

ISO	Название	ГОСТ Р
16929	Пластмассы. Определение степени разложения в установленных условиях компостирования в процессе пробных испытаний	57226-2016
20200	Пластмассы. Определение степени разложения пластмасс в имитированных условиях компостирования при лабораторных испытаниях	57225-2016
17556	Пластмассы. Определение конечной аэробной биоразлагаемости пластиковых материалов в почве путем измерения потребности в кислороде в респирометре или количества выделенного углекислого газа	–

В рамках проводимого исследования интерес представляло определение степени биоразлагаемости материала. Биоразложение – разложение, вызванное биологической активностью микроорганизмов, особенно действием ферментов, приводящее к значительному изменению химической структуры материала [1]. Оно является подмножеством разложения – необратимого процесса, ведущего к значительным изменениям в структуре материала, которые обычно характеризуются изменением свойств материала, и/или измельчению под воздействием окружающей среды, протекающим в течение определенного периода времени и состоящим из одного или более этапов. В связи с этим, методики ISO 16929/ГОСТ Р 57226-2016 и ISO 20200/ГОСТ Р 57225-2016 были отвергнуты [2]. Исследование, проводимое по методике ISO 14855:1/ГОСТ Р 57224-2016, требует применения сложного и дорогостоящего оборудования, что является недостатком для создания установки на основе данной методики [3]. Ранее в рамках темы НИРМА №620147 была опробована методика ISO 17556. Данная методика не имеет отечественного аналога, что может накладывать ограничения при внедрении создаваемой установки на российский рынок. Также проведение анализа в соответствии с ISO 17556 требует большого числа повторностей, а исследование выполняется вручную. Данная методика показала невозможность ее масштабирования. Для создания установки оптимальной является методика в соответствии с ISO 14855-2/ГОСТ Р 57219-2016, позволяющая проводить наиболее полную оценку биодegradуемости материала в условиях аэробного компостирования [4].

На рисунке 1 приведена блок-схема проведения процесса в соответствии с методикой стандарта. Установка представляет собой последовательность ловушек. Методика основывается на определении количества выделившегося диоксида углерода, его определяют гравиметрически. Полная микробиологическая деградация материала достигается за счет поддержания постоянной температуры  $58 \pm 2^\circ\text{C}$  в емкости для компостирования.

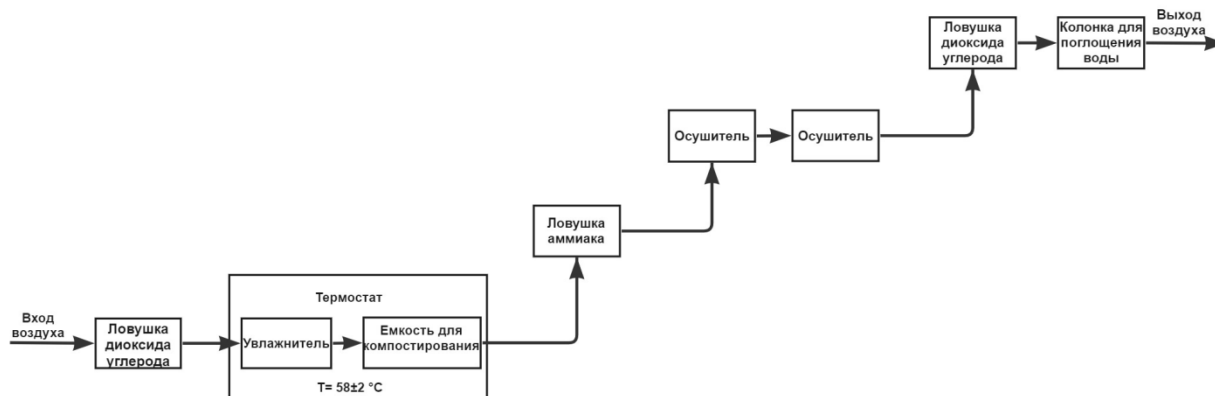


Рис. 1. Методика ГОСТ Р 57219-2016

Особенностью данной методики является необходимость проведения двух контролей: положительного и отрицательного, а также наличия нескольких параллельных исследований. Положительный контроль представляет собой емкость для компостирования, в которую вместо исследуемого материала помещают контрольный материал. Данный вид контроля позволяет проверить активность инокулянта и подтвердить достоверность результатов исследования. Отрицательный контроль не содержит в себе образцов материала. Его значения используются при расчетах для внесения необходимых поправок. Расчет осуществляется с учетом средних значений и при учете значений контрольных образцов.

В ходе работы командой НИОКТР были разработаны чертежи установки, закуплены необходимые составляющие и собрана установка. На рисунках 2 и 3 приведены чертеж общего вида и фотография установки в собранном виде.

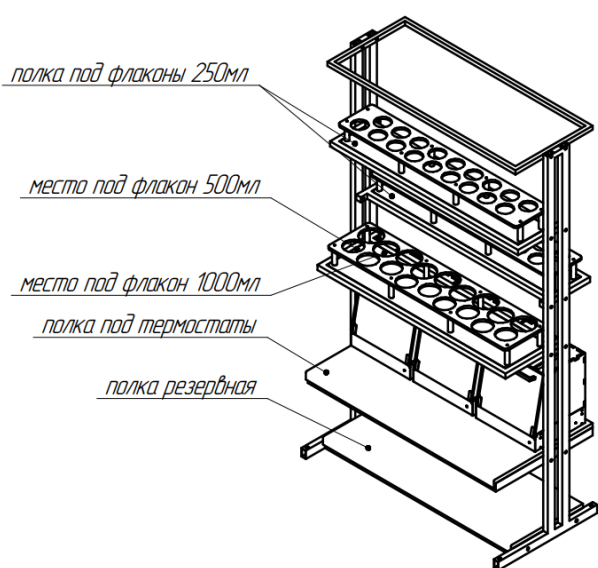


Рис. 2. Чертеж общего вида



Рис. 3. Внешний вид установки

Установка состоит из ряда полок, на которых располагают емкости. На нижней полке находятся термостаты, в которых, в соответствии с методикой, помещены емкости с водой - увлажнители и емкости с исследуемыми образцами. Расположенные выше полки оснащены держателями, обеспечивающими устойчивость емкостей с реагентами. Емкости соединяются с помощью силиконовых шлангов, обеспечивающих герметичность. Особенностью методики является очень низкая скорость подачи воздуха от 10 до 30 мл/мин, для ее обеспечения был разработан и изготовлен насос оригинальной конструкции.

В ходе работы создана установка, позволяющая проводить оценку биоразложения в условиях аэробного компостирования в соответствии с методикой стандарта. Установка предусматривает поддержание необходимых условий протекания процесса, температуры и скорости потока воздуха. Продолжительность анализа в соответствии с методикой должна составить 45-50 суток. Установка предусматривает размещение достаточного количества емкостей для проведения необходимого количества повторностей. При этом существует возможность масштабирования установки. На данный момент она проходит этап запуска и отработки режимов работы.

**Список использованных источников**

1. ГОСТ Р 57226-2016 Пластмассы. Определение степени разложения в установленных условиях компостирования в процессе пробных испытаний. – М.: Стандартиформ, 2016. 8 с.
2. ГОСТ Р 57225-2016 Пластмассы. Определение степени разложения пластмасс в имитированных условиях компостирования при лабораторных испытаниях. – М.: Стандартиформ, 2016. 8 с.
3. ГОСТ Р 57224-2016 Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Часть 1. Общий метод. – М.: Стандартиформ, 2016. 20 с.
4. ГОСТ Р 57219-2016 Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Часть 2. Гравиметрический метод анализа диоксида углерода, выделяемого при лабораторном испытании. – М.: Стандартиформ, 2016. 15 с.



УДК 504.06

## РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕКЛАРАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФЕРМЕНТАТИВНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО МЯСНОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ

*Шестель А.А.<sup>1</sup> (студент), Гаврецкая А.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Овсяук Е.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: shestel@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620142 «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии биоактивных пищевых ингредиентов с заданными свойствами из биоресурсов и вторичных сырьевых источников растительного и животного происхождения для обеспечения здорового питания населения РФ с использованием пищевой комбинаторики»*

---

В работе рассмотрен процесс разработки экологической декларации для мясного функционального продукта питания. Приведены основные материальные потоки, как необходимые для производства, так и являющиеся его результатом. Проведены расчеты, демонстрирующие влияние входных потоков на различные виды ресурсов. По результатам инвентаризационного анализа были рассмотрены категории воздействия на окружающую среду и их показатели. Составлена экологическая декларация на продукт.

### **Ключевые слова**

Оценка жизненного цикла, экологическая маркировка, негативное воздействие, производственный процесс, окружающая среда.

---

Актуальность разработки экологической декларации для продукции заключается в исследовании всех процессов и стадий производства, оценке и прогнозировании возможных негативных воздействий на окружающую среду. Проведение данных исследований может способствовать модернизации процессов и снижению негативных воздействий. Что в свою очередь способствует экологической маркировке продукции, и в конечном итоге должно приводить к повышению конкурентоспособности продукции.

Большинство экологических маркировок основывается на оценке жизненного цикла [1]. В связи с этим процесс разработки экологической декларации включает в себя ряд стадий [2]:

1. Определение границ системы.
2. Определение входных и выходных потоков.
3. Проведение оценки жизненного цикла, включая инвентаризационный анализ и оценку воздействия на окружающую среду.
4. Интерпретация жизненного цикла и определение путей снижения возможного негативного воздействия.
5. Создание экологической декларации.

Границы, в рамках которых исследовалась система, представлены на рисунке 1. Они включают в себя производственный процесс, но исключают производство и транспортирование сырья, а также хранение и транспортирование готовой продукции. Так же на схеме отображены все входные и выходные потоки, которые необходимы для проведения оценки.

При обобщении входные потоки можно разбить на следующие группы:

- сырье, в том числе питьевая вода;
- энергия;
- техническая вода;
- упаковочные материалы.

Выходные потоки в свою очередь включают в себя:

- продукцию;
-

- отходы;
- сточные воды;
- выбросы в атмосферу.

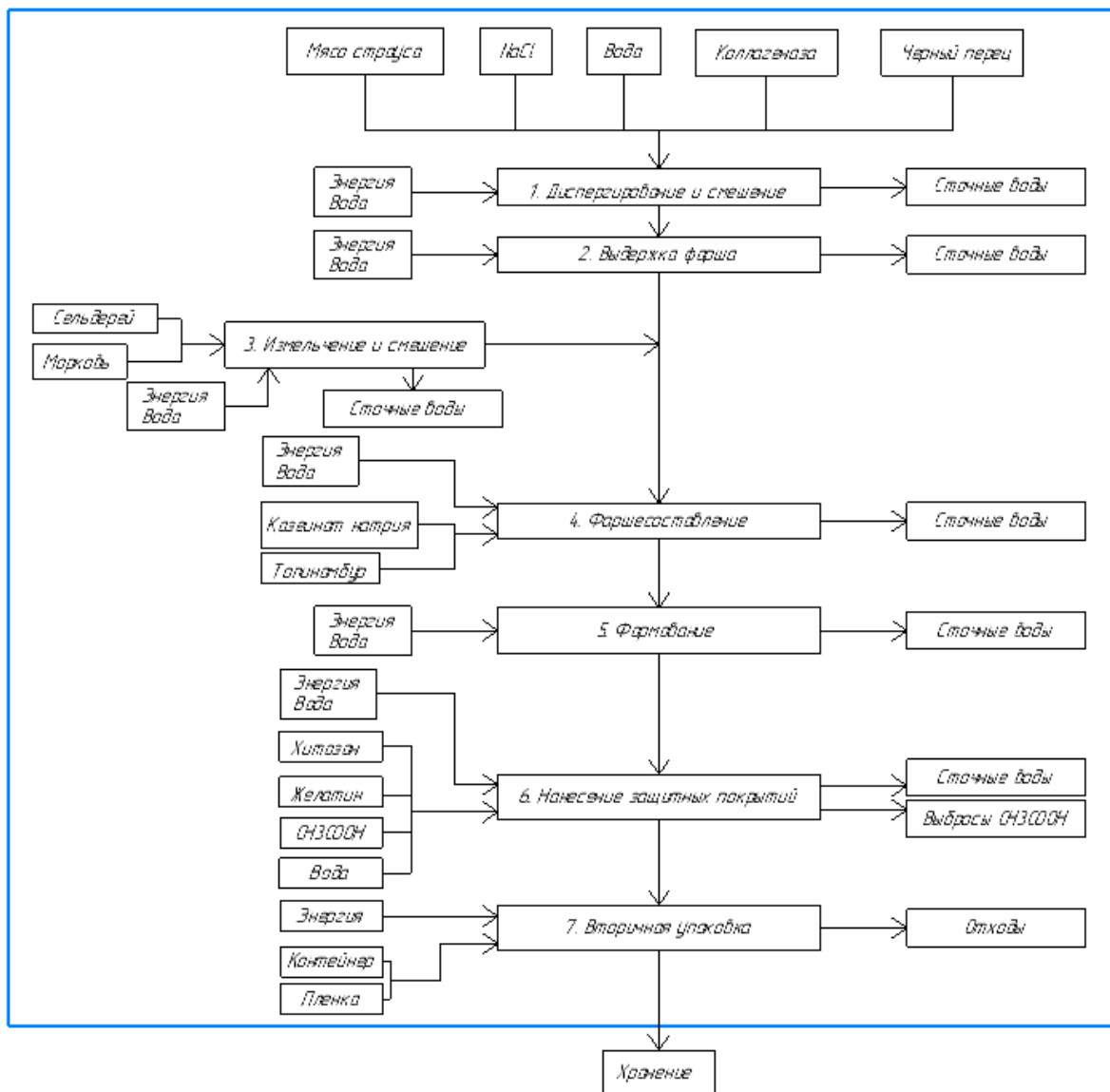


Рис. 1. Границы системы

Следующей стадией являлось проведение инвентаризационного анализа, после чего на его основе были выбраны категории воздействия и их показатели. Данные представлены в таблице.

Таблица

**Категории воздействий и показатели категорий**

№	Категория воздействия	Результаты ИАЖЦ	Показатель категории
1	Истощение природных ресурсов	Входные потоки	MIPS, кг/кг
2	Эвтрофикация	Сбросы сточных вод (ХПК и БПК), выбросы $\text{NO}_x$	г-эквивалент $\text{O}_2$
3	Образование фотохимического смога	Выбросы уксусной кислоты	г-эквивалент этана
4	Закисление	Выбросы $\text{NO}_x$	мол. $\text{H}^+$
5	Глобальное потепление	Выбросы $\text{CO}_2$ , $\text{N}_2\text{O}$	г-эквивалент $\text{CO}_2$

На рисунке 2 приведена диаграмма, демонстрирующая влияние входных потоков на различные виды ресурсов. Как видно наибольшее воздействие – порядка 95% – приходится на водные ресурсы.

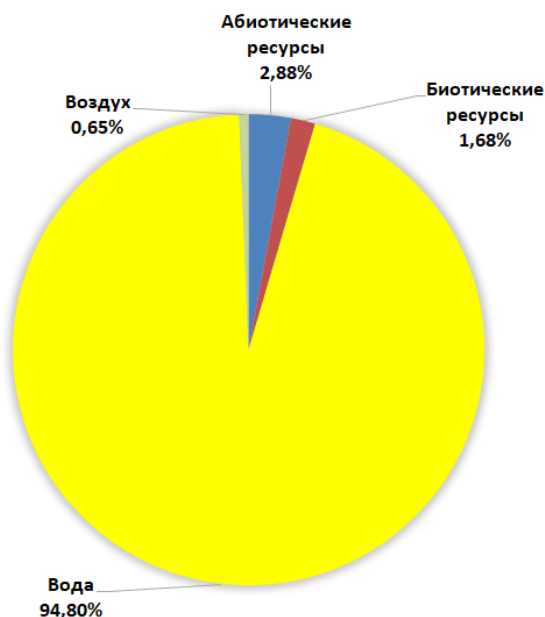


Рис. 2. Соотношение воздействия входных потоков

На рисунке 3 приведена экологическая декларация на функциональный мясной продукт питания.

### Экологическая декларация продукции

Руководящий документ: ГОСТ Р 51956-2002



Мясной функциональный продукт питания с использованием коллагенсодержащего модифицированного ферментами препарата

**Информация о производителе:** ИТМО, факультет Биотехнологий

**Информация о продукте:** коллагенсодержащий модифицированный ферментным препаратом мясной функциональный продукт питания

**Функциональная единица:** 1 кг готовой продукции

**Принцип установки границ системы:** «от ворот до ворот»

**Стадии ЖЦ:**

- Получение фарша
- Разработка рецептур мясорастительных котлет
- Фаршесоставление и получение мясного функционального продукта питания
- Упаковка продукта

**Дата составления декларации:** ноябрь 2022 г.

**Основные экологические показатели:**

Потребление энергетических ресурсов	0,1040 кВт-ч электроэнергии
Потребление водных ресурсов	0,1404 кг
Образование фотохимического смога	0,001261 г-экв. этана
Закисление	3,823 мол.Н <sup>+</sup>
Эвтрофикация	1055,50 г O <sub>2</sub>
Выбросы парниковых газов	26358,18 г-экв. CO <sub>2</sub>
Образование отходов	0,456 кг

Рис. 3. Пример экологической декларации

Следует отметить важность создания экологической декларации, так как она приводит к необходимости проведения оценки влияния производства и продукции на окружающую среду, а также дает толчок для модернизации и повышения экологичности производства. Знак эко-маркировки гарантирует, что продукт удовлетворяет необходимые критерии и является экологически безопасным [3].

Получение подобной декларации и экологической маркировки в определенной степени позволяет повысить доверие потребителя и обеспечить устойчивый спрос на продукцию.

#### **Список использованных источников**

1. ГОСТ Р ИСО 14025-2012 Этикетки и декларации экологические. Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры . – М.: Стандартиформ. 2014. 24 с.
2. ГОСТ Р ИСО 14040-2010 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. – М.: Стандартиформ. 2010. 18 с.
3. Копыльцова С.Е. Разработка экологической декларации молочной продукции // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2013. №. 1. С. 24–25.

УДК 339.13.017

## АНАЛИЗ РЫНКА МОЛОЧНЫХ КАКАО-НАПИТКОВ В РОССИИ

*Венедиктова Е.Н.<sup>1</sup>(студент), Яковлева А.Я.<sup>1</sup>(студент)**Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Орлова О.Ю.<sup>1</sup>**Консультант – ассистент Бойцова Ю.С.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: yak---angel99@mail.ru, katevenyo@gmail.com, oousova@itmo.ru

*Работа выполнена в рамках темы НИР №622151 «Обеспечение коммерциализации научно-прикладных проектов»*

В статье приведены основные статистические данные об объеме и прогнозах рынка функциональных напитков, даны перспективы развития данного рынка с содержанием какао-продуктов, и рассчитан его размер. Для конкретизации позиционирования бренда, выходящего рынок, была определена целевая аудитория (ЦА), проведено исследование Customer Development, выявлены основные потребности ЦА, а также выполнен сравнительный анализ брендов молочного какао-напитка.

**Ключевые слова**

Функциональные напитки, размер рынка, целевая аудитория, портрет потребителя, Customer Development, конкурентные преимущества, конкурентный анализ.

Все большее место в системе функционального питания занимают функциональные напитки, отвечающие современным запросам общества на пользу, натуральность и возможность быстрого и сбалансированного приема пищи, не прибегая к индустрии fast-food. В 2021 году рынок функциональных напитков, включающий энергетические напитки, спортивные напитки, усиленные фруктовые напитки и функциональную воду в бутылках, оценивался в 121.2 млрд долларов с перспективой роста до 173.3 млрд долларов в 2025 году (рис. 1) [1]. Стоит отметить, что объем мирового рынка функциональных напитков меньше объема мирового рынка функциональных продуктов питания всего на 35%, что подтверждает высокий интерес потребителей к функциональным напиткам.

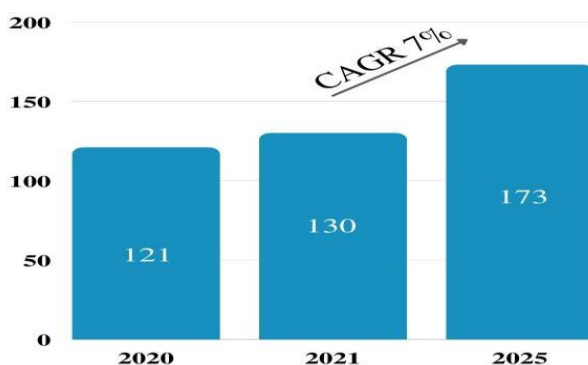


Рис. 1. Объем мирового рынка функциональных напитков, млрд долларов [1]

Драйверами роста для рынка функциональных напитков служат следующие факторы:

1. Повышение общей осведомленности о здоровье.
2. Стремление к поддержанию здоровья и хорошего самочувствия.
3. Тренд на безалкогольные напитки.
4. Здоровье “на ходу”.
5. Персонализация предложений (направленность на решение запроса).

## 6. Рост спроса на растительные альтернативы.

На сегодняшний день аналитики определяют российский рынок функциональных продуктов питания как растущий. Интерес и спрос на функциональные продукты лишь начинает зарождаться и пока что их объем не сопоставим с рынками Европы или США. Российский рынок функциональных напитков растет на 8.5% в год на протяжении последних пяти лет и к 2024 году его объем может превысить миллиард рублей [2].

Последние несколько лет наблюдается рост спроса на молочные альтернативы. Функциональные молочные напитки – обогащенные пробиотиками и пребиотиками, клетчаткой, минералами и витаминами молочные продукты или молочные продукты на основе сыворотки.

Объем отечественного рынка какао-продуктов в рамках 2021 года показал абсолютную максимизацию. Отечественный рынок какао-продуктов в оценке текущего временного ряда 2021 года показал стремительную динамику увеличения объемности рынка на 15% и в натуральных величинах, и в стоимостных показателях.

Согласно данным исследования «Рынок какао-продуктов в России: исследование и прогноз до 2025 года», подготовленного маркетинговым агентством ROIF Expert в 2021 году, стоимостный объем российского рынка какао-продуктов увеличился в текущем периоде 2021 года на 9 млрд рублей [3].

Рынок какао-напитков России уступает рынку западных стран, тем не менее имеет огромный потенциал для старта особенно в нынешнее время, когда крупные игроки ушли с рынка России (например, Nesquik (как готовый какао-напиток)) и осталось огромное количество инвесторов, которые бы хотели вложиться в перспективные проекты, а витаминизированные какао-напитки набирают обороты, особенно в секторе безлактозного молока.

Согласно данным, представленным аналитиками BusinessStat [4], можно сделать вывод о том, что несмотря на высокую конкуренцию в сегменте молочных коктейлей (какао-напитков), растущий спрос на продукцию может стать решающим в успешной коммерциализации создания новых продуктов.

Согласно статистическим данным общий объем рынка молочной продукции в России в 2021 году составил 1,25 трлн рублей. Сюда включается как экспорт, так и импорт, следовательно, объем внутреннего рынка России составляет 750 млрд рублей, что равно 60% от общего рынка (РАМ) (рис. 2). Молочные жидкие десерты, к которым относится продукт витаминизированного какао-напитка для детей составляет 150 млрд рублей, это 20% от внутреннего рынка (ТАМ). Объем рынка молочных коктейлей будет равен 1,5 млрд рублей, что составит 1% от общего рынка жидких десертов (SAM). Объем рынка безлактозных молочных коктейлей для детей, который планируется занять составляет 450 млн рублей (SOM) [3]. Среднегодовой рост в промежутке 2022-2025 гг. составит 8,72%. Прогнозируется, что в 2023 году объем рынка увеличится на 18,4% [4].

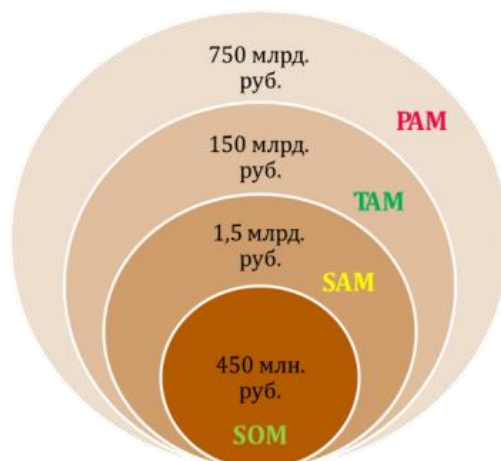


Рис. 2. Размер рынка для инновационного какао-напитка, млрд. рублей

Для дальнейшего исследования рынка необходимо определить целевую аудиторию функциональных какао-напитков для детей – это все люди, заинтересованные в продукте. Но часто аудитория бывает очень неоднородная. Чтобы правильно составлять рекламные кампании и учитывать эти различия, нужна сегментация целевой аудитории — деление её на группы, которые различаются по одному или нескольким параметрам. Существует несколько базовых типов сегментации: демографический, социально-экономический, географический и психографический [5]. Выдвигая гипотезы, можно выделить следующую сегментацию целевой аудитории, которая в дальнейшем поможет определить конечный портрет потребителя молочных какао-напитков (рис. 3).



Рис. 3. Сегментация ЦА для молочного какао-напитка [составлено автором]

По факту, **портрет целевой аудитории** — это единый образ конечного потребителя продукта; это описание уже не группы людей, а конкретного пользователя, вашего идеального клиента. Точное описание потенциального клиента поможет скорректировать коммуникацию, найти новые идеи для обращения к аудитории, темы для постов, послы для рекламы [6]. Таким образом, было составлено 2 портрета потребителей какао-напитка (рис. 4), основанного на определении целевой аудитории, а также ее сегментирования. В дальнейшем это необходимо для построения Customer Development и определения проблем и потребностей целевой аудитории молочного какао-напитка.



Рис. 4. Портреты потребителей молочного какао-напитка [составлено автором]

Customer Development (с англ. – создание клиента) – это исследования потребностей потенциальных клиентов, которое включает проведение интервью [6]. По факту, это специально созданная коммуникация с потенциальными (или уже существующими) клиентами

для определения их ожиданий, потребностей от будущего продукта и основных проблем. Основными этапами Customer Development являются:

1. Формирование гипотезы.
2. Актуализация целевой аудитории.
3. Формирование вопросов для проведения интервью.
4. Выделение потенциальных покупателей в фокус-группе.
5. Проведение интервью.
6. Обработка и интерпретация полученных результатов.

Так, было выделено 2 фокус-группы: родители и дети различных возрастных категорий, уровня достатка и образа жизни. Затем, на основе анализа представленных на рынке продуктов и отзывов была выдвинута *гипотеза* – создание готового витаминизированного какао-напитка на основе безлактозного комбинированного молока без вредных добавок с добавлением сладких белков в качестве подсластителя. Список вопросов для интервью делился на 3 блока, на само интервью выделялось от 20 до 40 минут.

Самый важный этап методологии Customer Development – выявление проблем потенциальных потребителей и, как следствие, корректировка созданной гипотезы для удовлетворения потребителя:

- ненатуральность состава: наличие е-добавок, красителей, консервантов;
- плохое качество и плохие отзывы о детской продукции;
- страх ГМО, инновационных компонентов (сладкие белки);
- большое количество сахара в детской продукции;
- недоверие к воздействию на детский организм растительных альтернатив коровьего молока;
- несоответствие альтернативных источников молока традиционным вкусам;
- ограниченность выбора детской продукции;
- недоверие к некоторым нечестным брендам;
- слишком большая упаковка для питания детей, не достигших подросткового возраста;
- аллергии и сложности с молочными продуктами, так как у многих детей непереносимость лактозы и/или шоколада;
- зачастую нехватка времени у родителей на приготовление полноценного приема пищи и/или предоставление перекуса во время/после/вне школы;
- неосведомленность в вопросе необходимости дополнительных источников витаминов;
- рост цен на детскую продукцию и продукцию в целом;
- дети: чаще всего не хватает времени на перекус, приходится заменять бесполезными альтернативами;
- дети: важна красивая упаковка для совершения покупки;
- дети: повышенная утомляемость, а также снижение концентрации, частые серьезные болезни во время учебного года.

Таким образом, изначальную гипотезу, выдвинутую для проведения кастдев, необходимо откорректировать: потребители скептически относятся к инновационным компонентам в составе продукции для детей, так что изначально заявленный подсластитель «сладкие белки» лучше заменить на какую-то более традиционную альтернативу.

Также, благодаря проведенному опросу можно вывести конкретные конкурентные преимущества для успешной работы на рынке молочных какао-напитков для детей (рис. 5). Бренду необходимо завоевать доверие своей целевой аудитории, а для этого, в свою очередь, он должен отвечать потребностям своих потенциальных клиентов:

Более того, для полноценного анализа рынка необходимо также обратиться к конкурентному анализу. Изучение и анализ деятельности конкурентов определяет будущий успех продукта. Сбор информации о конкурентах позволяет определить положение будущего создаваемого продукта на рынке. Можно выделить три основных шага для проведения конкурентного анализа [5]:



1. Обзор конкурентов – на первом этапе необходимо выделить от 5 до 10 конкурентов, которые имеют схожие продукты или услуги и аналогичную бизнес-модель.
2. Исследование рынка – данный этап представляет собой сочетание первичных и вторичных исследований.
3. Сравнение характеристик продукта - проведение сравнения по выявленным ключевым признакам конкретного продукта.



Рис. 5. Потребности целевой аудитории молочного какао-напитка

Так, для конкурентного анализа молочных какао-напитков было выбрано шесть компаний-конкурентов, которые работают в области производства молочных напитков/коктейлей. Для дальнейшей оценки конкурентов и построения сравнительной таблицы необходимо определить ключевые характеристики состава продукта, которые важны для потребителя, и на которые он больше всего обращает внимание при совершении покупки:

1. Количество белого рафинированного сахара в составе.
2. Наличие витаминов.
3. Наличие лактозы.
4. Наличие консервантов.
5. Вид упаковки.
6. Цена (в рублях за штуку).

В таблице представлен сравнительный анализ конкурентов. Так, максимальное количество белого сахара содержится в продукции под брендом “Чудо”; только 2 продукта имеют в составе дополнительный источник витаминов (“Nesquik” и “Фруто Няня”). При этом, все продукты содержат в составе лактозу, а половина из них - консерванты. Некоторые производители используют упаковку не 200 мл, а 190–180 мл; а цена при этом разнится от 34 до 73 рублей.

Таблица

**Сравнительный анализ конкурентов-брендов молочного какао-напитка**

Бренд/ Параметр	Кол-во белого сахара	Вита- мины	Лактоза	Консер- ванты	Упаковка	Цена руб. /шт.
Чудо (чудо детки) шоколадное	8,2 г	–	+	+	Яркая, есть персонаж	73
Простоквашино	7,1 г	–	+	+	В цветах бренда	64
Nesquik	5,0 г	+	+	+	Яркая, есть персонаж	60
Ам-Ам	3,5 г	–	+	–	Сдержанная, есть персонаж	34
Фруто Няня	4,5 г	+	+	–	Яркая	41
ВкусВилл для детей	4,0 г	–	+	–	Сдержанная	42

Таким образом, был рассмотрен рынок какао-напитков для детей в комплексной его оценке. В работе рассмотрены конкуренты, целевая аудитория, составлен портрет потребителя с ее потребностями. В дальнейшем планируется расширить анализ конкурентов, создать рецептуру напитка и реализовать небольшую его партию.

#### **Список использованных источников**

1. Functional Beverages Global Market Report 2021: COVID 19 Growth And Change to 2030 // The Business Research Company. 2021. 32 p.
2. Функциональные напитки. Основные мировые тренды 2023 года. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/column/artur-khasanov/39389-funktsionalnye-napitki-osnovnye-mirovye-trendy-2023-goda/> (дата обращения: 29.01. 2023).
3. Рынок какао-напитков в России, влияние санкций (с данными 2022): исследование и прогноз до 2027 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://roif-expert.ru/food/kofe-kakao/kakao-napitki/rynok-kakao-napitkov-v-rossii-obzor-i-prognoz.html> (дата обращения: 16.01.2023).
4. Экспорт и импорт напитков на основе молока и какао в России в 2022 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://businessstat.ru/catalog/id10344/> (дата обращения: 19.01.2023).
5. Как правильно составить портрет целевой аудитории // Social, Popsters. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://popsters.ru/blog/post/kak-pravilno-sostavit-portret-celevoy-auditorii> (дата обращения: 18.01.2023).
6. Что такое кастдев, как правильно организовать и провести эффективное интервью // Шульц А. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kokoc.com/blog/custdev-cto-eto-primery/?ysclid=1cyozha4de796527802> (дата обращения: 21.01.2023).

## **Экология и устойчивое развитие**

UDK 504.75

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING TECHNOLOGIES TO PRODUCE HEAT AND ELECTRICITY

*Sergienko O.<sup>1</sup>, Rakhmanov Y.<sup>1</sup>, Agafonov A.<sup>1</sup> (student), Gubaidullina D.<sup>1</sup> (student), Kolpikova V.<sup>1</sup> (student), Anikieva D.<sup>1</sup> (student)*

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: 369700@niuitmo.ru*

The problem of increasing the amount of municipal solid waste causes many difficulties in the waste disposal process. The calculated operation of the waste heat treatment process, in order to obtain renewable sources such as electricity and heat, as well as the amount of greenhouse gas emissions are given. Main conclusions about processes of MSW disposal methods, their effectiveness as well as correlation between composition of MSW and heat and electricity producing processes are presented.

### Keywords

Municipal solid waste, MSW disposal, incineration, steam turbine, water vapor obtaining, carbon footprint.

Municipal solid waste (MSW) is one of the most common problems over cities around the world. It can contain several substances and can be in different aggregate states, thus the methods of its recycling and disposal should be different or they should be suitable for any composition of MSW. In order to determine the best solution for MSW disposal, it is vital to compare different compositions of MSW and calculate useful parameters of processes, find correlations and conclude important dependencies for future investigations. First of all, this is necessary to provide general information about processes of MSW disposal.

Currently, as part of the reform of environmental rationing and the transition to the best available technologies (BAT), the ITS-9-2020 handbook "Thermal Treatment of Waste" has been published, which examines scenarios for thermal disposal of MSW [1]. It seems reasonable to consider the following scenarios of thermal methods of MSW treatment with heat generation: scenario 1 – incineration using water vapor in a boiler unit, as well as scenario 2 – incineration using a steam turbine unit. The work was carried out within the framework of the course "New Energy and Resource-saving Processes in a Circular Economy", which was implemented with the support of the V. Potanin Foundation.

### Materials and methods

As a basis of research three different compositions of MSW were taken. Their composition is presented in Table 1.

Table 1

**Composition of MSW (g), %**

Sample №	Paper	Food scraps	Wood	Textile	Leather	Polymers	Metals	Park waste	Glass
1	1,6	32	9,1	7	4,9	4,4	2,8	7,6	0,6
2	19,7	31	3,4	4,9	1	14,1	4,7	13,2	8
3	26,1	45	2	2,9	1,6	3,5	2,2	14	2,7

These samples are suitable for common MSW composition of the North-West Federal District of the Russian Federation. Additionally, it can be roughly suitable for other regions of Russia or Europe as it has generally the same pattern of composition.

Firstly, the elemental composition (generally – Carbon; Hydrogen; Oxygen; Nitrogen; Sulfur; Ash; Water) and specific lower calorific value were calculated with usage of next formulas. It was assumed that the mass of MSW in the form in which it enters the incineration is called *working*. The

transition from the percentage of elements in dry MSW mass to the percentage in the working MSW mass was made [2].

Specific lower working calorific value  $Q_l^{hw}$  is the amount of heat released during the complete combustion of 1 kg of MSW was calculated (1):

$$Q_l^w = 339,4 \cdot C^w + 1257 \cdot H^w - 108,9 \cdot (O^w - S^w) - 25,1 \cdot (9 \cdot H^w + W^w), \text{ kJ/kg.} \quad (1)$$

After that, MSW incineration calculations were held. Incinerator type was taken as layered furnace, excess air ratio  $\alpha = 1,4$  and MSW consumption - 0,05; 0,1; 0,15 t/h according to each sample 1,2 and 3. Additionally, we assumed that the flue gas temperature at the afterburning chamber (AC) outlet is  $t_{ac} = 1200^\circ\text{C}$  and MSW flow rate  $G = 1000 \text{ kg/h}$ . The enthalpy of flue gas theoretical volume was calculated using the general formula.

The combustion temperature can be determined by interpolation in the temperature range 800–1500°C if we equate the useful heat release on MSW thermal oxidation with the enthalpy of the flue gas at the theoretical combustion temperature.

Comparison of the obtained theoretical combustion temperature  $t_g$  with the recommended one at the AC which is equal to 1200°C may show the need for additional fuel (DF) to increase the process temperature to the recommended one. General diesel fuel (as a supplementary fuel) characteristics were taken for calculations. Additionally, the deficient specific heat from MSW incineration, specific DF consumption and summarized excessive air volume were calculated. Burning capacity is calculated using formula (2):

$$Q = G \cdot Q_l^w + B \cdot Q_{idf}^w, \text{ kW}, \quad (2)$$

where  $G$  – MSW consumption (kg/h),  
 $B = b \cdot G$  – diesel fuel consumption (kg/h).

After that, water vapor obtaining characteristics were calculated. For these calculations the next characteristics were taken (table 2). Thermochemical MSW heat recovery is used to obtain useful heat in the form of water vapor.

Table 2

Input data for water vapor obtaining

№ of sample	Stack gases temperature, $t_{sg}$ , °C	Feedwater temperature, $t_{fw}$ , °C	Superheated steam temperature, $t_{ss}$ , °C	Water vapour pressure, $P_v$ , MPa	Cold air inflow, $\Delta\alpha$	Blowdown rate, $\beta_{bd}$ , %
1	135	100	240	1,5	0,27	3
2	130	104	300	2,5	0,25	3,5
3	155	50	320	3	0,32	4,5

Flue gases heat leakage as well as the gross efficiency of the utilisation boiler unit was calculated to obtain next parameters.

Eventually, savings of the reference fuel in the substituted boiler unit (3):

$$\Delta B_{bu} = \frac{D \cdot (h_v - h_{fw} + 0,01 \cdot \beta_{bd} \cdot [h_{bw} - h_{fw}])}{Q_{rf} \cdot \eta_{bu}} - B_{rf}, \text{ kg/h}, \quad (3)$$

where  $D$  – flow rate of the boiler unit water vapor (kg/h),

$Q_{rf} = 29350 \text{ kJ/kg}$  – specific combustion heat of the reference fuel;

$\eta_{bu} = 0,9$  – efficiency of the substituted boiler unit;

$B_{rf}$  – the consumption of additional fuel converted to the reference fuel:  $B_{rf} = \frac{b \cdot G_{MSW} \cdot Q_{idf}^w}{Q_{rf}}$  (kg/h);

$h_v$  – specific enthalpy of air, from the heat recovery system (kJ/kg),

$h_{fw}$  – specific enthalpy of feed water (kJ/kg),

$h_{bw}$  – specific enthalpy of boiler water (kJ/kg) [2].

The use of water vapor produced in the recovery system of thermochemical utilization of MSW in steam turbine plants to produce mechanical, electrical, and in the case of cogeneration, and thermal energy.

Steam turbines are rotary heat engines in which the conversion of steam heat into mechanical work (energy) is carried out as a result of two processes. Initially, in the turbine nozzles, in the process of expansion (reduction of steam pressure), the potential steam energy is converted into kinetic energy of the steam flow, which is converted into mechanical energy of the rotating turbine rotor on the working blades mounted on the turbine disk (the turbine rotor is the working blades, the disk mounted on the shaft, and the turbine shaft).

The next set of calculations, which were made, is a steam turbine characteristics. The initial data for this set are given in Table 3.

Table 3

Steam turbines characteristics for calculations

№ of sample	Back pressure at the heat consumer, $P_{bp}$ , MPa	Electric generator efficiency $\eta_{eg}$	Mechanical efficiency $\eta_m$	Internal relative efficiency $\eta_{oi}$
1	0,5	0,96	0,97	0,8
2	0,5	0,94	0,93	0,72
3	0,5	0,95	0,98	0,68

Electrical power generated by an electric generator (4) was calculated as:

$$N_{eff} = \frac{D \cdot W_s \cdot \eta_{eg} \cdot \eta_m \cdot \eta_{oi}}{3600}, kW \tag{4}$$

where  $W_s$  – specific isentropic work of steam in a turbine ( $kJ/kg$ ).

Eventually, savings of "conditional" fuel on the replaced TCPP and boiler plant were calculated following the next formula (5):

$$\Delta B = \frac{N_{eff} \cdot 3600}{Q_u \cdot \eta_{TCPP}} + \frac{Q_t \cdot 3600}{Q_u \cdot \eta_c} - Bu, kg/h, \tag{5}$$

where  $N_{eff}$  – electrical power generated by an electric generator ( $kW$ ),

$Q_u$  – specific heat of combustion of the conventional fuel  $Q_{cf}=29350 kJ/kg$ ,

$\eta_{TCPP}$  – efficiency coefficient of TCPP, is assumed for calculations to be equal to 0,37,

$Q_t$  – the consumption of heat (power) released to the consumer ( $kW$ ),

$\eta_c$  – efficiency of the replaced boiler room was assumed to be equal to 0,9.

### Results and discussion

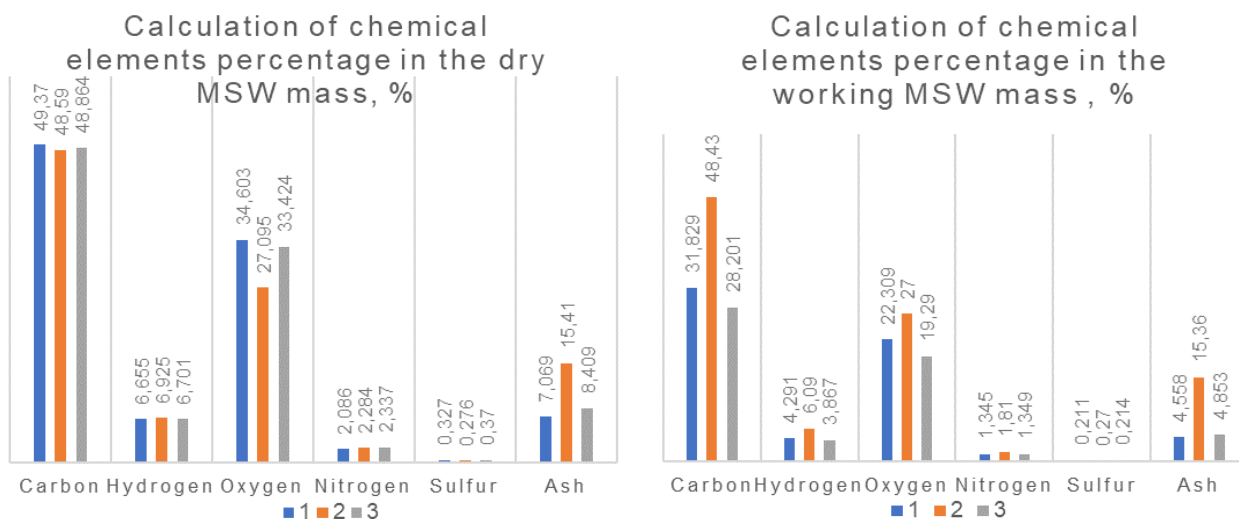


Fig. 1. The results of calculations of chemical elements percentage in the dry and working MSW mass

First of all, we determined the chemical elements percentage in the dry MSW mass and in the working MSW mass (Fig. 1).

On the graph (table 4) we can see the results of the water content in working MSW. The largest amount of water content was in sample № 3 and approximately the same value of water content in samples № 1 and № 2.

Table 4

№ of sample	$W^w, \%$
1	35,529
2	33,89
3	42,287

After that, we held the determination of the specific lower working calorific value of MSW, which is presented in Table 5.

Table 5

№ of sample	$Q_l^w, kJ/kg$
1	11928,908
2	18600,372
3	10419,993

The combustion products are calculated based on the elemental composition of the MSW working mass. The combustion products are solid (ash) and gaseous (flue gas). Flue gas is the mixture of triatomic gases  $RO_2$  ( $CO_2 + SO_2$ ), nitrogen  $N_2$ , water vapour, and excess air.

Table 6

№ of sample	Combustion temperature, °C	Burning capacity, $kJ/kg$
1	1350	4229,599
2	1138	6433,53
3	1234	2894,443

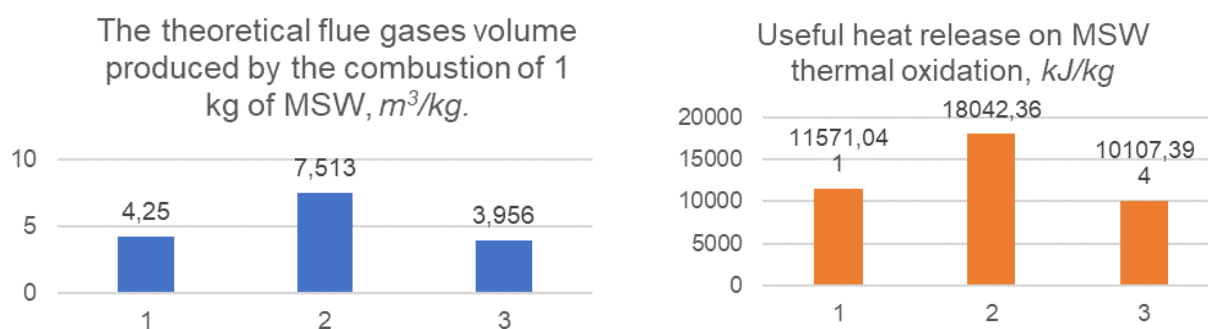


Fig. 2. The results of incineration characteristics calculations

Comparison of the obtained value of the combustion temperature of sample 2 with the recommended one at the output of the CD equal to  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  indicates the need for additional fuel (DTI) to increase the process temperature to the recommended one by adding diesel fuel. To supply additional fuel in the incinerator combustion chamber, an additional burner device is provided.

Combustion temperature of 1 and 3 samples turned out to be above  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ . Then, in order to maintain the recommended temperature, it is necessary either to adjust the morphological composition of MSW, or to supply cooling water (liquid incombustible waste) to the reaction volume through nozzles, which, evaporating, reduces the process temperature to the required one. If necessary, additional cold air can also be supplied.

One of the methods of waste gas heat utilization in the temperature range from 1200°C to the flue gas temperature recommended for a gas cleaning system. It is the use of a heat recovery boiler to obtain additional water vapor and hot water due to the heat being utilized, which are later used for heat and power supply of heating, ventilation, air conditioning, electric power generation, and cold.

We have determined the consumption of useful heat in the form of steam, which can be obtained in the waste heat boiler unit of the thermochemical heat recovery system of MSW, and due to this - fuel savings (carbon footprint) in the replaced boiler plants, following the scenario 1.

Table 7

**Steam turbines characteristics for calculations**

№ of sample	Flue gases heat leakage, $q_2$ %	The gross efficiency of the utilisation boiler, $\eta_{bu}^{gr}$ , %	Savings of the reference fuel in the substituted boiler unit, $\Delta B_{bu}$ , kg/h	The consumption of additional fuel converted to the reference fuel, $\Delta B_{rf}$ , t/y	Flue gases enthalpy of DG combustion, $H_{sgMSW}$ , kJ/kg
1	11,956	80,044	292,795	-	1375,057
2	7,93	84,07	586,82	78,38	2085,77
3	10,429	81,571	321,775	-	1291,61

It should be noted that only for sample №2 we should use additional diesel fuel for the incineration process. Additionally, all samples beneficially work with a counter-pressure steam turbine with the receiving of electricity and heat.

The additionally generated water vapor can be used beneficially for heat and cooling (by means of heat-absorbing absorption chillers) of consumers as well as in steam-power units for generation of mechanical, electrical (by means of electric generator) energy, in case of cogeneration and trigeneration for combined generation of mechanical, electrical, thermal and cooling energy.

Water steam turbine process characteristics, following the scenario 2, are presented below. The method is based on the determination of energy and fuel savings at replaceable thermal power plants, which can be obtained using water vapor energy from the heat recovery system (boiler plant) of thermochemical solid waste disposal in steam turbine plants. In samples 1 and 3, a back-pressure turbine was used, and in 2, a condensing turbine.

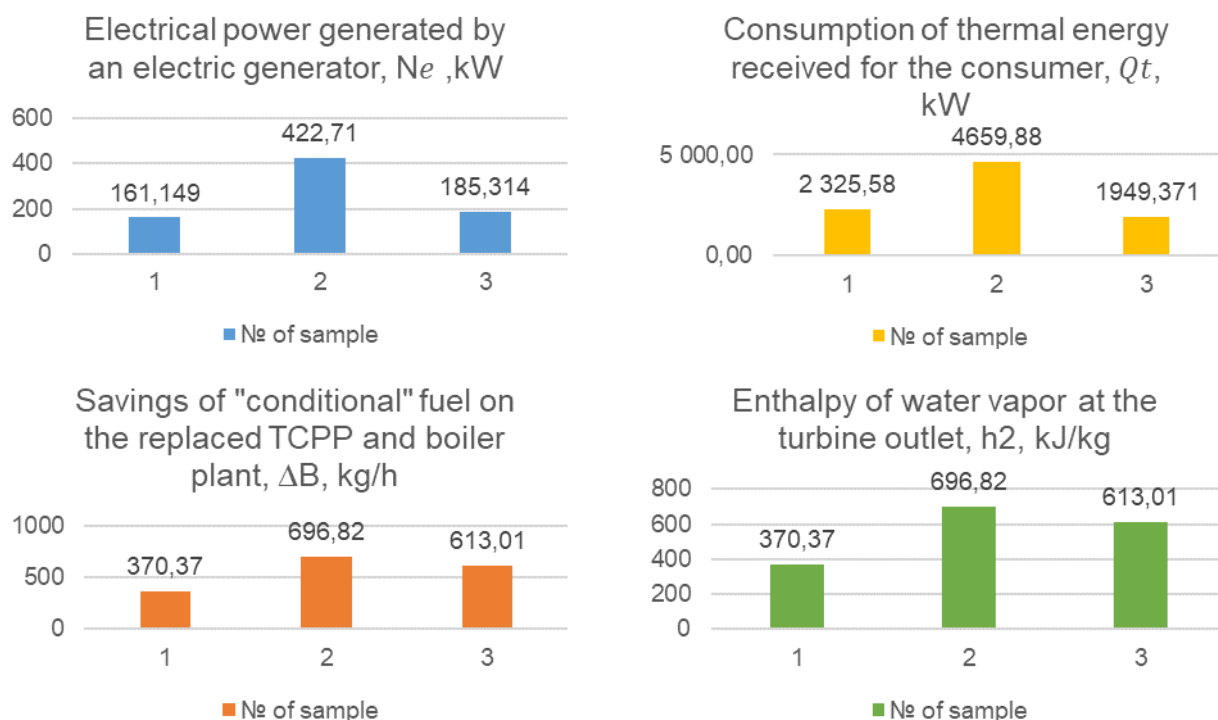


Fig. 3. The results of steam turbine installation characteristics calculations



Eventually, we can emphasize some main conclusion graphs. The graph (Fig. 4) shows that a larger amount of prevented greenhouse gases emissions in all samples can be seen when using a steam installation of the counter-pressure turbine (scenario 2) than using of boiling units (scenario 1).

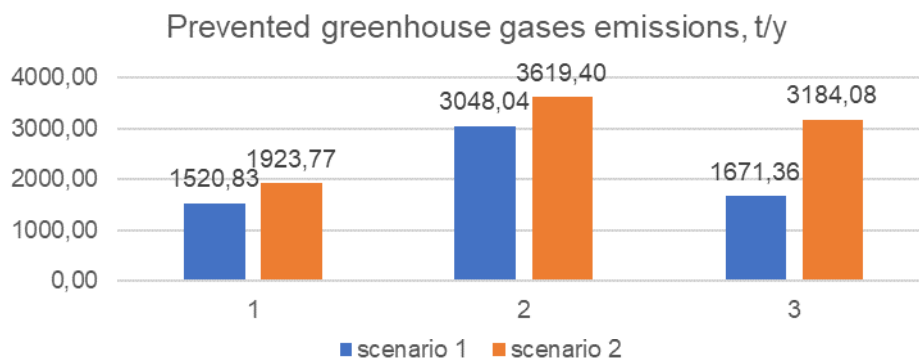


Fig. 4. Prevented greenhouse gases emissions

If you look at the graph (Fig. 5), you can see that savings of "conditional" fuel is larger when using of scenario 2 than scenario 1.

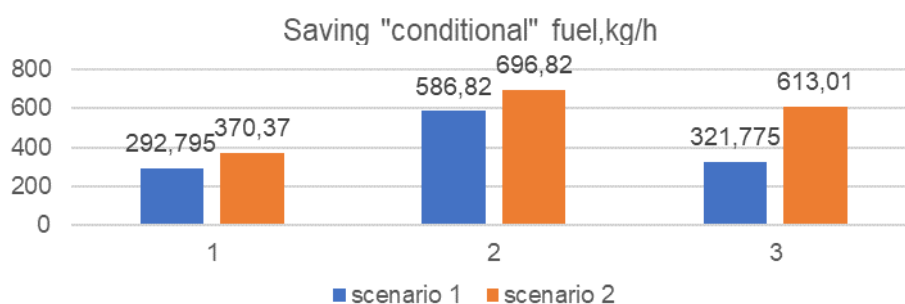


Fig. 5. The comparison between savings of "conditional" fuel of two scenarios

Overall, we can point out the next conclusions:

1. Samples №1 and №3 contain more water, so they have smaller the specific lower working calorific value of MSW. It is reasonable to reduce the moisture of these samples by sorting and excluding of food scraps before incineration, which would increase the specific lower working calorific value of MSW and common effectiveness of following processes.
2. Sample №2 has more prevented greenhouse gases indicator than other samples in both scenarios. For sample № 1 the amount of prevented greenhouse gases emissions following scenario 2 is larger by 20,9% than scenario 1, for sample № 2 – by 15,8% and for scenario № 3 – by 47,5%.
3. The largest savings of "conditional" fuel are presented by sample № 2 following scenarios № 1 and 2, as this sample have less water content and, as a result, bigger the specific lower working calorific value of MSW. Moreover, samples № 1 and 3 present roughly the same results following scenario 1.
4. If the output task is to obtain electricity, then sample 2 is better than other samples, as it receives more than 2 times more energy than other samples.
5. As a result, the process by which the MSW would be treated should be chosen with some recommended characteristics regarding the composition and the content of water. It is useful to find out these characteristics, which may directly determine the most beneficial scenario of MSW treatment. Moreover, it can be useful to determine the recommended characteristics with reference to the region of waste generation.

## References

1. ITS – 9 – 2020 «Utilizaciya i obezvrezhivanie othodov termicheskimi sposobami». – M.: Byuro NDT. 2020. 236 p.
2. Sergienko O., Rakhmanov Y. Course materials «New Energy and Resource-saving Processes in a Circular Economy» // ITMO University. 2022.

УДК 504.05

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВОГО ШЛАМА.  
ОПЫТ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НЕФТЕСЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ  
В РЕШЕНИИ ВОПРОСА И ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*Агафонов А.Р.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Рахманов Ю.А.<sup>1</sup>*

*e-mail:*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: 369700@niuitmo.ru*

---

Рассмотрены состав и структура, а также технологии утилизации бурового шлама, который образуется при бурении разведочных и добывающих нефтегазовых скважин. Приведены описания технологий, необходимых условий и получаемых продуктов. На основании опыта российских и зарубежных компаний в области утилизации шлама проведен сравнительный анализ технологий с точки зрения их экономической выгоды, технической сложности реализации и экологической безопасности. Предложены дальнейшие шаги по исследованию тематики и перспективных направлений.

**Ключевые слова**

Нефтесервисные компании, буровой шлам, утилизация отходов бурения, пиролиз, метод отверждения, перспективные технологии в бурении.

---

На сегодняшний день в Российской Федерации нефтегазовая отрасль является одной из ключевых. Бурение скважин один из первоначальных этапов по получению готовых нефтепродуктов, которые используются физическими и юридическими потребителями. По данным «ЦДУ ТЭК», в 2020 году в России пробурили 28,0 млн метров скважин. Буровой шлам непрерывно образуется в процессе бурения в больших объемах, что требует особых требований к его размещению. Как правило буровой шлам может содержать в себе опасные составляющие, поднятые с глубоко залегающих горизонтов. Шлам требует правильного временного размещения и последующей утилизации, захоронения или переработки.

**Типовой состав и структура бурового шлама при бурении нефтегазовых скважин**

В составе шлама обычно присутствуют глинистый минерал монтмориллонит, который используется для приготовления глинистых буровых растворов, а также кварц, который содержится в разбуриваемых породах. В зависимости от условий бурения в твердой фазе бурового шлама могут содержаться оксиды: кремния (40–60%), алюминия (10–20%), углерода (7–9%), железа (5–8%), кальция (2–5%), калий, магний и натрий (каждый не более 3%) и другие вещества. Жидкая фаза обычно составляет 20–50% от общего объема шлама. В буровом растворе, который взаимодействует с буровым шламом и может оставаться в нем, содержится огромное множество реагентов с различными классами опасности. Так, например, в буровом шламе может содержаться каустическая сода, которая относится ко II классу опасности и другие опасные вещества. Следует учитывать и тот факт, что при бурении в коллекторах, насыщенных газом, нефтью, конденсатом, или же при использовании РУО (растворы на углеводородной основе) в шламе может содержаться некоторое количество углеводородов (до 5%). Важно и то, что в шламы могут попадать радионуклиды, которые содержатся в некоторых разбуриваемых породах, а также тяжелые металлы такие как свинец, ртуть, фосфор, кадмий, цинк, медь, кобальт, которые относят к I и II классам опасности. Объем бурового шлама, который образуется с одной скважины (2000 м) в среднем составляет 500 м<sup>3</sup>.

---

## **Методы утилизации бурового шлама, которые применяются в российских нефтесервисных компаниях**

*Метод отверждения или «смесевые технологии».* Написаны несколько патентов на использование данной технологии с различными добавочными компонентами, а также названиями получаемой строительной смеси: «буролит», «ресоил», «фитонокс», «смесь-МШГ», «техногрунт-S» и другие. Заключается технология в том, что буровой шлам складывается в специальных амбарах, далее к нему добавляют цемент (10–20% от объема шлама), песок (10–20%), карбамидно-формальдегидный пенопласт, известный как пеноизол (10–25%) и при отрицательных температурах – хлористый кальций (2%) [1]. Полученный техногрунт может быть использован при отсыпке дорог, строительстве новых буровых площадок и иногда даже для рекультивации шламовых амбаров. Однако, следует учитывать, что при этом вредные вещества, которые содержатся в шламе остаются в смеси, что может привести к загрязнению окружающей среды.

*Метод пиролиза.* Данный метод часто применяется при использовании бурового раствора на безводной основе (РУО). Технология термического обезвреживания бурового шлама осуществляется на специализированной установке (УТД). В основе производственного процесса лежит процесс пиролиза — способ контролируемого термического разложения исходного сырья без доступа кислорода на необходимые составляющие. Методы термической обработки лучше всего справляются с задачей наиболее эффективного удаления органической составляющей отходов, уменьшения объема и мобильности неорганической составляющей – солей и металлов. Суть термической обработки состоит в уменьшении токсичности и объема отходов. Термические методы обезвреживания бурового шлама являются весьма эффективными в плане локализации ЗВ, но не всегда экономически рентабельными.

## **Перспективные методы переработки бурового шлама и зарубежный опыт решения проблемы**

*Технология «Биошлам»* по физико-химической переработке бурового шлама, разработанная и запатентованная российскими учеными, характеризуется несколькими положительными сторонами. Так, шлам может быть обработан непосредственно в шламовом амбаре независимо от его объема, как заявляют производители, технология позволяет снизить затраты на переработку шлама на 15–20% ввиду отсутствия необходимости в транспортировке шлама до специального места переработки, что несет в себе огромные логистические затраты. Способ довольно быстрый, адаптируемый к конкретным условиям, необходима только доставка специального оборудования на площадку бурения. Суть технологии заключается в трехступенчатой химической обработке шлама в амбаре при использовании специальных перемешивающих устройств, которые представляют собой ячейки, количество которых зависит от величины амбара. Перемешивание помогает исключить наличие «мертвых зон», которые значительно отличаются по составу от однородной структуры получаемого грунта. Сначала добиваются дестабилизации коллоидной системы введением сульфата железа в количестве порядка 1–3% от общей массы бурового шлама до визуально заметного разжижения массы и равномерного структурообразования, далее проводят поглощение полученной массы путем введения вспученного вермикулита 1% масс. и заключительным этапом является введение гуминовых кислот в количестве порядка 1% масс. При этом химико-технологическое воздействие: дестабилизацию, поглощение и введение гуминовых кислот, осуществляют при постоянном перемешивании и контроле значимых параметров до достижения значений ниже предельно допустимых концентраций, а также добавляют грунт с восстанавливаемыми территориями [2].

*Термическая десорбция от Schlumberger.* Другая технология, которая относится к физико-термическим методам переработки бурового шлама запатентована компанией Schlumberger (ныне – SLM) и представляет из себя специальную установку “HAMMERMILL”, в которой реализуется процесс термической десорбции. Сам процесс десорбции основан на прямом механическом нагреве посредством использования дробильно-измельчающего воздействия на шлам. Сочетание высокого механического поперечного усилия и непосредственного теплового

воздействия создает условия, которые способствуют мгновенному испарению воды и углеводородов. В данном типе процесса десорбции отсутствует источник воспламенения, основной процесс – трение. Этой технологии не требуются большие площади и сложные системы для нагрева и поддержания необходимой температуры теплоносителя, например, горячего масла, пара или выхлопных газов. Заявляется, что это быстрый, чистый и эффективный процесс [3].

*Технология VacuDry от Econ Industries.* В основе технологии лежит термическая десорбция бурового шлама, также, как и в установке “ТСС HAMMERMILL” от Schlumberger. Несмотря на это, в данной установке присутствует большее число процессов, которые ведут к более полному разделению загрязнителей и их сбору. Установка VacuDry является вакуумной, а “ТСС HAMMERMILL” вращающейся печью непрямого обжига. В специальной сушильной камере, объем загрузки которой определяется специальными датчиками, происходит первая стадия – фаза испарения воды при 95–110°C, а также давлении 800 мбар. На следующем этапе в камере происходит испарение веществ, температура кипения которых находится в области до 450°C (при н.у.). В камере поддерживается постоянное давление на уровне высокого вакуума – 0,05 бар [4]. Температура нагрева зависит напрямую от физических характеристик загрязняющих веществ. Вращающийся вал внутри камеры обеспечивает нагревание всех частей консистенции. Нагревание камеры происходит при помощи специальных трубок, по которым пускают нагретое синтетическое масло. Испарившиеся вещества проходят фильтр для удаления пыли и других нежелательных частиц, затем поступают в конденсационный блок (теплообменник). Вода и жидкие углеводороды конденсируются по отдельности и попадают в различные емкости для их разделения. Аналогичным способом газ проходит через мощную охлаждающую вакуумную установку, где удаляются ЛОС (летучие органические соединения) и далее через систему активного угольного фильтра отчищается окончательно и может быть выпущен в атмосферу. Очищенный шлам из сушильной камеры поступает далее в охлаждающий бункер, где он может быть дополнительно увлажнен или осушен в камере с непрерывным перемешивателем.

*Получение нанокompозитных материалов.* Суть технологии заключается в применении бурового шлама с содержанием углеводородов, прежде всего после бурения с применением РУО, но и также глиносодержащие растворы, в технологии с получением нанокompозитных материалов, которые имеют огромное значение в различных областях промышленности. С целью получения нанокompозитных материалов используются специальные гидрофильные полимеры такие как Полиамид 6 (ПА6) или полиэтилен низкой плотности Lupolen 1800S. Бентонитовая глина (главным образом минерал монтмориллонит) является слоистым минералом, что обеспечивает возможность расслоения структуры. Между слоями образуется межслойное пространство, которое допускает ионный обмен с органическими и неорганическими катионами, что обеспечивает прочную связь между полимером и металлами в нанокompозитном материале. Измельчение шлама происходит непосредственно на забое скважины при бурении, при его транспортировке к устью и по буровому оборудованию на поверхности. Несмотря на это, буровой шлам необходимо предварительно гранулировать для того, чтобы получить наноразмер частиц, тонкую дисперсию наполнителя в матрице полимера и для получения наноматериала с тонкой текстурой. При помощи механического воздействия происходит образование нанополимера армированного различными частицами. При этом важно уточнить, что в зависимости от расположения нанонаполнителей в полимере будут меняться и свойства готового продукта. Тяжелые металлы и углеводороды, могут оставаться в наноматериале в небольших концентрациях, что может рассматриваться как метод их стабилизации. Полученный прочный нанокompозитный материал может быть использован для производства важной для нефтяной промышленности продукции – гибких труб, антикоррозийных прокладок, уплотнений, что снижает или полностью исключает возможность контакта материалов с людьми [5].

**Сравнительный анализ технологий по утилизации бурового шлама**

С целью проведения сравнительного анализа технологий были выбраны наиболее информативные комплексные показатели. Анализ приведен в табличном виде (таблица).

Важными параметрами являются степень очистки или оставшиеся ЗВ; выбросы при применении технологии; отходы переработки, требующие размещения; получаемые полезные продукты и капитальные затраты, которые отвечают за общую привлекательность технологии.

**Выводы**

*Смесевые технологии* являются привлекательными только с точки зрения дешевизны и простоты. Применение технологии несет в себе опасность распространения загрязняющих веществ на большие расстояния, не учитывает особенности и их концентрации. Технология препятствует применению продуктов более глубокой переработки в промышленности, что могло бы принести дополнительные финансовые поступления.

Таблица

**Сравнительный анализ рассматриваемых технологий по переработке бурового шлама**

Технология	Степень очистки (остаточные ЗВ)	Получаемые полезные продукты	Загрязнение окружающей среды (выбросы)	Отходы	Капитальные затраты
<b>Метод отверждения</b>	ТМ (тяжелые металлы) и УВ остаются в составе получаемого продукта, что никак не снижает степень опасности	Техногрунт для отсыпки дорог и строительных работ	Миграция остаточных ТМ и УВ в водные объекты и воздушную среду. Пеноизол может образовать опасный раствор формалина с водой	Ввиду короткого срока хранения, весь объем может перейти в разряд отходов	Около 12 млн руб. было потрачено на одном из месторождений (3 машины песка и бульдозер). В среднем 2600-3300 руб. за тонну шлама
<b>Пиролиз</b>	Пиролизный газ, жидкие фракции УВ, твердый остаток и тяжелая фракция УВ (мазут) собираются по отдельности. ТМ металлы остаются в твердом остатке	Пиролизный газ используется для работы самой установки; жидкие УВ могут быть использованы или переработаны; котельное топливо; тепло, получаемое в процессе может быть использовано для обогрева помещений	Дымовая труба испускает выбросы, что является источником ЗВ. ТМ в твердом остатке	Твердый остаток содержит ТМ, как утверждает класс опасности остатка не превышает 4	Установка УТД - 2 800–32 млн руб. В среднем около 10000 руб./т. шлама

Продолжение таблицы

Технология	Степень очистки (остаточные ЗВ)	Получаемые полезные продукты	Загрязнение окружающей среды (выбросы)	Отходы	Капитальные затраты
«Биошлам»	Заявляется V класс опасности продуктов, которые соответствуют ГОСТ 25100–2011	Техногрунт, который используют для рекультивации	Ввиду того, что обширные исследования безопасности продуктов отсутствуют, нельзя сказать о транспорте ЗВ с	Заявляется отсутствие отходов	По утверждению производителя, снижение затрат в сравнении с пиролизом составляет 15 – 20% - т.е. около 8500 руб./т. шлама
VacuDry	УВ удаляются полностью, разделяясь на жидкие и ЛОС. Вода также собирается отдельно от других продуктов. Часть ТМ улавливается угольным фильтром на выходе из установки	Углеводородная основа БР может быть собрана для повторного использования. Вода может быть использована в технических целях. Сухой буровой шлам может использоваться для рекультивации и строительства	Практически исключено, определяется лишь количеством оставшихся УВ в сухом шламе и ЗВ в выхлопных газах	Выходящий газ, который после очистки практически не содержит ЗВ	По имеющимся данным на строительство большого завода при применении технологии было потрачено не менее 16,5 млн евро
HAMMER-MILL	УВ и вода эффективно испаряются и, конденсируясь собираются в специальной емкости. Остаточное содержание УВ в твердом шламе < 0,5%	Тех. вода для производственных процессов. УВ основа для повторного приготовления БР. Сухой шлам для строительства или рекультивации	Практически исключено, определяется лишь количеством оставшихся УВ в сухом шламе и ЗВ в выхлопных газах	Отходящие газы	Открытые данные отсутствуют. Предположительная цена переработки за тонну шлама: несколько сотен долларов

Продолжение таблицы

Технология	Степень очистки (остаточные ЗВ)	Получаемые полезные продукты	Загрязнение окружающей среды (выбросы)	Отходы	Капитальные затраты
Получение нанокompозитных материалов	Перед использованием технологии требуется предварительная очистка от ТМ, РН (радионуклиды) и УВ	Прочный нанокompозитный материал, который может быть применим для производства гибких труб, антикоррозийных прокладок, уплотнений	Готовым продуктом практически отсутствует. Однако, ЗВ из бурового шлама требуют дальнейшего размещения или утилизации течением времени	Потенциальные отходы очистки шлама от ЗВ как ТМ, РН и УВ	Технология в разработке. Необходима оценка затрат на измельчение частиц шлама, удаление ЗВ и логистику

*Пиролиз* является перспективным направлением, однако он также не решает полностью задачи нейтрализации и утилизации отходов. При применении технологии УВ фракции теряют свое первоначальное состояние и могут переходить в пиролизный газ, что исключает возможность их использования в качестве восстановленной основы для РУО. *Технология «Биошлам»* является улучшением технологии с применением гуминовых кислот. На данный момент существует ограниченное число исследований применения технологии в конкретных условиях. В получаемом продукте могут оставаться ЗВ, которые способны к миграции в удаленные районы. Продукт также не приносит дополнительной прибыли компании от продажи так как использует только для рекультивации. *Технологии по термической деструкции Hammermill и VacuDry* являются весьма перспективными, так как могут приносить полезные продукты для производства (основа для РУО) и характеризуются низким выходом загрязняющих веществ. Высокая цена зарубежных установок и транспортировка в удаленные районы препятствуют их повсеместному применению. Это создает дальнейший импульс развития технологий с целью уменьшения их цены.

Наиболее интересная с точки зрения автора *технология по производству нанокompозитных материалов*. Она позволяет применять отходы бурения повторно, что может принести дополнительные денежные поступления для буровых компаний, поддерживает концепции циркулярной экономики и устойчивого развития. Важными направлениями исследования являются вопросы предварительной очистки бурового шлама от ЗВ и УВ, применимости технологии в промышленных масштабах, расчета экономической эффективности, капитальных затрат, цен на продукты производства и логистических затрат. Важным вопросом также является рассмотрение изменений свойств продуктов от свойств и состава бурового шлама.

#### Список использованных источников

1. Пат. 2303011 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/04, С04В 16/08, С04В 18/04. Строительный материал "Буролит" / С. В. Пыталев; заявитель и патентообладатель Пыталев Степан Владимирович – №2006135850/03; заявл. 11.10.2006; опубл. 20.07.2007, Бюл. №. 20. 7 с.

2. Пат. 2678141 С1 Российская Федерация, МПК В09С 1/00. Способ утилизации отработанного бурового шлама скважин / М.И. Сердюк; заявитель и патентообладатель Сердюк Михаил Иванович – № 2018111794; заявл. 03.04.2018; опубл. 23.01.2019, Бюл. №. 3. 9 с.
3. Schlumberger. Установка «Offshore ТСС Hammermill System»: каталог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.slb.com/-/media/files/mi/product-sheet/off-tcc-hammermill-ps> (дата обращения: 25.10.2022).
4. Best technology for oily wastes and OBM cuttings in the Middle East-VacuDry vs. rotary kiln. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.environmental-expert.com/articles/best-technology-for-oily-wastes-and-obm-cuttings-in-the-middle-east-vacudry-vs-rotary-kiln-1030761> (дата обращения: 23.10.2022).
5. Adegbotolu U., Njuguna J., Pollard P., Yates K. Waste to Want: Polymer nanocomposites using nanoclays extracted from Oil based drilling mud waste // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2014. №. 64. С. 1–7.



УДК 628.475

## ПОЛУЧЕНИЕ ТОВАРНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПЛАСТИКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ

*Багадурова А.Р.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: bagadurovaaleksandra@gmail.com*

---

В работе рассмотрено применение методов термической утилизации отходов, входящих в список наилучших доступных технологий. В частности, подробно изучен потенциал применения методов пиролиза и газификации пластиковых отходов для получения товарных продуктов, а также изучено промышленное применение каждого из продуктов, получаемых в данных процессах.

### **Ключевые слова**

Пиролиз, газификация, утилизация, пластик, топливо, пластиковые отходы, пиролизное масло, газ пиролиза, пирогаз, синтез-газ, кокс, дизельное топливо, бензин, углеводороды.

---

На сегодняшний день, согласно справочнику ИТС НДТ 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими методами», существует четыре наилучших метода термической утилизации отходов. В число этих методов вошли: газификация, сжигание, пиролиз, а также методы, основанные на применении плазменных источников энергии. Каждый из данных методов может быть использован не только для утилизации ТКО в целом, но также и для утилизации отдельных фракций отходов, например, пластиков. В этом случае при использовании, например, такого метода утилизации, как пиролиз, оказывается возможным получение более качественных и ценных продуктов, которые при последующей очистке могут быть использованы в качестве различной топливной и иной товарной продукции.

Рассмотрение методов термической утилизации оказывается актуальным в связи с ограниченным количеством циклов переработки пластиков, так как после каждого цикла происходит снижение качества пластика. Кроме того, такая утилизация может быть оправдана непрерывным ростом продукции, производимой из пластиков, а следовательно, возрастающей необходимостью её дальнейшей утилизации. Ведь, как известно, именно пластиковые отходы являются одним из основных антропогенных загрязнителей окружающей природной среды.

Однако, стоит отметить, что сжигание и плазменная газификация не являются оптимальными методами для утилизации отходов пластиков с целью получения товарных продуктов. В случае с плазменными методами это объясняется высокой стоимостью плазматронов и большими затратами электроэнергии при эксплуатации установки, поэтому данный метод более целесообразно применять для утилизации ТКО в целом, не затрачивая ресурсы на сортировку. Сжигание в свою очередь, как правило, также проводится для смешанных отходов, кроме того в этом процессе не образуется каких-либо ценных товарных продуктов, а отходящие дымовые газы используются в качестве источника тепла и энергии. Таким образом, можно говорить о том, что пиролиз и газификация в настоящий момент являются наиболее оптимальными методами термической утилизации отходов пластиков с целью получения товарных продуктов. Теперь перейдем к рассмотрению отдельных товарных продуктов, получение которых возможно при утилизации отходов пластиков данными методами.

Качество и состав продуктов, получаемых на выходе с установок напрямую зависят от состава отходов, используемых в качестве сырья, а их фракционные соотношения от проведения процессов термической деструкции, т.е. от подбора таких параметров, как: температура процесса, скорость нагревания, тип реактора, наличие катализатора, время

---

пребывания, давление. В случае газификации влияние на продукты реакции также оказывают тип и количество вводимого в реактор окисляющего агента.

Основными продуктами, образующимися в процессе пиролиза являются: пиролизный газ, масло пиролиза и углеродистый остаток. Их выходы сильно варьируются в зависимости от подаваемых на термическую деструкцию пластиков и условий эксплуатации установки. Основным отличием процессов газификации и пиролиза, является подача воздуха или другого окисляющего агента, например, кислорода, водяного пара или диоксида углерода в газификатор. Окисляющий агент при этом подается в количестве меньшем, чем стехиометрическое, что необходимо для протекания процесса неполного окисления и получения синтез-газа. Кроме того, в случае проведения газификации прибегают к более высоким температурам процесса, а основными продуктами являются синтез-газ, жидкие легкие углеводороды и кокс.

Синтез-газ, получаемый в результате газификации отходов, является основным продуктом данного процесса и в основном состоит из водорода и монооксида углерода. Он также может включать в себя и другие газы, такие как: диоксид углерода, метан и другие углеводороды, кислород и азот. Сам по себе синтез-газ уже является достаточно ценным продуктом, так как в настоящий момент его используют для производства энергии, получения метанола, аммиака, жидких углеводородов в процессе Фишера–Тропша и карбонильных соединений в результате оксосинтеза.

Газ пиролиза может иметь разнообразный состав. В некоторых случаях газ состоит в основном из метана, этана, пропана и бутана, но также он может включать в себя и другие углеводороды такие, как этилен, пропилен и бутадиен. В зависимости от условий процесса, состава сырья и выбранного катализатора газ пиролиза также может включать в себя различные количества газов не являющихся углеводородами таких, как: водород, монооксид углерода, диоксид углерода и кислород. Обычно, этот продукт используется в качестве источника энергии, обеспечивающей проведение процесса пиролиза и энергетическую автономность установки. Для увеличения выхода газового продукта прибегают к быстрому нагреванию и высоким температурам процесса.

Возможно отделение и извлечение ценных компонентов газа, т.е. отдельных олефинов, для дальнейшей химической переработки. Так, например, используя этилен полученный в результате пиролиза отходов полиэтилена можно получить этанол. Как известно, этот спирт имеет широкий спектр применений. Этанол не только используется, как растворитель, консервант, дезинфицирующее средство, он также является реагентом и применяется для получения таких веществ, как уксусная кислота и этиловые эфиры. Также возможно добавление небольших количеств этанола в бензин для повышения октанового числа. Кроме того, возможно отделение отдельных фракций углеводородов из газа пиролиза. Так, например, могут быть выделены этан-этиленовая и пропан-пропиленовая фракции.

Синтез-газ и газ пиролиза могут быть использованы для получения водорода, который в настоящий момент производится паровым риформингом метана. Так, несколько исследовательских групп использовали газ пиролиза пластиков при проведении процесса каталитического парового риформинга вместо природного газа, также ими было изучено влияние различных типов катализаторов на выход водорода [1].

Легкие углеводороды, являющиеся одним из продуктов газификации, представляют собой ценность, так как при их разделении можно получить такие виды топлива, как бензин и дизель. Пиролизное масло также является прекрасным источником бензина и дизельного топлива и, как правило, оно является целевым продуктом пиролиза. Выходу большего количества жидких фракций способствует проведение процесса быстрого пиролиза [2], а более высокая температура способствует получению менее воскообразных и более маслянистых соединений, что объясняется превращением длинноцепочечных парафинов/олефинов в более короткие молекулы. Качественная оценка пиролизного масла показывает, что высокая температура способствует увеличению производства бензина, что соответствует более высокой концентрации ароматических соединений [3]. Оптимальная температура пиролиза для термического разложения пластмассовых отходов в жидкое топливо находится в диапазоне 450–700°C.

Использование катализатора во многом помогает протеканию процесса пиролиза и способствует уменьшению температур необходимых для проведения термической деструкции до 230–350°C. В том случае, если температура процесса составляет 230–450°C, увеличивается выход жидких продуктовых фракций, но также присутствует некоторое количество газовых компонентов. При более высоких температурах (450–700°C) вместе с пиролитической жидкостью образуется значительное количество газа. Также используя в процессе пиролиза катализатор, можно повысить октановое число бензиновой фракции, за счет увеличения выхода ароматических углеводородов [4].

С помощью установки депарафинизации из пиролизного масла возможно выделить парафиновую фракцию, которая может включать в себя водянистые, твердые и микрокристаллические парафины, а также церезины. Все они имеют широкий спектр применения в промышленности, например, используются при производстве спичек, вазелина, свечей, смазок, изоляционных материалов, парафинового масла, котельного топлива и т.д.

Возможно также получение смазочных масел на основе масла пиролиза. Например, Миллер и др. [5] рассмотрели возможный способ преобразования тяжелой фракции углеводород, полученной в результате пиролиза пластиковых отходов, в смазочные масла. В своем исследовании они подвергли тяжелые углеводороды гидроочистке, а затем провели каталитическую депарафинизацию и изомеризацию. В результате этого им удалось получить смазочное масло, обладающее индексом вязкости 160 единиц, что сопоставимо с индексами вязкости производимых синтетических моторных масел.

Углеродистый остаток или кокс, как правило, не является целевым продуктом в процессах пиролиза и газификации, однако этот продукт также нашел свое применение в промышленности. Количество кокса на выходе с установки пиролиза уменьшается при увеличении температуры, добавлении катализатора, уменьшении времени пребывания и скорости нагревания. Многочисленные исследования показывают, что кокс, полученный при термической деструкции пластиковых отходов, может применяться, например, в таких целях, как:

- сорбционная очистка сточных вод. В этом случае кокс используют для получения углеродных сорбентов, предназначенных для удаления органических и неорганических веществ из сточных вод;
- производство адсорбентов, применяемых при хранении природного газа;
- получение нанопористых адсорбентов, используемых в качестве электродного материала в суперконденсаторах;
- производство пористых углеродных нанолитовых материалов с отличными эксплуатационными характеристиками, которые применяются при хранении водорода;
- производство пигментов, применяемых в лакокрасочной промышленности и при изготовлении красок для типографий;
- производство анодной массы, необходимой для выплавки алюминия;
- изготовление графитированных электродов, применяемых в таких электротермических процессах, как сварка и резка;
- получение модифицирующих добавок, которые при добавлении в битум улучшают свойства асфальтобетонных смесей.

В результате проведенного теоретического исследования можно сделать вывод о том, что методы пиролиза и газификации в настоящий момент являются оптимальными методами утилизации пластиковых отходов с целью получения товарных продуктов. Кроме того данные методы обладают большим потенциалом применения, так как с их помощью возможно получить множество разнообразных продуктов, в настоящий момент используемых человечеством, но производимых иными способами.

#### **Список использованных источников**

1. Williams P. Hydrogen and Carbon Nanotubes from Pyrolysis-Catalysis of Waste Plastics: A Review // Waste and Biomass Valorization. 2021. V. 12. №. 3. Pp. 1–28.

2. Heydariaraghi M., Ghorbanian S., Hallajisani A., Salehpour A. Fuel Properties of the Oils Produced from the Pyrolysis of Commonly-Used Polymers: Effect of Fractionating Column // J. Anal. Appl. Pyrolysis. 2016. V. 121. Pp. 307–317.
3. Jung S.-H., Cho M.-H., Kang B.-S., Kim J.-S. Pyrolysis of a Fraction of Waste Polypropylene and Polyethylene for the Recovery of BTX Aromatics Using a Fluidized Bed Reactor // Fuel Process. Technol. 2010. V. 91. №. 3. Pp. 277–284.
4. Rehan M., Miandad R., Barakat M., Ismail I. et al. Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil // International Biodeterioration and Biodegradation. 2017. V. 119. Pp. 162–175.
5. Miller S.J., Shah N., Huffman G.P. Conversion of Waste Plastic to Lubricating Base Oil // Energy & Fuels. 2005. V. 19. №. 4. Pp. 1580–1586.

УДК 504.064.47

## ВКЛЮЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ СХЕМУ ЛИНИИ СОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ УЗЛА ОТБОРА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

*Барабанова А.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – преподаватель Забелина А.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: angelina99@mail.ru*

---

В работе рассмотрена проблема сбора литий-ионных аккумуляторов, поступления и отбора на полигонах и их дальнейшей утилизации. А также предложение по организации поста извлечения литий-ионных аккумуляторов из твердых коммунальных отходов на примере линии по переработке и утилизации отходов ООО «Новый Свет-ЭКО».

### **Ключевые слова**

Литий-ионные аккумуляторы, утилизация, пост извлечения отходов, твердые коммунальные отходы, линия сортировки.

---

Проблема утилизации ЛИА (литий-ионных аккумуляторов) на сегодняшний день является одной из актуальных. Большинство электронных устройств, которыми человек пользуется в бытовой среде, используют портативные источники электропитания – аккумуляторные батареи и одноразовые батарейки. Срок службы данных средств электропитания ограничен 3-10 годами, поэтому вопрос об их дальнейшем сборе, обработке, утилизации или обезвреживании встает остро [1]. Несмотря на то, что уже разработаны технологии извлечения и вторичного использования лития, литиевых солей и органических растворителей, фактически утилизация аккумуляторных батарей не доступна повсеместно. Кроме того, существует большая проблема с поступлением отработанных батарей, утративших потребительские свойства, в твердые коммунальные отходы. Потребители данной продукции игнорируют информацию, указанную на корпусе ЛИА, о необходимости отдельного накопления батарей и категорического запрета на совместное с твердыми коммунальными отходами (ТКО) накопление. Таким образом, встает еще одна проблема – обеспечение извлечения ЛИА из массы ТКО, поступающих на обработку/утилизацию или размещение, а также проведение общественно-просветительской работы среди населения по недопущению попадания ЛИА в состав ТКО.

Актуальность темы исследования связана с тем, что на законодательном уровне закреплена обязанность операторов по обращению с ТКО осуществлять извлечение отработанных источников питания, преимущественно, пальчиковых батареек, и передавать на утилизацию/обезвреживание федеральному оператору по обращению с отходами I и II классов опасности. При этом методические рекомендации, как организовать процесс изъятия аккумуляторов, не разработаны.

По мере расширения сферы применения ЛИА растет и ассортимент их конструкций и композиций. Это приводит к дальнейшей диверсификации потоков электронных отходов, в том числе, в составе ТКО, что может усложнить процессы изъятия ЛИА и их дальнейшей переработки. Помимо размера и формы, батарей могут значительно различаться по своему компонентному составу, и это также будет оказывать на технологии утилизации данных отходов. Например, катодные материалы в литий-ионных батареях колеблются. В настоящее время фиксируется переход от кобальта к соединениям фосфата марганца и железа [2].

Важную роль в реализации программы исключения ЛИА из ТКО могут играть федеральные нормативные акты, а также корпоративные и локальные, которые чаще всего

---

связаны с экологической и экономической политикой конкретных предприятий и вторичными рынками сбыта. Отмечается, что в некоторых местах общественного назначения (торговые центры, гипермаркеты и т.д.) установлены специальные контейнеры, где осуществляется сбор отработанных ЛИА и других видов батарей от населения. Следует отметить, что сдача батареек в такие места временного накопления или пункты приема характерна лишь для небольшого процента населения. Причины низких цифр сбора связаны с недостаточной осведомленностью населения о вреде батареек в составе ТКО, с удаленностью от мест сбора ЛИА, с отсутствием привычки сортировать отдельно отходы разных фракций с целью «облегчить» свое мусорное ведро и сократить количество отходов, поступающих на захоронение. Большая часть отходов батареек либо остается на предприятиях или в жилищах, либо попадает в поток ТКО. При этом, очень многие выброшенные батарейки, обнаруженные в составе ТКО или предназначенные для выбрасывания как утратившие потребительские свойства, имели в своем составе до 60% зарядной мощности, то есть не выработали свой ресурс.

Так или иначе, постановление Правительства РФ от 12 ноября 2016 г. №1156 «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства РФ от 25 августа 2008 г. № 641» [3] предписывает извлекать батарейки из ТКО. Однако технология, которая позволяла бы эффективно осуществлять этот процесс, не указана. Проблема осложняется тем, что батарейки преимущественно имеют очень маленький размер, не более 1 см в окружности и не более 7 см в длину.

Рассмотрим далее предложение по организации поста извлечения ЛИА из ТКО на примере линии по переработке и утилизации отходов ООО «Новый Свет-ЭКО».

На предприятии ООО «Новый Свет-ЭКО» в линии сортировки отсутствует узел сбора аккумуляторов. Схема сортировки твердых коммунальных отходов представлена на рисунке 1.

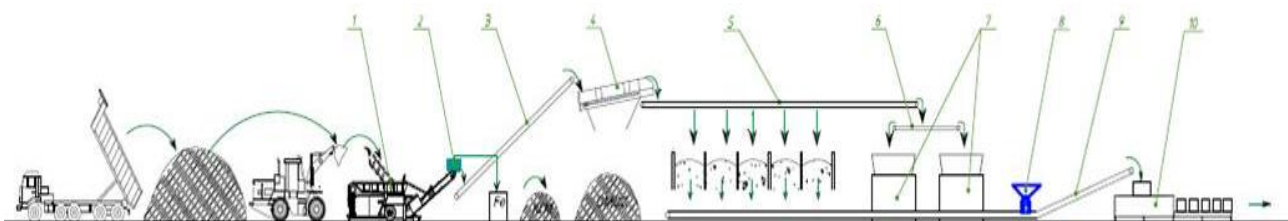


Рис. 1. Схема сортировки отходов ООО «Новый Свет-ЭКО» [4]

Сортировка на линии «Новый Свет» происходит таким образом, что мусоровоз изначально разгружает отходы, после чего они перемещаются на конвейер. Далее проходят через устройство с функцией разрывания пакетов и магнитный сепаратор, который отделяет отходы черного металла, преимущественно банки из-под напитков (алюминий). Далее отходы по конвейеру проходят через сито с ячейей 8 см. На схеме рисунке 2 сито обозначено цифрой «4». После сита путем грохотания отделяется органо-минеральная фракция, которая затем, по мере накопления транспортной партии, поступает на участок компостирования с целью производства грунта техногенного. Учитывая, что размер «пальчиковых» батареек меньше ячеей сита, они могут проваливаться в органо-минеральную смесь, предназначенную для компостирования. Это означает, что конечный продукт (техногрунт) может содержать повышенное количество тяжелых металлов и их солей за счет нарушения целостности корпуса батарейки и протечек электролита. В случае обнаружения наличия батареек в техногенном грунте, вся партия может быть признана непригодной. Химический состав грунта и наличие в нем тяжелых металлов определяются путем проведения лабораторных исследований почвы. При отборе проб используется метод конверта, пробы отбираются в нескольких точках с разных сторон сформированного бурта [4].

Возвращаясь к линии сортировки: после прохождения сита отходы с компонентами разорванных пакетов попадают в климат-кабину, где методом ручной сортировки отбираются различные фракции вторичных материальных ресурсов. Для накопления этих ценных фракций

под климат-кабиной установлены отсеки в количестве 5 штук для сбора вторичного сырья (стекло, полимеры, бумага, картон). В конце конвейера расположены 2 больших отсека, которые представляют собой пресс-бункеры предназначенные для «хвостов» сортировки ТКО, то есть не утилизируемой фракции, которая направляется на полигон на размещение. Также в конце линии расположен пресс с автоматическим кипованием и обвязкой для подпрессовки и упаковки вторичного сырья с целью формирования транспортной партии и последующей продажи потребителю или использования в собственных технологических процессах, например, для производства полимер-композитных изделий [4].



Рис. 2. Блок-схема линии сортировки отходов

Аккумуляторы с помощью такой линии сортировки отобрать невозможно, поэтому необходимо разработать технологическое решение, которое бы справлялось с отбором аккумуляторных батарей.

Магнитный сепаратор, уже установленный на рассматриваемой линии сортировки твердых коммунальных отходов, мог бы справиться с отбором аккумуляторов, если бы аккумуляторы имели металлический корпус, но так как он из пластика или же алюминия (парамагнетик), аккумуляторы не отбираются.

Возможным решением может стать установка баллистического сепаратора сразу после отсеков для вторсырья, который будет отбрасывать аккумуляторы и не даст им попасть отсеки для хвостов сортировки.

Ниже на рисунке 2 представлена разработанная блок-схема сортировки отходов для предприятия ООО «Новый Свет-ЭКО».

Как видно из блок-схемы, решением предусматривается установка поста перед ситом, чтобы предотвратить дальнейшее попадание ЛИА в компостируемую смесь. Для корректной работы линии сортировки в правовом поле необходимо разработать паспорт опасного отхода на ЛИА, отделяемые в процессе сортировки, рассчитать нормативы их образования и разработать проект НООЛР. На предприятии приказом руководителя должен быть закреплен ответственный по обращению с отходами I-II классов опасности, который будет взаимодействовать с ФГУП «ФЭО» по вопросам передачи отработанных аккумуляторов на утилизацию. Затраты, которые предприятие потратит на транспортирование и утилизацию/обезвреживание ЛИА, должны быть внесены в тариф на обработку ТКО. В противном случае оператор по обращению с ТКО, осуществляющий сортировку, понесет затраты за счет своих собственных средств, что, с учетом затрат на установку дополнительного поста для отбора ЛИА и других батарей, будет не

рентабельно. Одновременно с этим, при росте тарифа на обработку ТКО, что произойдет вследствие включения затрат на утилизацию/обезвреживание ЛИА, закономерно произойдет рост тарифа на вывоз мусора для населения. Поэтому вопрос организации точки отбора источников питания из ТКО требует тщательной проработки на разных уровнях: технологическом, экологическом, экономическом, юридическом.

#### **Список использованных источников**

1. Проблема утилизации батареек в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35567581> (дата обращения: 15.01.2023).
2. Катодные материалы в литий-ионных аккумуляторах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/74947/> (дата обращения: 15.01.2023).
3. Постановление Правительства РФ от 12 ноября 2016 г. № 1156 «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71540160/> (дата обращения: 15.01.2023).
4. Технологический регламент комплекса по использованию отходов «Новый Свет». Новый свет. 2018. 19 с.



УДК 628.3

## СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННОЙ И МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ КОМБИНАТОВ

*Вертелецкий Е.Д.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: Verteletckii.Evgenii@yandex.ru, oisergienko@yandex.ru*

---

В работе рассматриваются две системы очистки сточных вод на предприятиях по производству целлюлозы, бумаги и картона: традиционная, используемая на отечественных предприятиях и модернизированная, представленная на зарубежных заводах данной отрасли. Были выявлены сильные и слабые стороны каждой схемы очистки и предложена наиболее предпочтительная технология очистки сточных вод.

### **Ключевые слова**

Целлюлозно-бумажная промышленность, очистка сточных вод, загрязненные стоки, сбросы, очистные сооружения.

---

Российская Федерация располагает огромной лесосырьевой базой. Запас древесины составляет 20% от общемирового. При этом лесной комплекс занимает незначительное место в экономике страны. Вклад в ВВП составляет 0,75% и 2,4% – в объеме промышленного производства. Однако объем сбросов сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности в 2020 году составил 37,3% по всем обрабатывающим производствам и 6,0% по России в целом [1]. Можно сделать вывод, что лесопромышленные комплексы и производители целлюлозы, бумаги и картона являются одними из крупнейших загрязнителей водных объектов, а изучение и модернизация методов и сооружений для очистки сточных вод является приоритетным направлением экологизации целлюлозно-бумажного производства. Для выпуска продукции потребляются значительные объемы водных, лесных и энергетических ресурсов, и поэтому вопрос экологичности данной отрасли всегда стоит особенно остро.

Целью данной работы является сравнение двух схем очистки стоков целлюлозно-бумажных предприятий (ЦБП): традиционной и модернизированной. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Изучить технологию и оборудование традиционной схемы очистки на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса (ЛПК).
2. Проанализировать зарубежный опыт очистки сточных вод ЦБП.
3. Разработать предложения для модернизации очистных сооружений Сыктывкарского ЛПК.

В традиционной технологии очистки сточных вод, представленной на рисунке 1, которая применяется на Сыктывкарском ЛПК, процесс очистки сточных вод начинается с механической очистки: решетки, для задерживания крупных включений и песколовки, где песок и другие взвешенные частицы отделяются с помощью осаждения.

Загрязненные стоки поступают на первичные отстойники, где за продолжительное время отстаивания около двух часов успевают осесть на дно отстойника даже самые мелкие взвеси, после чего сточные воды уже без мелких частиц, песка и волокон направляются на стадию биологической очистки. Перед аэротенком в стоки добавляются питательные вещества: азот и фосфор, для питания микроорганизмов на стадии биологической очистки. Процесс биохимического разрушения органических загрязнений в аэротенках происходит под воздействием биоценоза, основную роль при этом играют бактерии, обладающие способностью

---

образования колоний, – активный ил [2]. Для протекания биохимических реакций в аэротенк подается большое количество воздуха, требуемое аэробным микроорганизмам для синтеза и жизни. После аэротенка активный ил отделяется от сточных вод посредством отстаивания во вторичных отстойниках. После отделения одна часть активного ила проходит через илоуплотнители, где его концентрация увеличивается до 3%, после чего осадок сточных вод высушивается и утилизируется. Вторая часть активного ила возвращается в аэротенк. Степень регенерации составляет около 50%. Очищенные стоки далее направляются на доочистку от мелких частиц активного ила, проходя через фильтры.

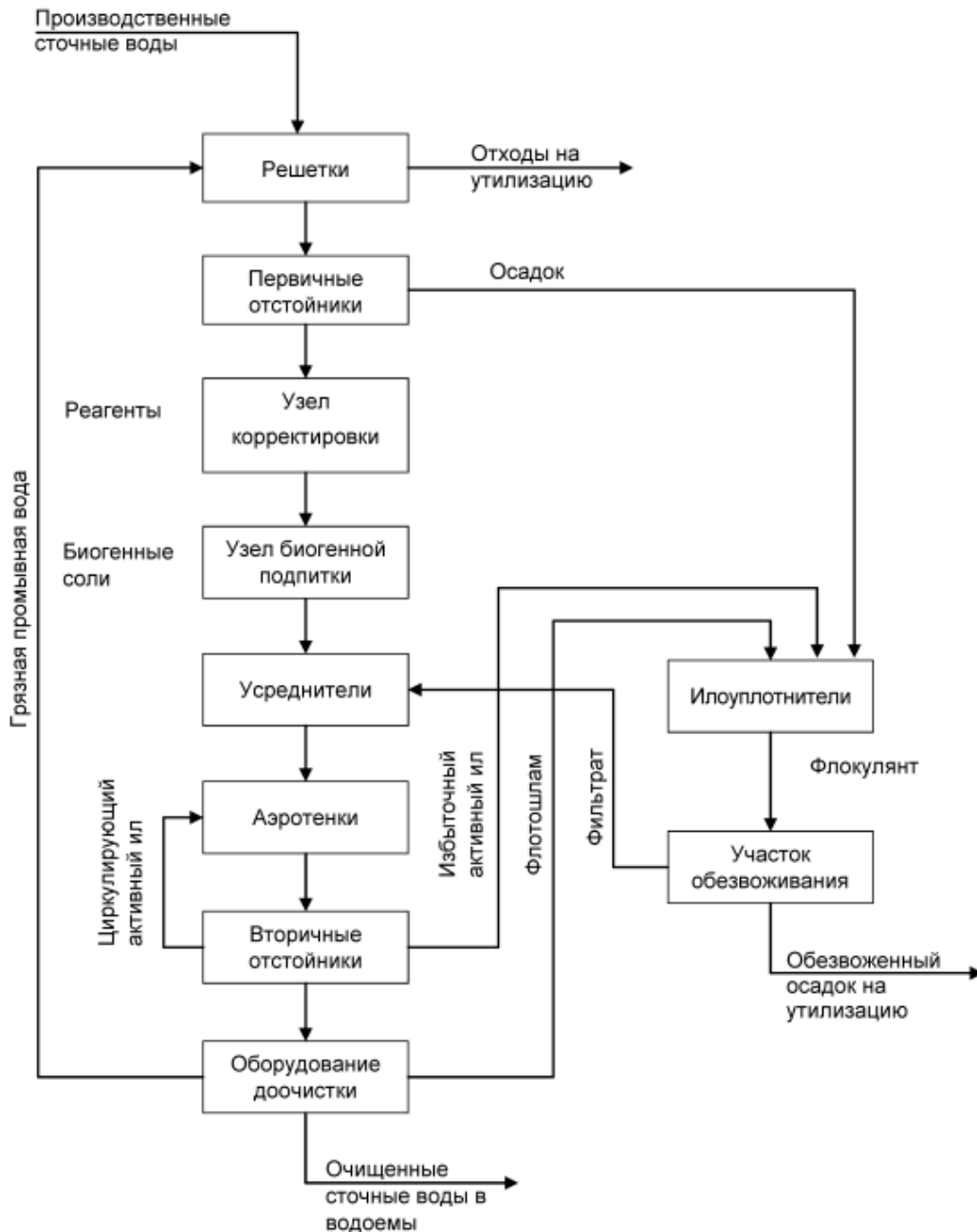


Рис. 1. Схема традиционной очистки сточных вод на целлюлозно-бумажных предприятиях

Достоинствами данной технологии, проверенной временем, являются: простота технологии, основные узлы – это железобетонные емкости, стойкие к внешним условиям и составу стоков, а также простота и дешевизна ремонта оборудования. К недостаткам можно отнести: чувствительность процесса – если загрязнения неравномерны по составу, систему сложно адаптировать для качественной очистки. Низкая степень автоматизации процесса,

применение показывающих датчиков и приборов не позволяют принимать решения без оператора. Очистные сооружения занимают большую площадь.

В модернизированной схеме очистки стоков, показанной на рисунке 2, которая часто применяется на передовых предприятиях ЦБП за рубежом, основной ступенью также является биологическая очистка, но другие этапы значительно отличаются.

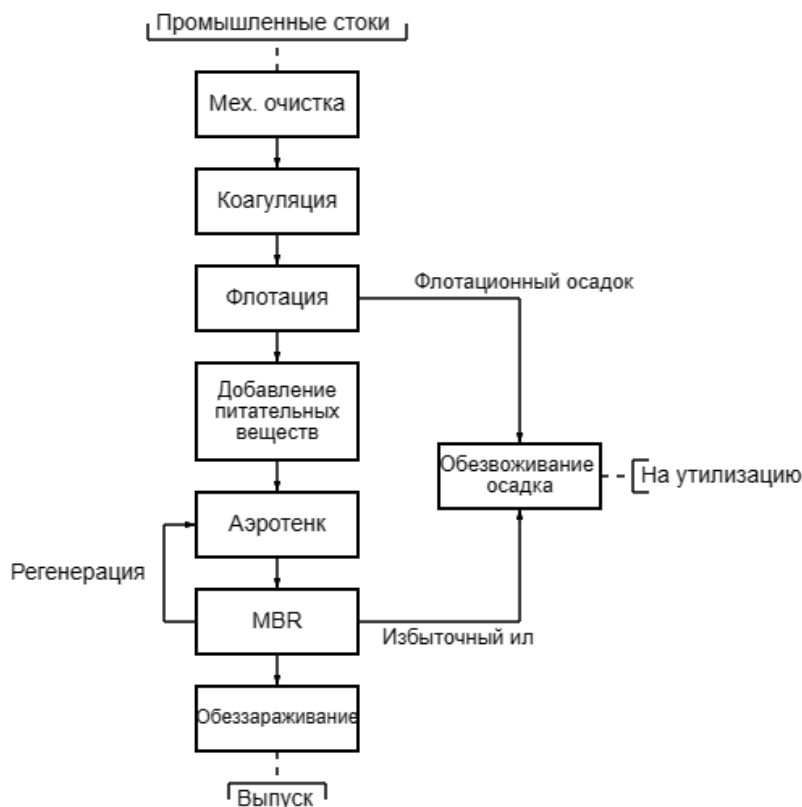


Рис. 2. Схема модернизированной очистки сточных вод на целлюлозно-бумажных предприятиях

Сначала стоки поступают на механическую очистку. Они проходят через барабанные сита, где от них отделяются крупные включения. После механической очистки промышленные стоки направляются во флокулятор, где к воде добавляют коагулянт и флокулянт для укрупнения частиц загрязнений [3]. Далее следует напорный флотатор, где уже очищенная вода насыщается воздухом и смешивается с загрязненной водой в корпусе флотатора. Микропузырьки воздуха размером 20–50 мкм, налипая на частицы грязи, выносят их на поверхность, образуя слой пены (флотационный осадок), собираемый со всей поверхности скребковым механизмом [4]. После добавления питательных веществ и прохождения биохимического разложения загрязнений в аэротенке стоки поступают в мембранный биореактор, где мембрана с размером пор 0,2 мкм пропускает только чистую воду, не пропуская дальше микроорганизмы активного ила [5]. Часть его, в свою очередь, идет на регенерацию, возвращаясь в аэротенк, а часть поступает на стадию обезвоживания на шнековых фильтрах вместе с осадком флотации, где от этой смеси отделяется вода, и шлам отправляется на утилизацию. Сток проходит ультрафиолетовое обеззараживание, после чего обеззараженный сток сбрасывается в водоем.

К достоинствам схемы можно отнести высокую степень автоматизация всего процесса очистки, небольшую занимаемую площадь и низкие затраты на строительство, а также широкий диапазон концентраций загрязнений на входе на очистку. Недостатки заключаются в следующем: эксплуатационные затраты незначительно превышают затраты в традиционной схеме очистки.

В работе были рассмотрены две технологии очистки загрязненных сточных вод ЦБП: традиционная, на примере Сыктывкарского ЛПК, и уже долгое время используемая на

российских предприятиях, и модернизированная, включающая более современное аппаратное оформление, и часто встречающаяся на крупных зарубежных предприятиях. Были рассмотрены достоинства и недостатки схем очистки.

На основе выполненных расчётов получено, что для Сыктывкарского ЛПК модернизированная схема обеспечит ряд ключевых преимуществ по сравнению с существующей традиционной схемой, а именно: уменьшение на 40% территории, занимаемой очистными сооружениями, достижение практически полной автоматизации процесса, увеличение возможного диапазона концентраций загрязняющих веществ на входе на очистку, а также уменьшение на 30% затрат на строительство новых сооружений по сравнению с капитальным ремонтом существующей схемы.

#### **Список использованных источников**

1. Информационно–технический справочник по наилучшим доступным технологиям. // Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://burondt.ru/NDT/docs/paper/index.html#\\_Точ437435726](http://burondt.ru/NDT/docs/paper/index.html#_Точ437435726) (дата обращения: 13.12.2022).
2. Комарова Л.Ф, Полетаева М.А. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности // учебное пособие – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. 2010. 174 с.
3. Hubbe M., Metts J., Hermosilla D., Blanco A., Yerushalmi L., Haghghat F., Khodaparast Z., Kamali M., Elliott A. Wastewater Treatment and Reclamation // A Review of Pulp and Paper Industry Practices and Opportunities. Bioresources. 2016. Vol. 11. Pp. 7953–8091.
4. Pokhrel D., Viraraghavan T. Treatment of pulp and paper mill wastewater // Science of The Total Environment. 2004. Vol. 333. №. 3 Pp. 37–58.
5. Mainardis M., Buttazzoni M., De Bortoli N., Mion M, Goi D. Evaluation of ozonation applicability to pulp and paper streams for a sustainable wastewater treatment // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 258. №. 10. Pp. 54–72.

УДК 502.35

**ВЫЯВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ ВИДОВ ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ***Габидулина З.А.<sup>1</sup> (студент)**Научный руководитель – Данилюк М.А.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

В работе рассмотрен состав твердых коммунальных отходов (ТКО) и отдельное внимание уделено отходам от использования товаров и упаковки (ОИТ), которые составляют большую часть объема ТКО. Одноразовая посуда относится к ОИТ и в статье рассмотрены наиболее популярные виды используемой упаковки, а также ее состав. Полученная информация необходима для проведения оценки жизненного цикла одноразовой посуды с целью разработки оптимальных механизмов для предотвращения и минимизации негативного воздействия от ее использования.

**Ключевые слова**

Одноразовая посуда, упаковка, отходы от использования товаров и упаковки, состав одноразовой посуды.

В Санкт-Петербурге ежегодно образуется более 2 млн. тонн твердых коммунальных отходов. Отходы, которые образуются от деятельности ресторанов быстрого питания, попадают в общий поток твердых коммунальных отходов (ТКО) и в последствии возникают сложности с их извлечением из него, а также с дальнейшей утилизацией. В состав отходов мест общественного питания входят фракции, относящиеся к отходам от использования товаров (ОИТ), которые в общей массе ТКО занимают 49% по весу и 77% по объёму [1].

Организация Greenpeace в России провела исследование несортируемых отходов после обработки ТКО на мусоросортировочных комплексах в пяти субъектах РФ (Егорьевск, Нижний Новгород, Ижевск, Новосибирск). В общей массе исследуемых отходов было выделено 73 вида упаковки из них 54,2% это одноразовые изделия. При изучении одноразовой упаковки было установлено, что большая часть изделий как по весу, так и по объёму изготовлена из полимерного сырья. При сортировке одноразовой пластиковой упаковки, наибольшую роль по весу и массе из предметов одноразовой посуды вносят контейнеры и подложки. Также сотрудники и волонтеры Greenpeace составили топ-20 наиболее популярных видов упаковки. Из одноразовых изделий по массе лидируют упаковочные коробки из картона и бумаги, а по объёму пластиковые контейнеры от еды [2].

Большой вклад в образование отходов упаковки вносят сервисы быстрого питания. Структура спроса на одноразовую посуду по данным компании «Алмин» представлена на рисунке 1 [3].



Рис. 1. Количественное распределение спроса на одноразовую посуду

Анализ лидирующих позиций среди одноразовой посуды провела компания «Триал Маркет». Исследование показало, что наиболее популярными изделиями являются бумажные стаканы и пластиковые контейнеры. Структура спроса на посуду из бумаги и полимеров представлена на рисунке 2 [4].

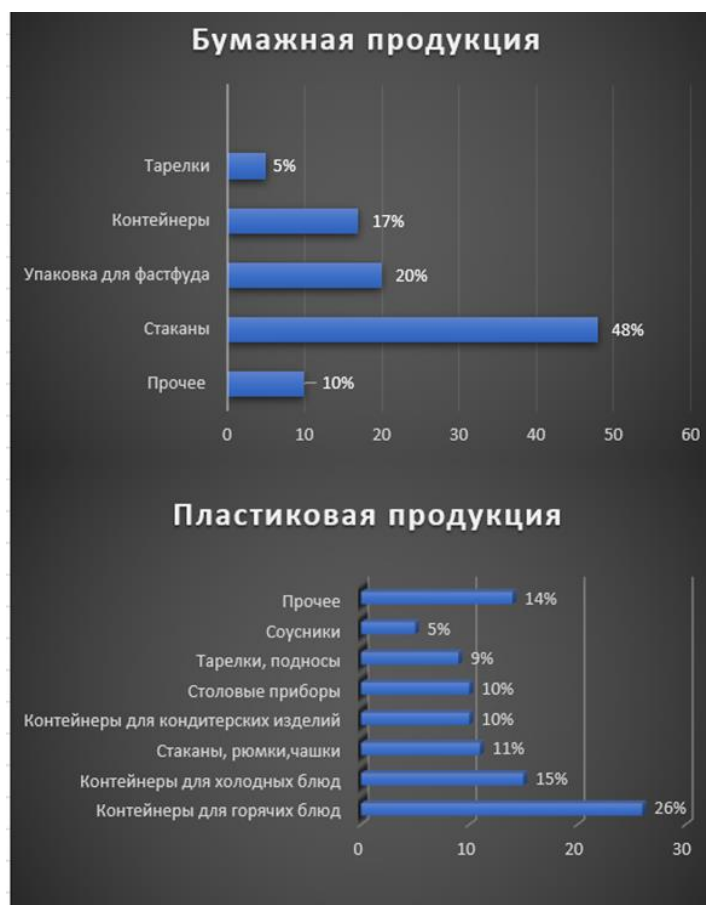


Рис. 2. Лидеры продаж в категории одноразовой бумажной посуды и упаковки для HoReCa

Исходя из анализа отходов от использования товаров и упаковки, а также анализа лидеров продаж одноразовой посуды можно сделать вывод, что наиболее активно влияющими фракциями на состав ТКО являются: бумажные стаканы и контейнеры, оберточная бумага и пластиковые контейнеры для еды.

Рассмотрим составы одноразовых изделий:

#### 1. Бумажный стакан.

Самый популярный объем бумажного стаканчика — 250 мл. При изготовлении изделия необходимо учитывать технологические нужды, поэтому в расчет пойдет картонная заготовка на объем 260 мл. Параметры картонной заготовки составляют:

- 1) высота 88 мм;
- 2) верхний диаметр 77 мм;
- 3) нижний диаметр 55 мм;
- 4) площадь боковой поверхности 20000 мм<sup>2</sup>;
- 5) площадь дна стакана 5041 мм<sup>2</sup>.

Плотность картона для дна стакана рекомендуют от 190 г/м<sup>2</sup> до 230 г/м<sup>2</sup> [6]. Вес дна стакана при плотности картона 190 г/м<sup>2</sup> составит 0,957 г. Рекомендуемая плотность картона для стенки стакана 268 г/м<sup>2</sup>, следовательно, вес одной заготовки для стенки стакана составит 5,36 г. После суммирования массы дна и стенки для стакана получим массу картона, необходимого для изготовления одного стакана объемом 250 мл, которая составит 6,317 г.

Картон, который используется для производства стаканчиков ламинируется полиэтиленовой пленкой с одной или двух сторон. При односторонней ламинации соотношение

массы картона к пластиковому покрытию составляет 1:10. Следовательно, масса полиэтилена для покрытия площади поверхности одной заготовки составит 0,6317 г.

Для склеивания горловины стакана используют термоклей на основе этиленвинилацетата (ЭВА). Расход клея для бумажного стакана составит 60 мг.

## 2. Пластиковые контейнеры.

Для изготовления пластиковых контейнеров для горячих блюд в качестве сырья обычно используют полипропилен или вспененный полистирол.

Полипропиленовый контейнер среднего размера объемом 670 мл весит приблизительно 30 г.

Для изготовления контейнера помимо основного полимерного сырья используют различные добавки для стабилизации или улучшения свойств пластика. Для контейнеров, предназначенных для контакта с пищей, в основном используют термостабилизирующие, антистатические, антикоррозионные добавки не более 3% от массы основного сырья. Для окрашивания контейнера в нужный цвет используют колоранты. Процентное содержание красящего вещества зависит от необходимой интенсивности цвета. Например, для окрашивания в черный рекомендуется использовать колоранты на основе технического углерода марок К354 или П234. Для интенсивного окрашивания, при массе полимера 40–50% от изделия, вводят до 50% колоранта. Также при окрашивании вводят диспергирующий агент в количестве 5–10% от массы изделия. Состав и массы компонентов для производства одного черного полипропиленового контейнера массой 30 г представлены в таблице.

Таблица

**Компонентный состав полимерного контейнера**

Наименования компонентов	Процентное содержание компонентов, %	Массы компонентов, г
Полипропилен	50	15
Колорант на основе технического углерода	40	12
Диспергирующий агент	7	2,1
Добавки	3	0,9
Итого	100	30

## 3. Картонные коробки и оберточная бумага.

Для упаковки бургеров применяются картонные коробки и оберточная бумага. Изделия изготавливаются из целлюлозного картона. Наиболее популярен однослойный картон и микрогофрокартон. Если основным материалом является гофрокартон, то для склейки слоев может использоваться крахмальный клей, который состоит из крахмального стабилизатора и крахмальной суспензии. Концентрация по крахмалу варьируется от 15 до 27%. Сам клей состоит из двух видов крахмала: клейстеризованного, который занимает 10–25% от общего объема и крахмальных зерен, на которые приходится, соответственно 75–90%.

Рассчитаем массы компонентов для производства коробки для бургера из гофрокартона, при следующих параметрах:

- 1) трехслойный гофрокартон;
- 2) расход клея 12 г/м<sup>2</sup>;
- 3) параметры коробки 100x100x60 мм;
- 4) плотность картона 270 г/м<sup>2</sup>.

Площадь заготовки из трехслойного картона с параметрами 100x100x60 мм составляет 0,022 м<sup>2</sup>. Следовательно, при плотности картона 270 г/м<sup>2</sup> вес коробки составит 6 г. Расход клея на одну трехслойную гофрированную коробку составит 0,254 г. Тогда масса всего изделия будет равна 6,3 г.

Для более мелких позиций используется оберточная бумага, которая маркируется 80 C/PAP (бумага+ различные материалы). Для защиты бумаги от воды и жира используют специальные покрытия на основе: полимеров (полиэтилен, полипропилен), воска, латексов синтетического каучука и животного клея.

Данные о составах одноразовой посуды необходимы для проведения оценки жизненного цикла изделий. После анализа результатов ОЖЦ будут сделаны выводы о количественных характеристиках воздействий на всех этапах существования продукта, от его производства до обращения с отходами, после утраты изделием потребительских свойств. Такой метод оценки позволит увидеть полную картину влияния одноразовой посуды на окружающую среду. Полученные данные будут использованы при разработке концепции устойчивого использования одноразовой посуды в ресторанах, которая необходима для предотвращения и минимизации воздействия от деятельности заведений общественного питания.

#### **Список использованных источников**

1. Распоряжение Комитета «Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами производства и потребления» от 15.06.2022 № 361-р (последняя редакция). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/obrashenie-s-othodami/rasporyazhenie-komiteta-ot-15062022-361-r-ob-utverzhdanii-territorialn/> (дата обращения: 30.12.22).
2. Greenpeace: Результаты оценки морфологического состава отходов, оставшихся после прохождения сортировки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/33KAN4> (дата обращения: 10.01.2023).
3. Almin; сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.almin.ru/> (дата обращения: 11.01.2023).
4. Триал Маркет; сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trial-market.ru/> (дата обращения: 10.01.2023).



УДК 504.06

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ ХИТОЗАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

*Гаврецкая А.В.<sup>1</sup> (студент), Шестель А.А.<sup>1</sup> (студент), Николаев Е.М.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: gavretskaya@yandex.ru*

*Работа выполнена в рамках тем НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики», НИОКТР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биодegradации»*

---

В работе рассмотрено получение хитозана из различных сырьевых источников. Исследовались различные методики получения хитозана, изучено влияние порядка стадий получения на свойства хитозана. Проведено сравнение свойств полученных образцов и подобрана наиболее оптимальная методика. Получены пленочные покрытия на основе хитозана с различным соотношением компонентов. Ценность полученных образцов заключается в их барьерных и бактерицидных свойствах. Предложены основные направления дальнейшего применения пленочных покрытий.

### **Ключевые слова**

Хитозан, хитин, пленки, отходы, методы получения, депротеинирование, деминерализация.

---

Современной мировой проблемой является невозможность утилизации загрязненного пластика вместе с пищевыми продуктами. Мировым сообществом признано, что полностью отказаться от пластика невозможно, однако необходимо свести к минимуму его производство и потребление. Решение видится в создании альтернативных материалов. Примером таковых являются компостируемые материалы, которые получают из вторичных материальных ресурсов (ВМР). В качестве сырья использовались отходы от разделки ракообразных, которые являются источником ценного компонента – хитозана, на основе которого возможно получение защитных покрытий. В связи с этим было принято решение о создании компостируемой пленки из ВМР, которая может контактировать с пищевыми продуктами. При этом данная разработка позволит не только снизить объем неиспользуемых отходов, но и создавать компостируемый материал альтернативный пластику.

Для получения хитозана из ВМР использовали отходы от разделки дальневосточного краба и северной креветки. Для выделения ценных компонентов сырье предварительно измельчали. Общая методика получения представлена на рисунке 1. Процесс получения в общем виде включает в себя стадии деминерализации, депротеинирования, стадию отбеливания и деацетилирования. При этом порядок и количество стадий деминерализации и депротеинирования может варьироваться в зависимости от видов сырья и целей, преследуемых исследователями. Так, например, для полного удаления белка из сырья проводят несколько стадий депротеинирования [1]. Чтобы изучить влияние порядка стадий получения хитозана из дальневосточного краба на его свойства, процесс проводили двумя способами. Свойства полученных образцов хитозана приведены в таблице 1.

Полученный хитозан исследовали, определяли его зольность и степень деацетилирования. Зольность и СД определяли в соответствии с ГОСТ 7636-85 и методикой [2]. Расчеты проводили на сухой вес. Зольность представляет собой остаток минеральных веществ в образце. Степень деацетилирования характеризует глубину перехода хитина в хитозан. При этом обычно

---

стремятся к снижению зольности и повышению степени деацетилирования. Исходя из полученных результатов, наилучшим порядком стадий оказалось проведение процесса получения по методике 1: в начале стадии депротенирования, а затем деминерализации.

Таблица 1

**Характеристики образцов хитозана**

	Зольность, %	Степень деацетилирования (СД), %	Выход, %
Методика 1	31,40	65,83	19,51
Методика 2	44,16	30,63	25,48

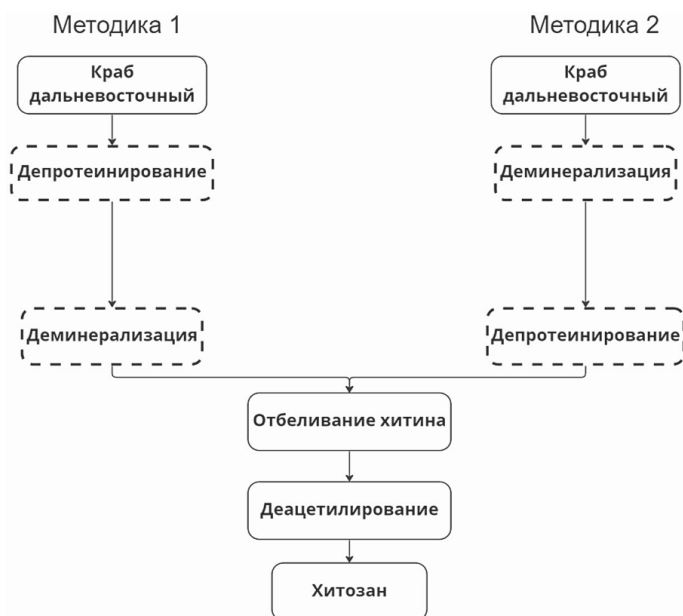


Рис. 1. Схема получения хитозана



Рис. 2. Схема получения хитозана из креветки

В соответствии с оптимальной методикой проводилось получение хитозана из более доступного сырья – отходов от разделки северной креветки. При этом методика была модифицирована: с целью полного удаления белка проводилось две стадии депротенирования (рис. 2).

Характеристики полученного хитозана из северной креветки приведены в таблице 2. Так же исследовались свойства приобретенного хитозана для сравнения показателей.

Таблица 2

**Сравнение характеристик образцов хитозана**

Сырье	Зольность, %	Степень деацетилирования (СД), %	Выход, %
Креветка северная	24,34	75,24	12,52
Приобретенный хитозан	0,99	77,77	–

Важно отметить, что хитозан из северной креветки практически не уступает по величине СД приобретенному хитозану. Несмотря на сравнительно невысокий выход продукта, получение хитозана из данного сырья оправдано его высокой распространенностью.

На основе хитозана получали пленочные покрытия. При этом состав рецептуры варьировали с целью изучения влияния компонентов на свойства покрытия и подбора оптимального состава. Для получения пленок навеску хитозана растворяли в органической кислоте, добавляли крахмал и пластификатор – глицерин, затем наносили на инертную подложку раствор. Полученные образцы оставляли высыхать при комнатной температуре в течение 1-2 дней в зависимости от толщины получаемой пленки. Для определения наилучшего состава варьировали массу крахмала, концентрацию раствора хитозана (табл. 3).

Таблица 3

**Состав пленочных покрытий**

№	Концентрация раствора хитозана, %	Масса крахмала, г	Масса глицерина, г
1	1,5	1,5	0,097
2		1,0	0,088
3	1,0	1,5	0,096
4		1,0	0,090
5	3,0	1,5	0,099
6		1,0	0,097

Наилучшие показатели по однородности показали образцы под номером 3 и 5. Особенностью полученных пленок является то, что в процессе высыхания происходит их деформация. Что необходимо учитывать при планировании области их применения.

В ходе работы был получен хитозан из различных ВМР и изучены его свойства. Наиболее оптимальным сырьем оказалась северная креветка, с наименьшим показателем зольности и наибольшей СД. На основе приобретенного хитозана были получены пленки с различным соотношением компонентов, изучены их свойства. По результатам исследования можно говорить о наиболее оптимальном содержании навески крахмала – 1,5 г. Влияние концентрации раствора хитозана требует дальнейших исследований. Особенностью полученных пленок является их низкая стойкость к разогретым жидкостям. Предложены способы применения данных пленок в качестве подложек, контактирующих только с сухой продукцией; для порционной упаковки специй или спортивного питания и т.п. Важно отметить, что использование таких пленок возможно только при внедрении отдельного сбора пищевых отходов с последующей утилизацией.

**Список использованных источников**

1. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение / В.М. Быкова, С.В. Немцев, Г.В. Маслова и др.; под ред. К.Г. Скрябина, Г.А. Вихоревой, В.П. Варламова. – Москва. 2002. 368 с.
2. ГОСТ 7636-85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – М.: Стандартинформ. 2010. 87 с.

УДК 504.06

**РАСЧЕТ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО  
МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ**

*Гаврецкая А.В.<sup>1</sup> (студент), Шестель А.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Овсяук Е.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: gavretskaya@yandex.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620142 «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии биоактивных пищевых ингредиентов с заданными свойствами из биоресурсов и вторичных сырьевых источников растительного и животного происхождения для обеспечения здорового питания населения РФ с использованием пищевой комбинаторики»»*

---

В работе рассмотрены стадии проведения оценки жизненного цикла для коллагенсодержащего модифицированного продукта питания. Выбрана функциональная единица и определены границы системы, в рамках которых был проведен анализ. Проведен инвентаризационный анализ, где были выделены основные входные и выходные потоки производства. Определены основные воздействия каждой стадии технологического процесса. Приведены результаты проведения ОЖЦ и рекомендации по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова**

Негативное воздействие, окружающая среда, производство, границы системы, функциональный продукт.

---

Актуальность проведения оценки жизненного цикла (ОЖЦ) заключается в возможности прогнозирования потенциальных негативных воздействий на различных стадиях производства, еще до его начала, и оптимизации технологического процесса с целью снижения вредного воздействия на окружающую среду. В рамках данной работы был проведен расчет оценки жизненного цикла коллагенсодержащего модифицированного ферментным препаратом мясного функционального продукта питания.

Проведение оценки жизненного цикла продукции включает в себя ряд стадий [1]:

- 1) определение цели и области применения исследования;
- 2) проведение инвентаризационного анализа жизненного цикла (ИАЖЦ);
- 3) оценка воздействия на окружающую среду;
- 4) интерпретация жизненного цикла и рекомендации.

На первой стадии оценки жизненного цикла кроме цели и области применения полученных результатов, определяют еще функциональную единицу и границы системы. Описывают используемые методы и устанавливают допущения. Например, в рамках данного исследования функциональной единицей был принят 1 кг коллагенсодержащего модифицированного ферментным препаратом мясного функционального продукта питания. В границы системы (рис. 1) вошли стадии производства продукции, за исключением подготовки исходного сырья, транспортировки сырья и продукции, а также хранения продукции.

Стадия ИАЖЦ включает в себя выявление входных и выходных потоков. Пример инвентаризационного анализа для одной стадии приведен в таблице 1.

На третьей стадии ОЖЦ осуществляется выбор и присвоение результатам инвентаризационного анализа категорий воздействия. Это касается в основном выходных потоков. Присвоение категорий воздействия для мясного функционального продукта питания приведено в таблице 2.

---

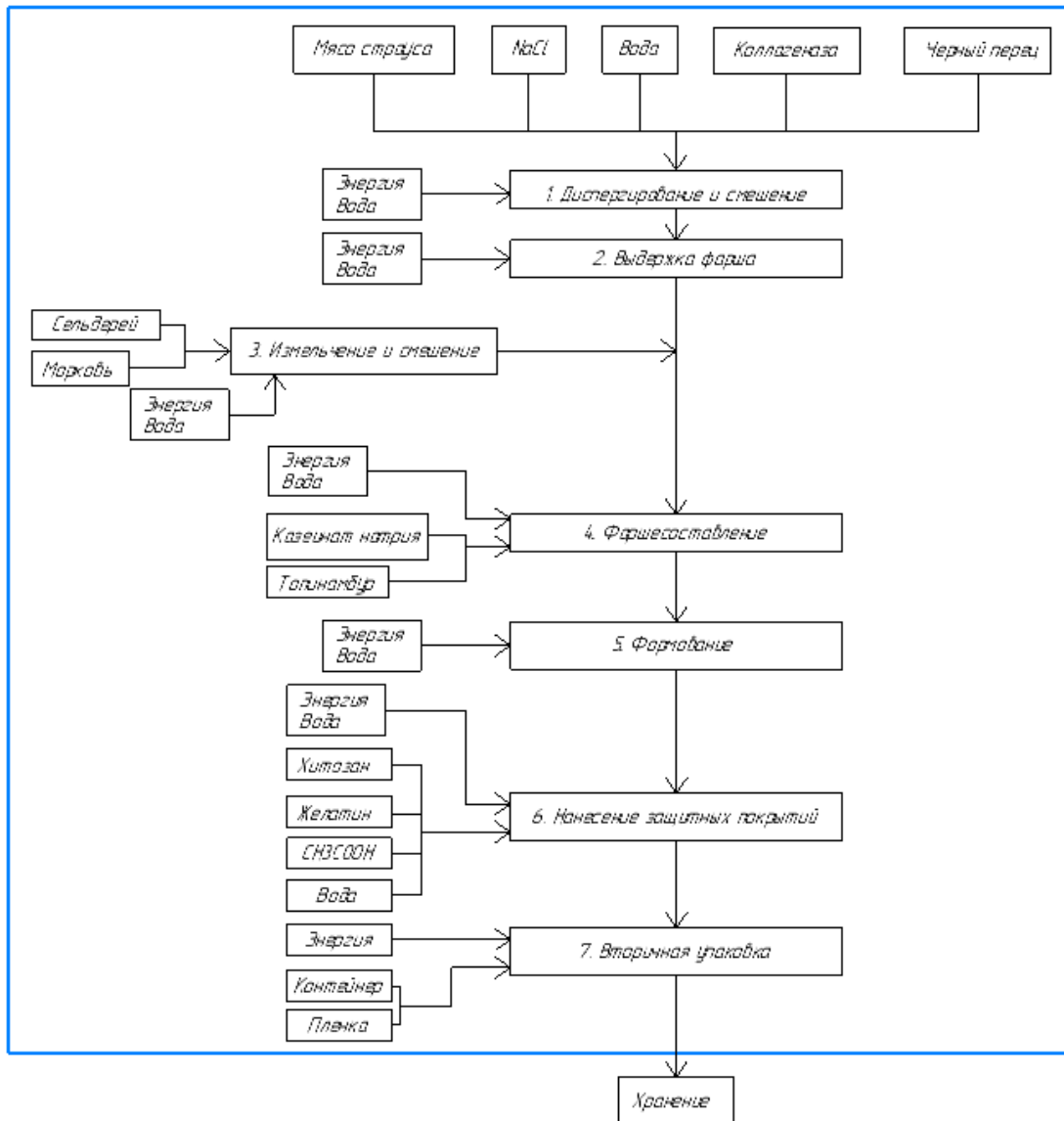


Рис. 1. Границы системы

Таблица 1

**Инвентаризационный анализ первой стадии производственного процесса**

1. Диспергирование и смешение		
Входные потоки	Ед.изм.	Количество
Сырье:		
Мясо страуса	кг	0,68
NaCl	кг	0,011
Вода	кг	0,14
Коллагеназа	кг	0,0003
Черный перец	кг	0,003
Итого	кг	0,83
Энергетические и водные ресурсы		
Электрическая энергия	кВт*ч	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Вода техническая	м <sup>3</sup>	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Выходные потоки	Ед.изм.	Количество
Продукция		
Фарш 1	кг	0,81
Другие воздействия		
Сточные воды	м <sup>3</sup>	$2 \cdot 10^{-5}$

Таблица 2

**Категории воздействий и показатели категорий для ОЖЦ коллагенсодержащего модифицированного ферментным препаратом мясного функционального продукта питания**

Параметр	Содержание параметра
Категория воздействия	Эвтрофикация
Результаты ИАЖЦ	Сточные воды, выбросы оксида азота
Показатель категории	г O <sub>2</sub>
Характеристический коэффициент	Потенциал эвтрофикации г O <sub>2</sub>
Категория воздействия	Образование фотохимического смога
Результаты ИАЖЦ	Выбросы уксусной кислоты
Показатель категории	г - эквивалент этана
Характеристический коэффициент	Потенциал фотохимического образования озона г-экв. этана/г
Категория воздействия	Закисление
Результаты ИАЖЦ	Выбросы оксида азота
Показатель категории	мол. Н
Характеристический коэффициент	Потенциал закисления мол. Н+
Категория воздействия	Глобальное потепление
Результаты ИАЖЦ	Выбросы диоксида углерода, выбросы оксида азота (I)
Показатель категории	г CO <sub>2</sub>
Характеристический коэффициент	Потенциал глобального потепления г CO <sub>2</sub>

Входные потоки используются для расчета MIPS, то есть показателя, который говорит нам о том, сколько килограмм ресурсов нам необходимо затратить для получения 1 кг продукции. Расчеты приведены на рисунке 2. Для расчетов применяют специальные коэффициенты MI-Factor [2]. Как следует из полученных результатов, для производства 1 кг мясного функционального продукта питания необходимо затратить 223,72 кг ресурсов.

Name substance/pre-product	Unit	Amount	Abiotic material		Biotic material			Water		Air	
			MI-Factor kg/unit	kg/unit Main product	MI-Factor kg/unit	kg/unit product	Main	MI-Factor kg/unit	kg/unit Main product	MI-Factor kg/unit	kg/unit Main product
Электричество	кВт-ч	0,1040	2,67	0,2777	0,00	0,0000		37,92	3,9437	0,64	0,0666
Вода питьевая	кг	0,1403	0,01	0,0014	0,00	0,0000		1,30	0,1824	0,00	0,0000
Вода техническая	кг	0,0001	0,01	0,0000	0,00	0,0000		2,20	0,0003	0,01	0,0000
NaCl	кг	0,0109	1,24	0,0135	0,00	0,0000		2,29	0,0250	0,02	0,0002
Мясо страуса	кг	0,6828	7,00	4,7796	4,60	3,1409	228,00	155,6784	1,50	1,0242	
Коллагеназа	кг	0,0003	23,15	0,0079	7,28	0,0025	929,79	0,3174	6,22	0,0021	
Черный перец	кг	0,0027	0,96	0,0026	1,10	0,0030	10,68	0,0292	0,19	0,0005	
Сельдерей	кг	0,0273	0,89	0,0243	2,06	0,0563	25,01	0,6831	0,21	0,0057	
Морковь	кг	0,0546	1,00	0,0546	1,00	0,0546	7,00	0,3824	0,01	0,0005	
Казеинат натрия	кг	0,0546	23,15	1,2645	7,28	0,3977	929,79	50,7889	6,22	0,3398	
Топинамбур	кг	0,0910	0,1	0,0091	1,06	0,0965	0,39	0,0355	0,01	0,0009	
Хитозан	кг	0,0009	1,3	0,0011	5	0,0043	19,28	0,0165	3,08	0,0026	
Желатин	кг	0,0003	1,07	0,0003	0	0,0000	22,09	0,0063	1,56	0,0004	
Уксусная кислота	кг	0,0009	3,03	0,0026	0	0,0000	40,66	0,0349	0,38	0,0003	
Контейнер (полистирол)	кг	0,2000	2,51	0,5020	0	0,0000	164	32,8000	2,802	0,5604	
Пленка (полиэтилен)	кг	0,1000	2,49	0,2490	0	0,0000	122,67	12,2670	1,617	0,1617	
Σ				6,4365			3,7557		212,0827		1,4432
Total		223,7181									

Рис. 2. Расчет MIPS

При выполнении расчета выделяют вклад каждой стадии в показатели категорий воздействия (рис. 3). Наибольшее негативное воздействие при производстве мясного функционального продукта оказывает 7 стадия – стадия вторичной упаковки. Оказываемое негативное влияние связано с высокими энергозатратами на данной стадии производства.

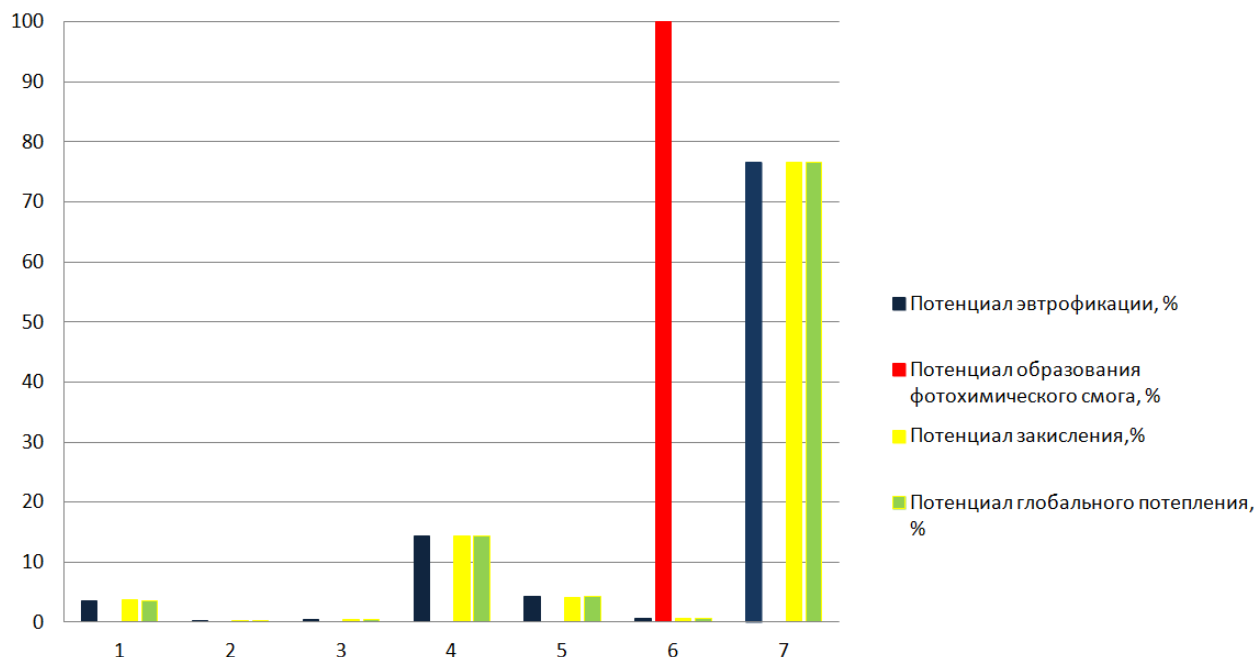


Рис. 3. Вклад стадий рассматриваемого производства в категории воздействия:  
 1 – диспергирование и смешение; 2 – выдержка фарша; 3 – измельчение и смешение;  
 4 – фаршесоставление; 5 – формование; 6 – нанесение защитных покрытий; 7 – вторичная упаковка

Заключительной стадией ОЖЦ является интерпретация жизненного цикла и рекомендации. Основываясь на результатах проведенного анализа можно предложить следующие рекомендации по снижению негативного воздействия на окружающую среду при производстве мясного функционального продукта:

- применение энергосберегающего оборудования. Это позволит снизить показатели, так как требуемая энергия учитывается при расчете выбросов;
- установка фильтров или иная технология нанесения защитного покрытия. Это связано с необходимостью улавливания уксусной кислоты, которая улетучивается при распылении покрытия;
- использование альтернативных материалов в качестве вторичной упаковки.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ Р ИСО 14040-2010 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. – М.: Стандартинформ. 2010. 18 с.
2. Wuppertal Institute. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wupperinst.org/> (дата обращения: 20.01.2023).

UDK 636.087.25

**PROPOSAL OF THE INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM OF FOOD WASTE  
COMPOSTING IN RUSSIAN FEDERATION**

*Gimatdinova A.G.*<sup>1</sup> (student)

*Supervisor – Phd, Professor. Molodkina N.R.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: nrmolodkina@itmo.ru, g\_alsu1999@mail.ru*

---

Food waste being one of the most significant problems of current decade, affecting on the different spheres of humans' life, starting from climate change problem due to the garbage gas produced during the landfilling of waste, ending with losses of potential profit from utilization process. This research work intended on studying key parameters of the composting as effective process of food waste utilization, simulation of composting process in laboratory scale, and cover quality assurance of the end-product in accordance with German legislation standard. Such a compost quality management regulation will make it huge contribution into Russian waste management system.

**Keywords**

Composting, food waste, organic matter, C/N ratio, management systems.

---

Since this topic is insufficiently studied and has a rare application on the territory of the Russian Federation, it is important to consider the existing documentary base on the quality of compost, as well as adapt this system and bring it to a new level. The problem of the absence of a specific compost quality control scheme in Russia results in the following hypotheses.

Hypothesis 1: the lack of clear regulations in the field of compost quality control makes it impossible for domestic enterprises to use composting methods.

Hypothesis 2: Adoption of such a scheme will increase the interest in composting process among organizations dealing with food waste.

Hypothesis 3: The untraceable quality of compost as the product of the food waste disposal process has negative implications for the development and application of BAT in waste management in Russia. The presented provisions will be studied in more detail and described in the research, the subject of which is quality management systems, with an object in the form of compost.

The aim of the research is to develop a compost quality control system, which can be achieved in accordance with the following tasks:

- 1) study of the European compost quality control system;
- 2) study of the Russian Federation standards necessary to determine the quality of compost produced by methods used on the territory of the country (e.g., covered and container composting);
- 3) adaptation of the European compost quality control system for the territory of the Russian Federation.

The relevance of the study is the lack of specific standards for compost quality control on the territory of the Russian Federation. The developed scheme can find its practical application on different plants, e.g. Novy Svet-ECO landfill site. The landfill, located in the Gatchinsky district of the Leningrad region, is interested in applying a compost quality control scheme to use a selected clean fraction of food waste in the process of targeted composting. Composting the described above fraction of food waste helps to reduce the amount of food waste that is disposed of with the subsequent release of greenhouse gases, which have a devastating effect on the atmosphere and climate in general. The expansion of landfill areas entails an increase in the population of insects and rodents - carriers of infections. The risk of the spread of dangerous diseases among people, poisoning of the soil and groundwater is increasing. The practical significance of the current study covers the possibility of using



described methods of food waste disposal in agriculture, laboratories, or any industrial facility. In addition, adoption of the scheme of compost quality control will be effective on the enterprises in the Russian Federation. Moreover, consistent compost application in soil can result in a nutritional supply in vegetable and decorative gardens as compost contains the major nutrients nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) at a higher ratio than standard complex fertilizers. The N:P:K ratio is equal 1.5:1:1 [2].

The environmental issue of our day is to close the material cycle in a resource-efficient and ecologically sustainable manner that goes well beyond biological waste flow. Meanwhile, legislators are not only relying on amateur gardeners' willingness to recycle organic waste. In European Union countries the great majority of organic waste from private residences is collected separately in organic waste containers, fermented and/or composted in central facilities, and then used as digestate and compost for fertilization and soil development, particularly in agriculture and horticulture. The German Circular Economy Act (KrWG) [1], and the Fertilizer and Fertilization Ordinances all govern the central treatment and usage of organic waste.

Composting is a biochemical food waste breakdown process that occurs under regulated aerobic circumstances and involves microorganisms breaking down food wastes into their simplest components [4]. Composting will eventually be able to increase soil structure, texture, and aeration, as well as water retention capacity [5]. Composting minimizes the volume of collected trash over time by generating a stable product with a high nutritional content that results from the transformation of raw organic materials through microbial transformation.

Aerobic composting consists of main process stages, such as waste sorting, milling (hammer miller is used on industrial scale), mechanical grinding, composting itself, compost storage. Composting is an environmentally benign and effective process of turning organic waste into stable and mature nutrients. Because the emissions of  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , and  $\text{N}_2\text{O}$  are a major drawback of traditional composting, numerous viable techniques to improving composting have been identified, including the use of different additives, bulking agents, and microbial inoculants. More research is also needed to reduce gas emissions, antibiotic resistance genes, and heavy metal mobilization. Composting system efficiency may be enhanced by better understanding how additives affect the composting process and essential bacteria [2].

In other words, the organic matter being a significant part of food waste transforming into inorganic compounds, such as carbon dioxide, water, ammonia. Moreover, the process goes with oxygen, that is, under aerobic conditions, with the release of heat during biodegradation. Composting is a natural process characterized by microbial community successions that actively decomposes degradable and putrescent organic waste under wet, self-heating, and aerobic conditions.

Microbial community structure is described as the diversity of a microbial community and the abundance of its members. However, the temperature range of the process depends on type of used microorganisms. It is about 15–35°C and 45–65°C for mesophilic and thermophilic microbes respectively, which is depicted on the Figure 1 [2]. The optimal pH range for most bacteria is 5–7. Aerobic composting in contrast with anaerobic process runs faster, as well as, under higher temperatures and without any odor.

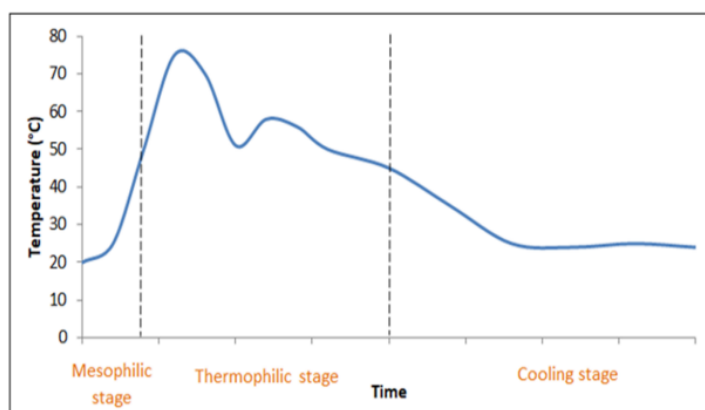


Fig. 1. Temperature changes among different stages

Composting efficiency depends on the key parameters, such as, moisture of waste, temperature, pH level, C/N ratio. Carbon-to-Nitrogen Ratio and moisture content of food waste, however, are two main criteria for biomass decomposition process. C/N ratio refers to the amount of carbon relative to the amount of nitrogen present of organic matter. Carbon content is always presented more than nitrogen amount. The carbon-to-nitrogen ratio is written as C:N and it is always a single number [3]. Hence, a ratio of 20 describes that there are 20 g of carbon for each gram of nitrogen in the organics. Rapid nitrogen release and mineralization take place in organic substrates with a C:N ratio between 1 and 15, making the N available for plant uptake. Nitrogen will be released into the soil for utilization by crops more quickly the lower the C:N ratio. Microbes become immobilized when the C:N ratio exceeds 35. Between a ratio of 20 to 30 produces an equilibrium condition of mineralization and immobilization. A C:N ratio of about 8 is typical for soil bacteria. They have been shown to perform best on a «diet» with a C:N ratio of 24, which they must obtain from the soil to retain that ratio in their cells. Composting is likely to run successfully if the moisture content and C:N ratio are within the acceptable values. Once compost feedstocks are amalgamated, the final mixture should ideally have a carbon to nitrogen ratio of between 25:1 and 40:1 and fall within the moderate moisture range (50–65%). The character of a feedstock can be seen by putting these characteristics on a graph like Figure 1.4. An excellent balance is shown by the chart's midsection. The surrounding quadrants represent the circumstances under which a feedstock is either too moist, too dry, nitrogen-poor, or nitrogen-overabundant. In other words, the main factor affecting a feedstock's C:N ratio is the amount of nitrogen present [4].

In this work we will consider only the crucial parameters for the aerobic process. Table 1 shows the optimal composting parameters [2].

Table 1

**The optimal composting parameters**

<b>The main indicators of compostable waste</b>	<b>The optimal quantitative characteristics of compostable waste</b>
C/N ratio	20-40
water content in the compost mixture	40–60%
composting temperature at the thermophilic stage	55–60°C, over 3 days
pH value	5.0-8.0
amount of filler	more than 15%
content of organic matter in the compost mixture	no less than 40–60%
size of particles	1 cm with forced aeration, 5–10 cm with natural or passive aeration

Moving to the composting process management systems, it is important to mention that there are two international standards involved in. First, Environmental management systems (EMS), which is dedicated the scope of the company and examine its performance from the environmental point of view, as well as third-party audit procedure. The second is Quality management system, which is responsible for assurance of quality of the final product. Further every system will be explained more precisely.

Environmental Management System according to ISO 14001 was created to help businesses reduce environmental effects and improve management control. Adopting the ISO standard delivers improved economic benefits in addition to performance gains. The major advantages of these rules are that they reduce fines associated with environmental duties and help the organization with trash management [5]. It proves to its stakeholders that it provides a more efficient and high-quality service to its consumers and maintains control over the processes. It gives a market and competitive edge over firms that do not use the system in the industry. Provides for the reduction of prospective insurance expenses. Reduces the cost of infrastructure replacement. If we consider on the main principles of Environmental Management System (EMS), there are 5 basic principles from which ISO 140001 is built up. There are: environmental policy, planning, checking, management review, applications, and activities.

Quality assurance in EU is headed by the European compost network (ECN), according to the plan of which a quality control is being implemented. Quality assurance provided by ECN schematically can be shown as follows. In the first stage national quality assurance organisations (NQA) should be certified by ECN-QAS. Secondly, composting, and anaerobic digestion plants - monitored by national quality assurance organisation (NQA) and recognised by ECN-QAS - should have the possibility to apply for the quality label of ECN-QAS in addition to their product quality label or certificate of the national quality assurance organization (NQA). The table 2 describes quality assurance of compost, as well as measures taken.

Table 2

**Quality assurance of compost in comparison with current Russian State Standards**

Stage	Indicator	Measure	Russian State Standards	
Input materials	List of suitable materials	Rejection	–	
		Separation from impurities		
Pre-treatment	Defining a batch code	Rejection	–	
Composting process	Degree of decomposition	L, declaration	–	
	Bulk density	[g/l FM], declaration	–	
	Dry matter	[% FM], declaration	GOST 26713-86	
	Maximum particle size	mm, declaration	–	
	pH	declaration	Technical documentation	
	Salinity	[mS/m], declaration		
	Plant nutrients	Content value, declaration		N (total) GOST 26715-85
				(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) GOST 26717-85
				(K <sub>2</sub> O) GOST 26718-85
				(CaO) GOST 26719-85
	Organic matter content	≥ 15 %, declaration Soil Organic matter	GOST 26714-85	
	Plant responds	Declaration	–	
Potential toxic substances (heavy metals)	[mg/kg.], Cd= 1.5, Cr=100, Cu=100, Hg=1, Ni=50, Pb=150, Zn=400	Atomic absorption method		
Temperature	°C	–		
Sanitisation	Salmonellae	Absent in 25 g of matter	GOST 17.4.2.01-81	
	Viable weeds	≤ 2 seeds per liter	Technical document No.173/9-77	
	Impurities	≤ 0.5 % dry matter	–	
	Documentation control	Declaration	–	
Compost refining	Sampling	100 % external sampling, declaration	–	
	Third-party inspection	Declaration	–	
Compost declaration	Documentation and conformity	Declaration	–	
Compost storage	Documentation and conformity	Declaration	–	
	Quantity of each compost type	Tones, declaration	–	

Quality requirements for compost according to the RAL quality standard “RAL-GZ 251” shown in the table 3 [5].

Table 3

<b>Quality requirements</b>	
<b>Quality characteristics</b>	<b>Quality requirements</b>
Sanitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• test on epidemic-hygienic effectiveness of the decomposition process (compliance test);</li> <li>• compliance with time and temperature requirements (process control);</li> <li>• exclusion of germinal seeds and sprouting plant parts (&lt;2 plants/l compost);</li> <li>• exclusion of salmonellae</li> </ul>
Impurities (limit values)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• max. 0.5 weight-% in DM selectable, species-inappropriate; material &gt; 2 mm diameter;</li> <li>• total surface area of impurities &lt; 25 cm<sup>2</sup>/l FM;</li> <li>• stones &gt; 10mm: max. 5 weight-% in DM</li> </ul>
Tolerance of plants	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plant compatibility for the provided area of application;</li> <li>• free of phytotoxic substances, not nitrogen fixing</li> </ul>
Rotting degree	The ability of compost to heat itself under testing conditions. Stage IV and V permissible: <30–40°C
Water content	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bulk material max. 45%;</li> <li>• bagged material max. 35%</li> </ul>
Organic matter	At least 15 weight-% in DM measured as ignition loss
Heavy metal content (limit values) [mg/kg DM]	Cd: 1.5; Cr: 100; Cu: 100; Hg: 1.0 Ni: 50; Pb: 150; Zn: 400
Declaration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• product type (matured compost);</li> <li>• name of producer;</li> <li>• bulk density (volume, weight);</li> <li>• DM content;</li> <li>• pH-value;</li> <li>• salt content;</li> <li>• plant nutrients (total: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO);</li> <li>• plant nutrients (soluble: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O);</li> <li>• micro-nutrients;</li> <li>• organic matter;</li> <li>• alkaline effective matter (CaO);</li> <li>• net weight or volume;</li> <li>• instructions for proper use</li> </ul>

According to German experience, a QAS with high quality standards and effective monitoring enhances the quality of compost and digestate – and hence their marketability. It has shown to be an effective aid in enhancing composting and digesting processes, hence reducing the quantity of biodegradable waste landfilled and increasing material recycling [5]. Such a document focused on the framework of the quality of compost will be crucial for Russian waste legislation system due to the absence of supporting documents for managing compost quality according to the listed parameters in the presented above Table 3. The main problem is to study current standards, acts and frameworks operating on the territory of Russian Federation and adapt new regulations for the sphere of compost quality control.

However, further research is also required for completing the full-scale scheme for compost quality management. Composting system efficiency may be increased by learning more about how additives affect the composting process and essential bacteria [5].

### List of references

1. Ordinance on the Recovery of Bio-Waste on Land used for Agricultural, Silvicultural and Horticultural Purposes (Bio-waste Ordinance-BioAbfV, translation) / Federal Law Gazette // Part I. 2012. 658 p.

2. Compost Manual Umweltbundesamt. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/compostmanual/> (дата обращения: 10.01.2023).
3. Sánchez, A. Decentralized Composting of Food Waste: A Perspective on Scientific Knowledge // *Frontiers in Chemical Engineering*. 2022. V. 4. 38 p.
4. Zhou, Y., Xiao, R., Klammsteiner, T., Kong, X., Yan, B., Mihai, F. C., Liu, T., Zhang, Z., & Kumar Awasthi, M. (2022a). Recent trends and advances in composting and vermicomposting
5. Quality requirements and quality assurance of digestion residuals in Germany. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.kompost.de/uploads/media/Compost\\_Course\\_gesamt\\_01.pdf/](https://www.kompost.de/uploads/media/Compost_Course_gesamt_01.pdf/) (reference date 10.01.2023).

УДК 631.95

**ПОЛУЧЕНИЕ КОРМОВОГО БЕЛКА ИЗ ЛИЧИНОК МУХИ ВИДА ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА (*HERMETIA ILLUCENS*)**

*Горбулина А.Р.<sup>1</sup> (студент), Кузнецова К.Г.<sup>1</sup> (аспирант), Письменная А.П.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: a.gorbulina@list.ru, kgkuznetsova@itmo.ru, kononovaynew@mail.ru, nrkh25@hotmail.com*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики»*

---

Личинки мухи Черная львинка содержат в своем составе большое количество протеина и в перспективе могут стать широко распространенным источником кормового белка. Подтвержденная многими учеными зависимость содержания протеина в личинках от их возраста и от состава кормового субстрата требует доработки и проведения дальнейших лабораторных исследований, которые позволят получать личинки заявленного состава и отвечающие всем требованиям безопасности.

**Ключевые слова**

Энтомологический протеин, биотехнология, муха Черная львинка, кормовая добавка, субстрат.

---

Согласно докладу Организации Объединенных Наций (ООН), к 2050 году население Земли достигнет отметки в 9,8 млрд человек [1]. По этой причине ожидается увеличение спроса на продукты животноводства, в особенности на мясную продукцию. По подсчетам ученых, в период с 2010 по 2050 годы потребность в животном белке возрастет почти в два раза [2]. В связи с этим возникает вопрос: как человечество сможет удовлетворить свои потребности в белке доступным и безопасным для здоровья и окружающей среды способом?

Белок является важной и неотъемлемой частью питания человека. Он может иметь растительное, животное или микробиологическое происхождение, и в зависимости от этого обладать различным питательным составом и разной способностью к усвояемости полезных компонентов человеком или животными. Белки животного происхождения содержат полный комплекс незаменимых аминокислот и могут усваиваться организмом на 80–90%, в то время как растительные белки – лишь на 30–40%.

Производство традиционных источников белка оказывает серьезное воздействие на окружающую среду, поскольку требует значительного объема водных ресурсов и отвода больших территорий, что приводит к серьезной деградации земель и обезлесению.

Производство кормов для сельскохозяйственных и домашних животных, птиц и рыб требует больших объемов белка, который к тому же является самым дорогостоящим и дефицитным компонентом в составе кормов. По оценкам экспертов, в России в настоящее время потребность животноводства в белке удовлетворяется лишь на 70–75%, в то время как продуктивность животных на 50–60% зависит именно от качества потребляемого ими корма.

Возникший дефицит, а также значительный и постоянно растущий спрос человечества на качественный животный белок приводит к необходимости в поиске альтернативных и безопасных источников кормового белка. Перспективными направлениями считаются переработка белковосодержащих отходов (жмыхов, шротов, отходов пивоваренного производства и т. п.) и получение белка из насекомых, дрожжей, бактерий, микроводорослей и т.п. В данной статье внимание будет уделено личинкам мухи вида Черная львинка (*Hermetia illucens*).

---

Черная львинка – это крупная американская муха из семейства львинок (*Stratiomyidae*) отряда двукрылых (*Diptera*). В естественных условиях она обитает в тропических и субтропических широтах Северной и Южной Америки. Но несмотря на то, что Черная львинка требовательна к высоким температуре (25–30°C) и влажности (50–70%), она может круглогодично развиваться в замкнутом пространстве в искусственных условиях, что позволяет культивировать ее в любой точке мира. Жизненный цикл мухи можно разбить на 5 стадий: яйцо, личинка, предкуколка, куколка и взрослая особь. Продолжительность жизни в среднем составляет 20–22 дня [2]. У взрослых особей плохо развит ротовой аппарат, в связи с чем они способны только пить и не представляют физической угрозы человеку. Также Черные львинки не являются переносчиками инфекционных заболеваний, что делает их привлекательным объектом для изучения и повсеместного внедрения.

Личинки мухи Черная львинка с каждым годом обретают все большую популярность среди ученых за счет большого количества полезных свойств и возможности использования их в различных отраслях народного хозяйства. В процессе культивирования личинки могут перерабатывать органику, в частности пищевые отходы, навоз, куриный помет и т.д. Данная технология направлена на получение товарной личинки, богатой протеином, липидами, аминокислотами и хитином, и зоогумуса, который при должном разбавлении можно использовать в качестве органического удобрения. Все продукты на разных стадиях жизни Черной львинки можно использовать в различных направлениях, что делает эту технологию безотходной.

Результаты лабораторных экспериментов, проведенных различными исследовательскими группами и направленных на определение состава обезжиренных личинок мухи Черная львинка, представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Состав обезжиренных личинок мухи Черная львинка [2]**

Сырой протеин, %	Сырые липиды, %	Сырая зола, %	Хитин, %
65,5	4,6	9,3	6,9
21,6	6,3	9,3	
55,4	9,8	8,1	7,2

Результаты этих исследований наглядно демонстрируют, что состав личинок может варьироваться. В данной статье основное внимание будет направлено на энтомологический протеин, на факторы, оказывающие влияние на состав товарной личинки и на методы, которые позволят повысить содержание белка в личинках.

Получение белка из личинок мухи Черная львинка в настоящий момент не изучено в полной мере. Существующая технология имеет недостатки, среди которых следует выделить отсутствие четко изученных закономерностей получения качественного кормового белка в процессе культивирования Черной львинки. Это приводит к получению личинок различного состава, что усложняет извлечение из них высококачественного белка.

Личинки мухи Черная львинка обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными источниками растительного белка, что подтверждается данными, приведенными в таблице 2. Личинки Черной львинки содержат весь перечень незаменимых аминокислот и по массовой доле белка не уступают сое, кормовым бобам и другим источникам. Кроме того, усвояемость белка из личинок составляет 90–95%, что значительно выше показателей белков растительного происхождения.

Таким образом, личинки мухи Черная львинка по содержанию белка и по его усвояемости превосходят традиционные источники кормового белка, приближаясь к идеальным показателям.

В процессе изучения процессов, происходящих при культивировании личинок *Hermetia illucens*, ученые пришли к выводу, что такие факторы, как состав питательного субстрата и возраст личинок, при котором производится анализ, значительно влияют на их биохимический состав. Рассмотрим каждый из этих параметров подробнее.

Таблица 2

**Содержание белка и аминокислот в различных продуктах [3]**

Источник	Содержание сырого белка, %	Содержание незаменимых аминокислот, %	Усвояемость белка
Ячмень	10-13	24-27	70-72
Овес	11-14	25-28	70-72
Горох	22-26	30-32	85-89
Кормовые бобы	23-29	26-28	80-83
Соя	34-38	35-36	88-90
Черная львинка	32-53	35-40	90-95

Лабораторные исследования, проведенные учеными с использованием кормовых субстратов различного состава, показали прямую зависимость между содержанием белка в субстрате и в товарной личинке. Так, например, личинки, выращенные на пивной дробине, богаты протеином, в то время как содержание белка в личинках, питающихся ананасами, незначительно и невыгодно для извлечения.

Данные экспериментов можно увидеть в таблице 3. Стоит отметить, что адиабатные параметры во всех случаях были одинаковы: температура поддерживалась на уровне 26–28°C, влажность составляла 60–70%.

Таблица 3

**Состав личинок мухи *Hermetia illucens* в зависимости от кормового субстрата [4]**

Состав субстрата	Содержание протеина, %		Содержание липидов, %	
	в субстрате	в личинках	в субстрате	в личинках
Ананас	0,5	13,4	0,2	5,0
Кукуруза	11,5	16,9	1,4	11,6
Фрукты	4,6	30,8	1,0	39,8
Хлеб+рыбные отходы (9:1)	14,5	32,8	3,0	20,4
Хлеб	13,5	39,2	5,3	57,8
Пивная дробина	32,0	41,9	5,4	22,5
Фрукты+овощи (7:3)	12,0	41,9	2,1	25,3
Рыбные отходы	41,8	52,6	22,5	46,7

Таким образом, в случае, когда целью исследования является получение личинок с высоким содержанием протеина, в качестве субстрата следует применять пивную дробину, смесь из фруктов и овощей или рыбные отходы. Последние, в свою очередь, обладают резким характерным запахом и высокой соленостью, что усложняет проведение экспериментов.

Важно понимать, что использование испорченных пищевых отходов недопустимо, поскольку все токсины, тяжелые металлы, патогены и пр. могут переходить в личинку и затем поступать в организмы животных вместе с кормовым белком. Очевидно, что при продвижении вверх по трофической цепи эти вредные вещества могут попасть и в организм человека.

Другим фактором, оказывающим влияние на биохимический состав личинок, является их возраст. Доказано, что содержание протеина и липидов изменяется по мере развития особей. Если у новорожденных личинок массовая доля протеина больше, чем у яиц, то по мере роста личинок содержание протеина в них снижается. Позднее у зрелых личинок содержание белка вновь растет. Это вызвано тем, что на стадии предкуколки происходит уменьшение влаги, жира и углеводов, в связи с чем доля белка увеличивается [5]. Результаты одного из таких исследований можно увидеть в таблице 4.

Таким образом, исследования, находящиеся в открытом доступе, демонстрируют лишь начало работы в данном направлении. В перспективе научным сообществом должна быть решена комплексная задача, которая позволит начать производство кормового белка из личинок мухи Черная львинка повсеместно и в больших масштабах и оптимизировать процессы на уже существующих предприятиях.



Таблица 4

**Изменение массовой доли протеина в личинках *Hermetia illucens* в зависимости от их возраста [5]**

Стадия развития	Содержание сырого белка, %	Содержание сырого жира, %
Яйцо	45,0	15,8
Личинка, 1-й день	56,2	4,8
Личинка, 4-й день	54,8	5,8
Личинка, 7-й день	46,0	13,4
Личинка, 9-й день	42,0	22,2
Личинка, 14-й день	39,2	28,4
Предкуколка ранняя	40,2	28,0
Предкуколка поздняя	40,4	24,2

Результатом исследований должна быть продуманная технология, позволяющая получать личинки с заданным составом и максимально возможным количеством протеина на единицу личиночной массы. При этом направленное культивирование должно быть напрямую связано с использованием вторичных материальных ресурсов и обеспечением безопасности исходного сырья. Важно добиться получения белкового состава, отвечающего всем санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям и обеспечивающего безопасное питание сельскохозяйственных животных.

**Список использованных источников**

1. World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100> (дата обращения: 06.02.2023).
2. Lu S., Taethaisong N., Meethip W., Surakhunthod J., Sinpru B., Sroichak T. Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review // *Insects*. 2022. V. 13. №. 831. DOI: 10.3390/insects13090831.
3. Класнер Г.Г., Горб С.С. Применение сои в кормах сельскохозяйственных животных // *Новая наука: проблемы и перспективы*. 2016. №. 79. С. 89–91.
4. Hopkins I., Newman L.P., Gill H., Danaher J. The Influence of Food Waste Rearing Substrates on Black Soldier Fly Larvae Protein Composition: A Systematic Review // *Insects*. 2021. V. 12. №. 608. DOI: 10.3390/insects12070608.
5. Liu X., Chen X., Wang H., Yang Q. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly // *PLoS ONE*. 2017. V. 12. №. 8. DOI: 10.1371/journal.pone.0182601.

УДК 62-97/-98

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ

*Данилов А.В.<sup>1</sup> (студент), Тумин Е.И.<sup>2</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>ВНИИМ им. Д.И. Менделеева

*e-mail: undeniable1999@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов»*

---

В данной работе рассмотрен опыт применения предиктивных систем за рубежом, проведен анализ процедур испытаний и методов контроля метрологических характеристик предиктивных систем контроля выбросов для разработки требований к нормативно-технической документации по применению данных систем в РФ. Также был сформирован перечень нормативно-технической документации и требования к ее содержанию для обеспечения эксплуатации автоматических измерительных систем контроля выбросов в РФ.

### **Ключевые слова**

Автоматические измерительные системы контроля выбросов, предиктивные системы контроля выбросов, контроль выбросов, нормативные документы предиктивных систем, прогнозирование концентрации загрязняющих веществ.

---

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач для промышленных предприятий является выполнение требований нормативных документов по контролю выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) с помощью автоматических измерительных систем. При использовании непрерывных измерений содержания ЗВ в промышленных выбросах в автоматическом режиме повышается оперативность получения первичных данных о концентрациях ЗВ, исключаются ошибки, связанные с человеческим фактором, и повышается информативность и точность контроля уровня выбросов ЗВ. Для реализации непрерывных измерений содержания ЗВ в промышленных выбросах, в зависимости от способа получения информации о ЗВ, рассматриваются два типа систем автоматического контроля выбросов: автоматические измерительные системы непрерывного контроля выбросов (АИСКВ) и предиктивные системы контроля выбросов (ПСКВ) [1, 2].

АИСКВ – это система, предназначенная для непрерывного автоматического измерения параметров газовых выбросов (концентрация загрязняющих веществ, давление, температура, расход) из организованных источников выбросов в режиме реального времени. В соответствии с определением, приведенным в 252-ФЗ автоматическая система контроля выбросов состоит из средств измерений параметров выбросов, составляющих измерительную часть системы контроля выбросов (АИС), и технических средств, обеспечивающих учет и передачу информации о показателях выбросов.

ПСКВ – это система контроля выбросов, в которой значения концентраций загрязняющих веществ в выбросах получают расчетным методом на основе описанной в модели взаимосвязи содержания компонентов отходящих газов с массивами значений технологических параметров установки (таких как расход топлива, соотношение воздух/топливо, температура сгорания, давление/температура окружающей среды и пр.) и данных о химическом составе топлива или сырья (например, содержание отдельных компонентов) моделируемого технологического процесса. Количество и номенклатура технологических параметров, которые служат входной

---

информацией для модели расчета выбросов не регламентировано. Обычно, в зависимости от сложности технологического процесса используется массив от десяти и до двадцати и более технологических параметров.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (№ 7-ФЗ статья 67, п.9) определяет оснащение автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, на основании программы создания системы автоматического контроля (САК). Законодательные требования о контроле загрязняющих веществ в промышленных выбросах с помощью непрерывных измерений в автоматическом режиме в Российской Федерации были впервые сформулированы в Федеральных законах «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ и «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и статьи 1 и 5 Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» в части создания систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ» от 29.07.2018 г. № 252-ФЗ.

Параметры промышленных выбросов, которые необходимо измерять с помощью АИС, установлены в Постановлении Правительства РФ от 13.03.2019 г. № 263 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов 2 загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду». Перечень ЗВ, подлежащих контролю автоматической системой, установлен в Постановлении Правительства РФ от 13.03.2019 г. № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ», в котором даны предельные значения массовых выбросов загрязняющих веществ, превышение которых определяет необходимость их контроля с помощью автоматической системы. К основным требованиям к измерениям содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах относятся достоверность и точность информации о массе загрязняющих веществ, поскольку практическая значимость результатов этих измерений и системы производственного экологического мониторинга предприятия в целом определяется степенью доверия к результатам измерений. Требования к точности измерений содержания ЗВ в выбросах и сопутствующих параметров выбросов приведены в нормативно-правовых документах, определяющих требования к измерениям, которые относятся к сфере государственного регулирования. Требования к процедурам поверки и испытаний АИС в целях утверждения типа сформулированы в стандартах ГОСТ Р 8.959-2019 и ГОСТ Р 8.958-2019.

Применение ПСКВ в качестве средства контроля выбросов стационарных источников предусмотрено нормативным документом США «Свод федеральных нормативных актов (Code of Federal Regulations, далее - CFR)». В разделе 40 «Охрана окружающей среды» данного документа (часть 60 «Стандарты функциональной способности для новых стационарных источников» и часть 75 «Непрерывный мониторинг выбросов») содержится информация о требованиях к ПСКВ. В частности, в Приложении В части 60 содержатся техническая спецификация PS-16 «Технические характеристики и процедуры испытаний для систем предиктивного мониторинга выбросов в стационарных источниках» (Performance Specification 16, далее – PS-16) [3].

Эти технические требования предназначены для обеспечения соответствия предиктивных систем требованиям частей 60, 61 и 63 раздела 40 CFR, в которых сформулированы требования к системам мониторинга промышленных выбросов. Для процедуры сертификации и обеспечения качества результатов в ходе ее эксплуатации необходимо использовать положения и требования PS-16.

В основе методологии ПСКВ лежит процесс ее обучения на базе данных прямых измерений выбросов, полученных с помощью референтных (эталонных) методов (Reference Method, далее – RM). Данный метод имеет прямую аналогию с процедурой калибровки автоматических систем контроля выбросов и позволяет решать проблему достоверности и необходимой точности результатов, полученных с помощью предиктивных систем контроля выбросов.

В соответствии с требованиями PS – 16 ПСКВ должны пройти тест на относительную точность (Relatively Accuracy, далее – RA) и сопутствующие статистические тесты в ходе первоначального сертификационного испытания системы. Объем необходимых испытаний и проверки данных зависит от заявленных требований к системе, т.е. от того, требуется ли точная количественная оценка выбросов или будет достаточно указания на превышение некоторого нормативного порога. После первоначальной сертификации ПСКВ необходимо пройти дополнительные периодические проверки функциональной работоспособности системы.

Относительная точность (RA) – это точность полученных с помощью ПСКВ результатов содержания ЗВ в выбросах по сравнению с результатами, полученными прямыми измерениями с помощью эталонного метода. Оценка RA представляет собой тривиальную процедуру определения доверительного интервала среднего значения различий ( $\bar{d}$ ) между расчетными данными, полученными с помощью ПСКВ, и данными измерений RM для числа пар измерений ( $n$ ) с учетом двустороннего коэффициента Стьюдента при уровне доверительной вероятности 95% и заданном числе степеней свободы ( $n-1$ ). Значение RA рассчитывают по формуле:

$$RA = \frac{|\bar{d}| + k_{\text{доп.}}}{RM}, \quad (1)$$

где  $\overline{RM}$  – среднее значение результатов измерений с использованием эталонного метода;  $k_{\text{доп.}}$  – доверительный коэффициент, рассчитанный по формуле:

$$k_{\text{доп.}} = t_{0,025} \times \frac{S_{\bar{d}}}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где  $S_{\bar{d}}$  – среднеквадратичное отклонение среднего значения различий.

Рекомендуемое минимальное количество измерений при определении RA для ПСКВ, используемых в качестве инструмента для количественного определения массы (объема) ЗВ в промышленных выбросах, минимально составляет 9 измерений при каждом уровне рабочей нагрузки.

Контроль RA осуществляют при проведении процедур RAA (Relative Accuracy Audit – аудит относительной точности) и RAAT (Relative Accuracy Test Audit – аудит с использованием проверки относительной точности).

RAA проводят ежеквартально с использованием мобильного анализатора, соответствующего требованиям ASTM D6522-00 или RM.

RATA проводят не реже одного раза в четыре календарных квартала после первоначального сертификационного испытания ПСКВ, при ее функционировании в штатном рабочем режиме.

Кроме определения RA, для оценки качества результатов ПСКВ дополнительно используют ряд статистических проверок парных результатов предиктивных систем контроля выбросов и эталонных методов.

В первую очередь определяют показатель смещения результатов ПСКВ по отношению к RM. Для этих целей используют значение доверительного коэффициента  $k_{\text{доп.}}$ , рассчитанного по формуле (2). Это значение сравнивают со средним значением различий ( $\bar{d}$ ). При  $\bar{d} > k_{\text{доп.}}$  необходимо ввести поправку в результаты ПСКВ ( $PEMS_i$ ) на смещение по формуле:

$$PEMS_{i,\text{корр.}} = PEMS_i \times B, \quad (3)$$

где  $PEMS_{i,\text{корр.}}$  – скорректированное значение результатов ПСКВ;  $B$  – поправка на смещение, рассчитанная по формуле:

$$B = 1 + \frac{k_{\text{доп.}}}{PEMS_i}, \quad (4)$$

где  $\overline{PEMS}_i$  – среднее значение результатов ПСКВ.

Далее определяют значимость различий двух выборок – результатов расчета ПСКВ и результатов измерений с помощью RM, т.е. устанавливают тот факт, что эти выборки принадлежат одной генеральной совокупности. Эту проверку проводят с использованием  $F$ -критерия Фишера.

Проверку осуществляют для каждого из трех массивов данных, полученных при расчете РА.

Вычисляют дисперсии ( $S_{PEMS(RM)}^2$ ) единичных результатов расчета содержания ЗВ с помощью ПСКВ и единичных результатов измерений с использованием RM по формуле:

$$S_{PEMS(RM)}^2 = \frac{\sum_n (y_{PEMS(RM)} - \bar{y}_{PEMS(RM)})^2}{n-1}, \quad (5)$$

где  $y_{PEMS(RM)}$  – единичные результаты расчета содержания ЗВ с помощью ПСКВ или единичных результатов измерений с использованием RM, соответственно;

$\bar{y}_{PEMS(RM)}$  – средние значения результатов расчета содержания ЗВ с помощью ПСКВ или результатов измерений с использованием RM, соответственно.

Рассчитывают критерий  $F_{акт}$  по формуле:

$$F_{акт.} = \frac{S_{PEMS}^2}{S_{RM}^2}. \quad (6)$$

Сравнивают полученное значение с табулированными критическими значениями критерия  $F_{крит}$  для 95% уровня доверительной вероятности и  $1-n$  степеней свободы для каждой выборки.

Если значение критерия  $F_{акт}$  превышает критическое значение на любом уровне, то выборки не принадлежат к общей генеральной совокупности и предлагаемая модель, лежащая в основе ПСКВ, не позволяет получить достоверные результаты по выбросам.

Наконец, с помощью корреляционного анализа устанавливают параметры корреляционной взаимосвязи результатов ПСКВ и RM.

Используя все парные точки, полученные ПСКВ и RM на всех уровнях (N), рассчитывают коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\sum_N (y_{PEMS} \times y_{RM}) - ((\sum_N y_{PEMS}) \times (\sum_N y_{RM})) / N}{\sqrt{[(\sum_N y_{PEMS}^2 - (\sum_N y_{PEMS})^2 / N) \times (\sum_N y_{RM}^2 - (\sum_N y_{RM})^2 / N)]}}. \quad (7)$$

Примечание. Корреляционный анализ не проводится, если в ходе сертификации установлено, что между данными ПСКВ существует автокорреляция и/или соотношение сигнал/шум данных составляет менее четырех. Автокорреляцию устанавливают в соответствии с процедурами, приведенными в разделе 40 CFR части 75.

Результат корреляции считают допустимым при значении коэффициента  $r \geq 0,8$ .

Перечень эталонных методов для контроля точности предиктивных систем приведен в приложении А части 60 CFR. Этот перечень устанавливает описание методов измерений, принятых в качестве эталонных для определения содержания различных ЗВ в выбросах различных технологических процессов:

- метод 3А – определение концентраций кислорода и диоксида углерода в выбросах из стационарных источников (инструментальный метод);
- метод 6А – определение концентраций диоксида серы, влаги и диоксида углерода в выбросах из источников сжигания ископаемого топлива;
- метод 6С – определение концентраций диоксида серы в выбросах из стационарных источников (инструментальный метод);
- метод 7 – определение концентраций оксидов азота в выбросах из стационарных источников;
- метод 7Е – определение концентраций оксидов азота в выбросах из стационарных источников (инструментальный метод);
- метод 10 – определение концентраций монооксида углерода в выбросах из стационарных источников;

– метод 10А – определение концентраций монооксида углерода в выбросах при сертификации систем непрерывного мониторинга выбросов [3].

Также нормативные требования к ПСКВ были разработаны Евросоюзом (ЕС) в техническом комитете CEN/TC 264 «Качество воздуха». По инициативе Нидерландов был разработан стандарт в формате технической спецификации CEN/TS 17198:2018 «Stationary source emissions – Predictive Emission Monitoring Systems (PEMS) – Applicability, execution and quality assurance» («Выбросы из стационарных источников – Системы предиктивного мониторинга выбросов (ПСКВ) – Применимость, исполнение и обеспечение качества») [4].

Использование ПСКВ во многих странах-членах ЕС в данный момент невозможно в связи с отсутствием нормативных стандартов в данной области, о чем сообщается в разделе обоснования по разработке данного документа. Данные системы могут быть реализованы для контроля выбросов при невозможности использования инструментальных систем в труднодоступных местах или в экстремальных условиях окружающей среды. Отдельно выделено, что при существовании надежной и предсказуемой связи между условиями и рабочими параметрами данного процесса и содержанием ЗВ в выбросах, ПСКВ представляют собой альтернативу АИСКВ во время контроля выбросов технологического процесса.

Несмотря на это, CEN/TS 17198:2018 является действующим документом в ЕС, и, при одобрении со стороны национальных компетентных органов, может использоваться в качестве нормативного документа для сертификации ПСКВ для контроля промышленных выбросов.

Общая методология оценки качества данных по выбросам ПСКВ, заложенная в CEN/TS 17198:2018, состоит в том, чтобы требования к ПСКВ и к процедурам оценки качества ее работы, максимальным образом соответствовали положениям действующих стандартов, нормирующих применение АИСКВ, а именно EN 15267, EN 14181, EN ISO 14956, с учетом внесения необходимых корректирующих поправок, учитывающих концептуальные особенности ПСКВ.

В соответствии с технической спецификацией CEN/TS 17198:2018 применение ПСКВ для контроля выбросов возможно при выполнении следующих условий:

- доказана пригодность ПСКВ для предполагаемого использования;
- определены функциональные возможности ПСКВ;
- входные датчики ПСКВ контролируются с помощью системы проверки датчиков;
- целостность ПСКВ контролируется с помощью проверки целостности модели;
- ПСКВ соответствует требованиям данной технической спецификации;
- используемое ПО ПСКВ сертифицировано в соответствии с данной технической спецификацией.

В разделе 5.4 CEN/TS 17198:2018 сформулированы требования к программному обеспечению ПСКВ, которое подразделяется на два вида – ПО общего назначения, выполняемого в автономном режиме, задачей которого является формирование моделей прогнозирования выбросов и проверки датчиков, а также выполнение некоторых системных функций и ПО, выполняемое в режиме онлайн и обеспечивающее эксплуатацию ПСКВ и проверку качества данных по выбросам.

Процедура испытаний ПСКВ предусматривает два этапа: лабораторные испытания и испытания в полевых условиях с установкой на оборудовании технологического процесса для которого была разработана ПСКВ.

Неопределенность параметров выбросов рассчитывается с использованием сравнения прогнозных значений, полученных ПСКВ и значений параметров выбросов при измерении с помощью АИСКВ.

Неопределенность ПСКВ выражается в процентах от предельного значения выбросов и должна соответствовать нормативным требованиям для конкретной установки. Общая неопределенность ( $U_{j,ПСКВ}$ ) ПСКВ выбросов  $j$ -го вещества рассчитывается по формуле:

$$U_{j,ПСКВ} = 1,96 \times \frac{u_{j,ПСКВ}}{c_{j,ПСКВ}}, \quad (8)$$

где  $u_{j, \text{ПСКВ}}$  – стандартная относительная неопределенность прогнозного значения выбросов  $j$ -го вещества, определенная с помощью ПСКВ, %,

$C_{j, \text{ПСКВ}}$  – диапазон концентраций выбросов  $j$ -го вещества, ед. концентрации.

Требования к обеспечению качества результатов ПСКВ должны соответствовать требованиям, приведенным в стандарте EN 14181, который был разработан для автоматических измерительных систем. В данном стандарте процедуры контроля качества ПСКВ подразделяются на 3 типа, имеющих следующие обозначения QAL1, QAL2 и QAL3 (QAL – Quality Assurance Levels англ.). Кроме того, существует ежегодная проверка функциональности (AST – Annual Surveillance Test англ.), представляющая собой сокращенную процедуру QAL2.

QAL1 (Quality Assurance Levels 1 – контроль качества уровень 1) – доказательство пригодности ПСКВ для определения выбросов конкретных технологических процессов и установок. При выполнении QAL1 проводят лабораторные и полевые испытания, осуществляют оценку неопределенности результатов определения параметров выбросов, полученных с помощью ПСКВ.

QAL2 (Quality Assurance Levels 2 – контроль качества уровень 2) – основной целью является валидация (оценка правильности) результатов ПСКВ, методология которой основана на проведения сравнения результатов оценки параметров выбросов, полученных ПСКВ и результатов измерения параметров выбросов, измеренных с применением АИСКВ, установленной на контролируемой установке при различных уровнях нагрузки.

QAL3 (Quality Assurance Levels 3 – контроль качества уровень 3) – процедура, определяющая текущий контроль качества ПСКВ, в период между ежегодными проверками AST, заключается в выполнении тестирования датчиков и проведения проверок целостности модели выбросов.

AST (Annual Surveillance Test – Ежегодный аудит) – этот аудит состоит из теста для валидации ПСКВ и ее функциональной проверки, по процедурам, приведенным выше для уровня QAL2. Основное отличие проверки по QAL2 и AST состоит в том, что AST проводят в течении одного дня, а не трех, как это требуется для QAL2 [4].

В данной работе была проанализирована нормативно-техническая документация, регламентирующая применение автоматических измерительных систем контроля выбросов в РФ, требования к системам и их метрологическому обеспечению; была рассмотрена зарубежная нормативно-техническая документация, устанавливающая требования к системам ПСКВ, методы их испытаний и проверки качества систем в процессе эксплуатации; были рассмотрены методы определения метрологических характеристик и оценки показателей точности ПСКВ.

#### Список использованных источников

1. ИТС НДТ 22.1–2021. Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1647&etkstructure\\_id=1872](http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1647&etkstructure_id=1872) (дата обращения: 03.03.2023).
2. Костылева В.М., Скобелев Д.О., Пронин А.Н., Медведевских С.В. Оснащение предприятий промышленности системами автоматического контроля эмиссий // Справочник эколога. 2022. №. 5. С. 92–98.
3. U.S. Code of Federal Regulations. Title 40. Protection of Environment.
4. CEN/TS 17198:2018. CEN/TS 17198-2018 Stationary source emissions. Predictive Emission Monitoring Systems (PEMS). Applicability, execution and quality assurance.

УДК 504.75

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНОГО ИЛА В РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНОМ ТОПЛИВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ**

*Желначева П.В.<sup>1</sup> (студент), Кулешова Т.Э.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>Агрофизический научно-исследовательский институт

*e-mail: polina.zhelnacheva@mail.ru, kuleshova@agrophys.ru, nrkh25@hotmail.com*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики»*

---

Поиск возможности использования новых альтернативных источников энергии в настоящее время является актуальным. В статье рассмотрены механизмы работы растительно-микробного топливного элемента (РМТЭ) совмещенного назначения, позволяющего производить экологически чистую электроэнергию и растительную продукцию, а также осуществлять очистку сточных вод. Сделан вывод о перспективных направлениях и их использования.

**Ключевые слова**

Альтернативная энергия, растительно-микробном топливный элемент, окружающая среда, активный ил, микроорганизмы.

---

Загрязнение окружающей среды и сокращение ресурсов заставляет человека искать новые, экологически безвредные и возобновляемые источники энергии. Учитывая, что большая часть нашей современной энергии вырабатывается из ископаемого топлива, это создает серьезные проблемы, когда речь идет о предоставлении значимого количества устойчивой электроэнергии при одновременном смягчении последствий изменения климата [1]. В последние годы были разработаны другие альтернативные источники – биоэлектрохимические системы, такие как растительно-микробные топливные элементы (РМТЭ), для выработки электроэнергии посредством биологических взаимодействий растений и микроорганизмов. Реально разрабатываемые РМТЭ используют органическое вещество сточных вод различного происхождения. Это открытые системы, где в той или иной степени происходит селекция электрогенных сообществ. В растительно-микробных топливных элементах, работающих на активном иле и других сложных субстратах на аноде, обычно образуется биопленка, содержащая кроме бактерий – электрогенов сложную ассоциацию микроорганизмов. Микрофлора активных илов, очищающих многокомпонентные сточные воды химических производств, многообразна и зависит от состава сточных вод, технологического режима работы аэротенков и правил использования в общей сложности комплекса очистных сооружений.

Решаемыми задачами были поставлены изучение электрогенных свойств активного ила, полученного в процессе биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, и регистрация динамики биоэлектрических потенциалов, создаваемых в РМТЭ. Растительно-микробный топливный элемент основан на двух доказанных процессах – производство ризодепозитов живыми растениями и генерация электричества из органических соединений в микробном топливном элементе [2]. Корневая система растения производит и выпускает различные виды органических соединений в почву: органические кислоты, полимерные углеводы и ферменты, мертвые клеточные материалы и газы, которые окисляются электрически активными бактериями и другими обитающими в корнях микробами. Другие вовлеченные реакции включают химическое окисление микробнопродуцируемых восстановителей

---



(гуминовые кислоты, соединения серы), микробное окисление серы до сульфата, окисление аммиака до нитритов или нитратов, превращение карбоната в органический углерод самоподдерживающимися бактериями и гидролиз углеводов до ацетата. На рис. 1 представлена схематическая иллюстрация механизма генерации электричества в растительно-микробном топливном элементе.

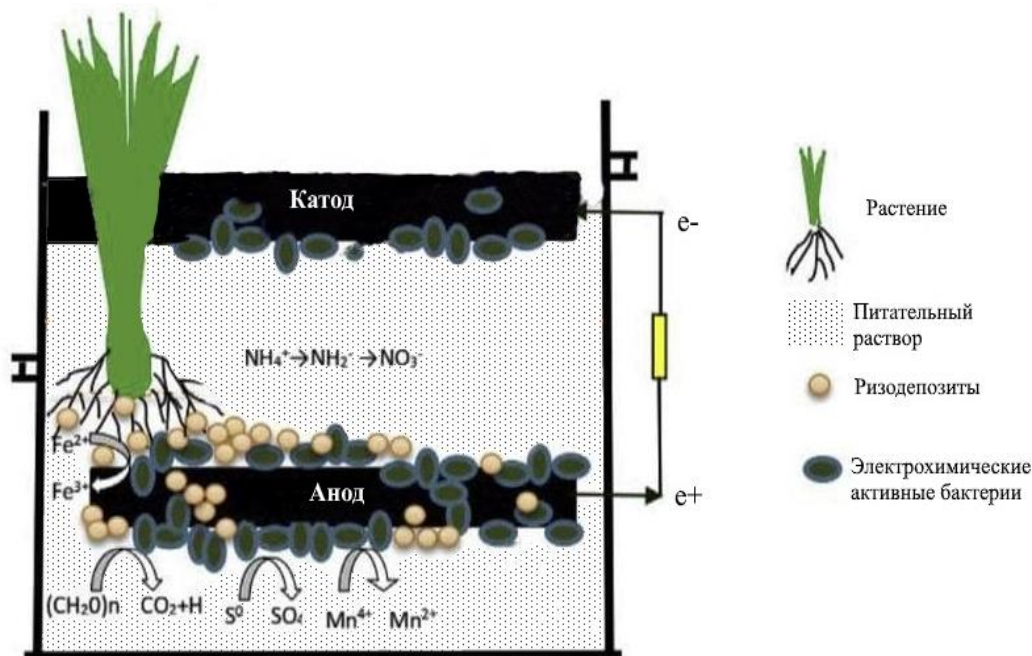


Рис. 1. Схематическая иллюстрация преобразования субстрата в растительно-микробном топливном элементе [3]

Часть образующихся в процессе фотосинтеза и растительного метаболизма органических веществ выводится через корни в корнеобитаемую среду (ризосферу) в виде ризодепозитов. Живущие вокруг корней бактерии расщепляют органические вещества, выделяя углекислый газ и высвобождая протоны и электроны. Одним из перспективных направлений проведения исследования в области использования биотопливных элементов представляется совмещение очистки сточных вод и получения электричества в растительно-микробных топливных элементах [4]. В настоящий момент основной технологией в биологической очистке сточных вод является применение активного ила, который в свою очередь является окисляющим компонентом стоков.

В ходе проведенного нами исследования было изучены возможности активного ила генерировать электричество в РМТЭ. Для этого в качестве субстрата добавляли раствор Кнопа в различных пропорциях. Растения выращивали по технологии паноупоники в условиях интенсивной светокультуры, в качестве фитотест-объекта выбран кресс-салат сорта Ажур. Экспериментальные варианты топливных элементов на основе активного ила, различающиеся по составу раствора показаны в таблице.

Таблица

**Экспериментальные варианты топливных элементов на основе активного ила**

Параметры	РМТЭ	
	Ячейка № 1	Ячейка № 2
Доза ила по объёму, мл	400	200
Раствор Кнопа, мл	–	200

Примечание: таблица составлена на основании собственных исследований.

В результате создания РМТЭ на основе активного ила получены следующие результаты. Разбавление активного ила раствором Кнопа в два раза приводило к пропорциональному падению разности потенциалов, продемонстрировано на рисунке 2.

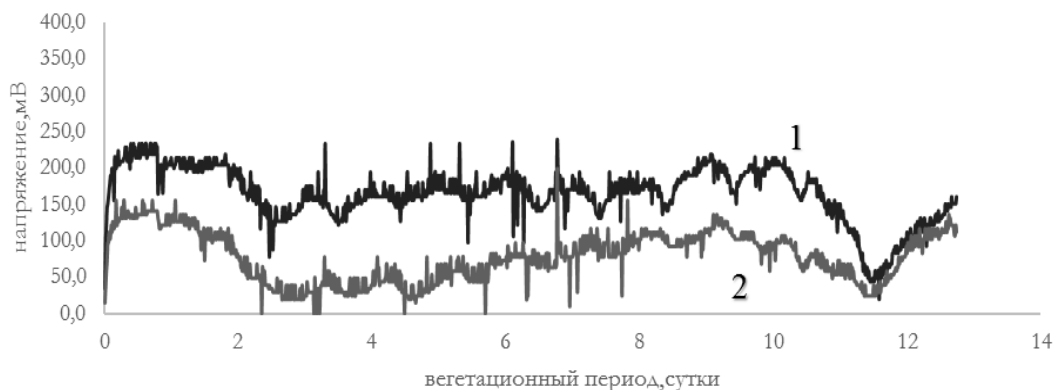


Рис. 2. Динамика биоэлектрического потенциала в корнеобитаемой среде на основе активного ила: кривая 1 – активный ил; кривая 2 – 1:1 активный ил: раствор Кнопа

В ходе данного исследования был изучен механизм растительно-микробного топливного элемента и доказано, что активный ил играет потенциалообразующую роль в характеристиках РМТЭ. Сточные воды содержат большое количество неорганических соединений азота и фосфора. Сбрасывание сточных вод, содержащих неорганические соединения обратно в водоемы нежелательно, так как это стимулирует процесс эвтрофикации. Вместо того чтобы выливать сточные воды в водоемы, можно пропускать их через РМТЭ. Микроорганизмы будут поглощать азотные и фосфорные соединения из воды, так как они нужны им для роста [5]. Таким образом, разработка РМТЭ с использованием растением и активного ила является актуальной и перспективной задачей в области «зеленой» энергетики.

#### Список использованных источников

1. Дебабов В.Г. Производство электричества микроорганизмами // Микробиология. 2008. Т. 77. №. 2. С. 149–157.
2. Кулешова Т.Э., Иванова А.Г., Галушко А.С., Кручинина И.Ю., Шилова О.А., Удалова О.Р., Жестков А.С., Панова Г.Г., Галль Н.Р. Растительно-микробные топливные элементы на основе неинвазивных электродных систем. // Альтернативная энергетика и экология. 2020. №. 34–36. С. 44–58.
3. Василов Р.Г., Решетилов А.Н., Шестаков А.И. Биотопливные элементы // Природа. 2013. №. 12. С. 65-70.
4. Кулешова Т.Э., Галль Н.Р., Галушко А.С., Удалова О.Р., Вертебный В.Е., Панова Г.Г. Растительно-микробный топливный элемент на примере салата при культивировании методом панопоники // Аграрный научный журнал. 2021. №. 1. С. 24–28.
5. Беззубцева М.М., Волков В.С. Будущее энергетики человечества: учебное пособие // Министерство сельского хозяйства РФ, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет». – Санкт-Петербург: СПбГАУ. 2014. 132 с.

УДК 628.135

## ОСОБЕННОСТИ СУДОВЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

*Ишутина Е.О.<sup>1</sup> (студент), Ишутина Е.О.<sup>2</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Кустикова М.А.<sup>2</sup>*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский морской технический университет*

<sup>2</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: katuha31-1997@mail.ru*

---

Судно является объектом с повышенной пожарной опасностью по причинам повышенного скопления людей, наличия легковоспламеняющихся средств на борту, ограниченность территорий и ограниченная доступность спецтехники в случае возникновения чрезвычайного происшествия. При выборе средств пожаротушения, необходимо учитывать не только их эффективность при пожаре, но и воздействие на организм человека и окружающую среду.

### **Ключевые слова**

Судовые системы пожаротушения, спринклерная и дренчерные системы, пеннообразователь, углекислота, пожаротушение фреонами.

---

Судно представляет собой сложную систему и тушение пожаров осложняется наличием легковоспламеняющихся материалов и ограниченности территории. При отсутствии возможности эвакуации экипажа и пассажиров использование химических веществ для пожаротушения может представлять угрозу человеческому здоровью. На судне в зависимости от горючих материалов используют разные виды систем пожаротушения, работающие на различных веществах: вода, пена, порошок, ГОТВ, фреоны, хладоны. И некоторые из этих веществ могут представлять опасность для человека в закрытом помещении, а также оказывать негативное воздействие при попадании в почву или стоки.

Основным устройством для тушения пожара на судне является судовая система пожаротушения. Это группа судовых систем, предназначенных для подачи огнегасящих средств к очагу возгорания. Требования пожарной безопасности регламентируются Приказом Министерства транспорта РФ от 22.04.2003 N 121 «Об утверждении Правил пожарной безопасности на судах внутреннего водного транспорта Российской Федерации».

При выборе огнегасящих веществ, необходимо учитывать класс пожаров [1]:

1. А – твердые материалы.
2. В – горючие жидкости.
3. С – газообразные вещества.
4. D – металлы.
5. Е – оборудование под напряжением.

На пассажирских пароходах в основном установлены судовые системы пожаротушения использующие воду или пену, преимущественно безопасные для людей. На танкерах установлены судовые системы пожаротушения, использующие пену или порошок. На борту судов, перевозящих оборудование под напряжением, в качестве огнегасящего вещества используют углекислоту [1].

Пенная система тушения показана на рисунке 1.

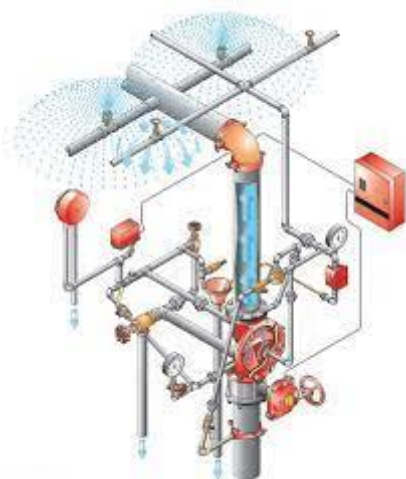


Рис. 1. Пенная система пожаротушения

В зависимости от химического состава ПО подразделяются на [2]:

- синтетические;
- фторсинтетические;
- протеиновые;
- фторпротеиновые.

Воздействие на организм человека заметно при длительном контакте с пенообразователем или ПАВ. Длительное использование фторсодержащих ПАВ в составе пены замедляет пролиферацию клеток, т.е. снижает их размножение [2].

Во время процесса тушения очага возгорания пена разрушается и пенообразователи проникают в грунт и водоемы, что может привести к гибели флоры и фауны. Степени опасности зависит от состава пенообразователя и указана в таблице 1 [2].

Таблица 1

#### Экологические характеристика некоторых пенообразователей

Пенообразователь, ПАВ	Класс опасности	LD <sub>50</sub> , г/кг	ПДК, мг/л	Химическая и биохимическая разлагаемость
ПО-3А	3	3	–	–
ПО-6К	3	1,5	0,5	Жесткий
ПО-1	4	7	–	Токсичен
Сульфонол НП-3	–	2	–	Токсичен
ПО-3АИ	3	3,75	0,5	Мягкий
ПО-3НП	4	5,3	0,5	Мягкий
ПО-6ТС	4	6,8	0,5	Мягкий
ПО-6НП	4	8,9	0,5	Мягкий
Морской	4	6,9	0,5	Мягкий
Форэтол	4	15,06	–	Жесткий
Универсальный	4	–	–	Жесткий
Хлористый сульфонол (алкибензолсульфонат Na)		3	0,1 (0,5)	Токсичен

Порошковая система пожаротушения показана на рисунке 2.

При тушении очага возгорания используются мелкоизмельченные соли. Состав большинства порошков не токсичен и не оказывает серьезного воздействия на организм человека и при попадании в окружающую среду. Но при терморазложении у некоторых порошков образуются токсичные вещества, такие как аммиак, оксиды углерода, фосфора и азота, указанные в таблице 2 [3]. Что касается воздействия на окружающую среду, то использование порошков при тушении пожаров является одним из безвредных средств пожаротушения.

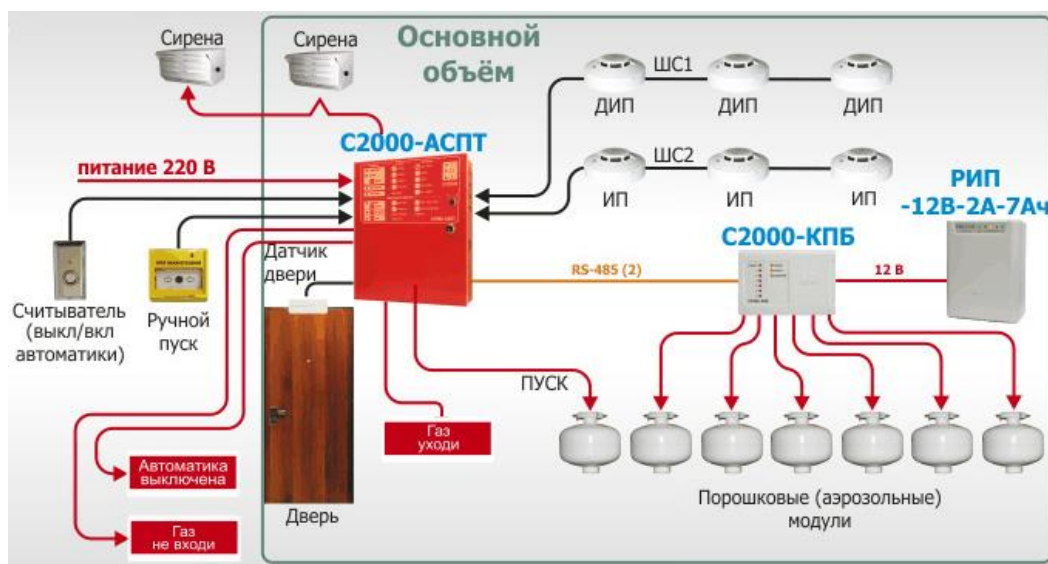


Рис. 2. Модуль порошковой системы пожаротушения

Таблица 2

**Продукты терморазложения порошковых веществ**

Вещества в огнетушащем порошке	$t_{разл}, ^\circ C$	$t_{пл}, ^\circ C$	Продукты разложения
$(NH_4)_2SO_4$	218	–	$NH_3, SO_2, SO_3$
$(NH_4)_2HPO_4$	70	–	$NH_3, P_2O_5$
$NH_4H_2PO_4$	–	190	$NH_3, P_2O_5$
$SiO_2$	–	1610-1730	$SiO_2$
$K_2CO_3$	–	891	$CO_2, K_2O$
$KHCO_3$	100	–	$CO_2, K_2O$
$K_2SO_4$	–	1070	$SO_2, SO_3, K_2O$
$Na_2CO_3$	–	852	$CO_2, Na_2O$

Газовая система пожаротушения указана на рисунке 3.

При тушении очага возгорания применяются газовые огнетушащие вещества (ГОТВ). По принципу действия, делятся на три группы [4]:

- вытесняют кислород;
- замедляют процесс горения (ингибиторы);
- охлаждают процесс горения (охладители).

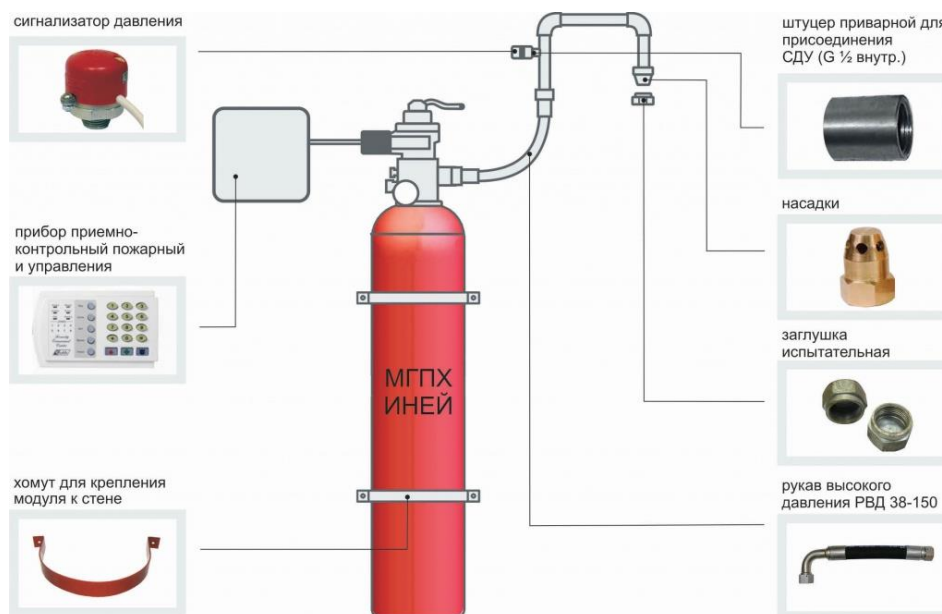


Рис. 3. Модуль газовой системы пожаротушения

По нормам пожарной безопасности НПБ 88-2001 в системах пожаротушения используются газы, указанные в таблице 3 [4].

Таблица 3

**Газы, используемые в системе газового пожаротушения**

Сжиженные газы	Сжатые газы
Оксид углерода (CO)	Азот (N)
Хладон 23 (CFH)	Аргон (Ar)
Хладон 125 (CFH)	Инерген:
Хладон 218 (CF)	Азот – 52 % (об.)
Хладон 227 ea (CFH)	Аргон – 40 % (об.)
Хладон 318Ц (CFЦ)	Оксид углерода – 8 % (об.)
Шестифтористая сера (SF)	

Тушение газами не оказывает сильного воздействия на людей и окружающую среду в малом количестве, но при концентрации в десятки процентов может вызвать удушье и отравление.

Лодочная объемная химическая защита (ЛОХ) показана на рисунке 4.

Данный вид систем пожаротушения применяется на атомных подводках. Принцип работы системы заключается в вытеснении кислорода. В качестве гасящего вещества используется фреон – тетрафтордибромэтан (хладон 114 В2). Хладон 114 В2 является слабогорючей жидкостью и малотоксичным веществом, но при температуре выше 400 разлагается с образованием высокотоксичных продуктов - фтористого водорода и фторбромфосгена [4].

В замкнутом пространстве представляет смертельную угрозу для членов экипажа.



Рис. 4. Лодочная объемная химическая защита

Пожары на судах являются одним из внушительных бедствий с экономическими и экологическими последствиями, нередко с человеческими жертвами. Причиной пожаров являются несоблюдение норм и правил пожарной безопасности, неисправность технологического оборудования, а также «человеческий фактор». Несмотря на разновидность систем пожаротушения и их огнегасящую эффективность, при использовании химических веществ наблюдается негативное воздействие на человеческий организм, что в условиях замкнутой территории, может привести к летальному исходу.

В связи с этим, вопросы безопасности людей и сохранение судна при пожарной опасности, являются актуальными.

**Список использованных источников**

1. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. – М. : Знак, 2000. 464 с.
2. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах : Справочник / Я.М. Грушко, 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия. Ленинградское отделение. 1982. 216 с.
3. Селиверстов В.И. Порошковое автоматическое пожаротушение. Особенности и проблемы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/192/22548.php> (дата обращения: 28.03.2023).
4. Иличкин В.С., Сидорин Г.И., Елисеев Ю.Н., Белоусов Ю.Ю. Оценка опасности токсического воздействия огнетушащих газов и аэрозолей, применяемых для объемного пожаротушения : метод. пособие. – М. : ВНИИПО МЧС России. 2005. 85 с.

УДК 502.08

## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

*Ишутина Е.О.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: katuha31-1997@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов»*

---

Антропогенная деятельность является основным источником углекислого газа в атмосфере и приводит к росту выбросов CO<sub>2</sub>. Одним из наиболее перспективных средств уменьшения количества диоксида углерода в промышленном масштабе является его абсорбция. Из всех способов разделения газовой смеси, наиболее подходящим для многих промышленных процессов является химическая абсорбция. В процессе улавливания химическими растворителями учитываются следующие условия: давление, низкая концентрация диоксида углерода, объем дымовой смеси.

### **Ключевые слова**

Диоксид углерода, поглощение газа, дымовая смесь, абсорбция газов, жидкие растворители, низкоуглеродная энергетика.

---

Согласно докладам Межправительственной группы экспертов, улавливание и хранение диоксида углерода является перспективным решением по снижению количества выбросов диоксида углерода. Среди существующих способов разделения газа, физическая и химическая абсорбция применяются в промышленных масштабах и в производстве энергии из ископаемого топлива.

Физическая абсорбция основана на законе Генри-Дальтона, т.е. растворимости CO<sub>2</sub> в растворе без химической реакции: при постоянной температуре растворимость газа CO<sub>2</sub> в жидкости прямо пропорциональна давлению этого газа над раствором. В этом способе используется парциальное давление и низкие температуры [1].

Химическая абсорбция работает путем образования слабой связи между CO<sub>2</sub> и жидким растворителем, происходит при низком парциальном давлении и низкой температуре. Несмотря на то, что первый жидкий растворитель для улавливания диоксида углерода был запатентован в 1930-е годы, производство цемента, чугуна и стали, электроэнергии требует разработки более эффективных составов растворителей. Большой объем общей смеси газов с низкой концентрацией CO<sub>2</sub> в нем, присутствие оксидов азота, серы и твердых частиц приводит к быстрому расходу растворителя и снижению эффективности поглощения [1].

### **Растворители на основе аминов**

Растворители на основе аминов применялись для поглощения CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S на газоочистных сооружениях с 1950-х годов. Являются наиболее развитой технологией по сравнению с другими растворителями. Диоксид углерода поглощается с образованием растворимой карбонатной соли. Абсорбер работает при температуре ниже 60°C и давлении 760 мм.рт.ст. Реакция обратимая, диоксид углерода высвобождается при нагревании раствора с карбонатной солью. Выпаривание CO<sub>2</sub> происходит при 120°C и давлении в диапазоне от 1,8 до 3 бар [2]. Схема установки для улавливания представлена на рисунке.

Амины подразделяют на первичные, вторичные и третичные. Разница в замещение центрального азота. Первичные и вторичные амины имеют атомы водорода в незамещенных валентных позициях центрального азота. Третичные амины полностью замещены центральным азотом. Эта структурная характеристика играет важную роль в способности растворителей удалять газы [2].

---



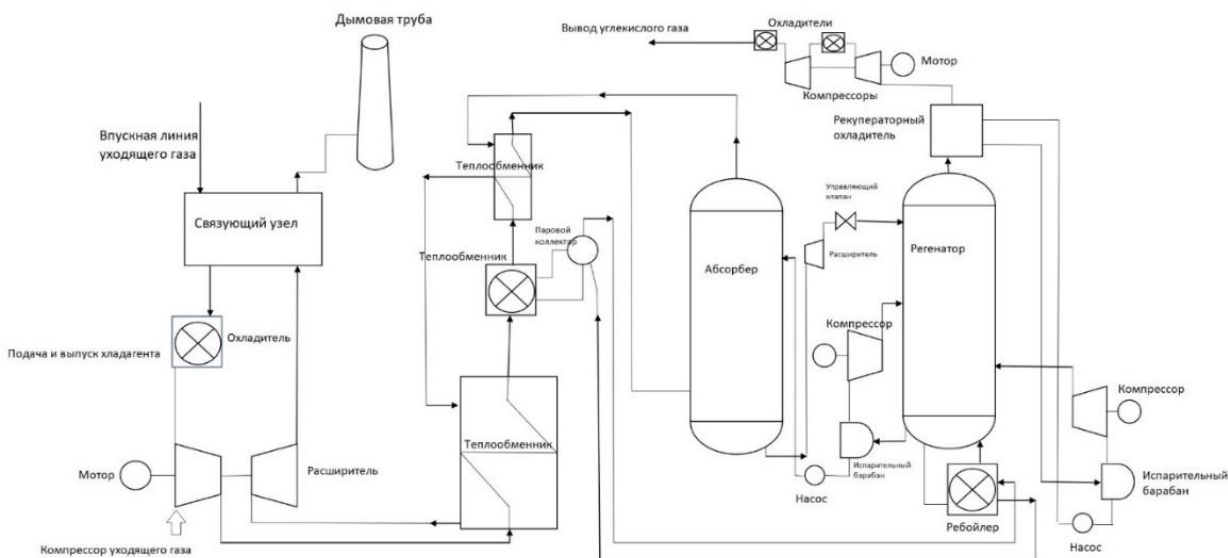


Рисунок. Схема установки для улавливания

Растворители на основе аминов применяются в уже действующих установках для улавливания диоксида углерода после сжигания первичного топлива. Обычно захватывается небольшая доля  $\text{CO}_2$  (около 3–15%), присутствующего в потоке дымового газа, в котором главной составляющей является азот (из воздуха). В таблице 1 представлены наиболее широко используемые амины для захвата доли  $\text{CO}_2$  [3].

Таблица 1

**Растворители на основе аминов, используемые в промышленных процессах**

Название	Использование в процессе очистки газа	Химическая формула	Величина поглощаемого $\text{CO}_2$ , %
Моноэтаноламин (MEA)	Природный и синтез-газ	$\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \text{OH}$	0,50
Дигликольамин (DGA)	Синтез-газа	$(\text{HO} - \text{C}_2\text{H}_4) - \text{O} - (\text{C}_2\text{H}_4 - \text{NH}_2)$	0,25-0,35
Диэтаноламин (DEA)	Природного газа с высоким содержанием $\text{COS}$ и $\text{CS}_2$	$(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2 \text{NH}$	0,70–1,00
Диизопропаноламин (DIPA)	Основной компонент растворителей ADIP и Sulfinol, для очистки СПГ	$(\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2)_2 \text{NH}$	0,43–0,22
Метилдиэтаноламин (MDEA)	Основное компонент растворителя UCARSOL для очистки газов в НПЗ	$\text{CH}_3 \text{N}(\text{C}_2 \text{H}_4 \text{OH})_2$	0,10–0,30

Несмотря на многолетнее и широкое применение, аминовые растворители имеют ряд недостатков:

- регенерация растворителя проходит при высокой температуре, следовательно с высокими энергозатратами;
- применение растворителя вызывает коррозию материала;
- деградация растворителя в присутствии  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_x$  и других примесей, таких как частицы,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  и  $\text{Hg}$ ;
- увеличение производительности.

### **Карбонат калия**

Карбонат калия  $KCO_3$  также является одним из перспективных абсорбентов, благодаря низкой стоимости, низкой токсичности, стойкости к разложению и малым условиям энтальпии. Серьезный недостаток заключается в высокой энергозатратной регенерации и низкой скорости при массопереносе.

Для решения этих проблем добавлялись промоторы: первичные и третичные амины, глицин, карбоангидраза, пиперазин. Скорость поглощения увеличивалась в 45 раз, однако состав растворителя с промоторами приводит к коррозии оборудования [4].

### **Растворители на основе ионных жидкостей**

Растворители на основе ионных жидкостей имеют ряд преимуществ перед другими растворителями. Ионные жидкости – это соли, которые остаются жидкими при температуре меньше  $100^\circ C$ . Могут избирательно поглощать кислые газы, такие как  $CO_2$  и  $SO_2$ , при относительно низком потреблении энергии на регенерацию [5]. Простейшие ионные жидкости содержат один катион и один анион.

Ионные жидкости взаимодействуют с  $CO_2$  как с физическим растворителем. Повышают растворимость  $CO_2$  в соответствии с законом Генри, то есть при постоянной температуре растворимость газа в жидкости пропорциональна давлению этого газа над раствором [5]. Также для функциональности добавляют аминогруппы, это способствует повышению поглотительной способности. ИЖ являются нелетучими соединениями, что предполагает низкие потери растворителя.

Недостатки ИЖ выражены в следующем:

1. Высокая вязкость ИЖ, что ограничивает их массообменную способность.
2. Высокая стоимость по сравнению с МЭА.

Однако большинство ИЖ термически и электрохимически стабильны, имеют высокую температуру возгорания и испарения [5]. Вязкость ИЖ систематически уменьшается при их смешивании с молекулярными со-растворителями. К со-растворителям относится и  $CO_2$ , а также прочие газы, взаимодействие которых с катионом или анионом ИЖ достаточно сильно. При неограниченном смешивании ион-молекулярной системы вязкость уменьшается экспоненциально при увеличении молярной доли со-растворителя. Данный комплекс физико-химических свойств способствует уменьшению потерь растворителя при циклической эксплуатации из-за испарения и нежелательных побочных реакций. Широкий температурный диапазон, в котором ИЖ остаются жидкими, является преимуществом для использования в самых различных областях в качестве растворителя [5]. Способность эффективно растворять как полярные, так и неполярные соединения ускоряет развитие реакционных сред на основе ИЖ. ИЖ универсальны по своей природе, потому что большинство катионов и анионов могут быть комбинированы для настройки необходимых свойств.

### **Смеси растворителей**

Для решения проблем деградации растворителя или коррозии оборудования при использовании аминовых растворителей добавляют активные добавки. Такие добавки повышают эффективность поглощения  $CO_2$  при химической абсорбции и снижают циркуляцию общего растворителя [2].

Смесью могут выступать водные растворы с добавлением первичного, вторичного и третичного аминов. Смешение растворителей также способствует снижению энергозатрат на регенерацию растворителя и повышает устойчивость к его деградации. Добавление пиперазина способствует увеличению скорости реакции поглощения, причем как к растворителю на основе аминов, так и на основе карбоната калия [2].

В таблице 2 представлены наиболее перспективные смеси растворителей [2].

Смешивание вышеперечисленных растворителей показало следующие улучшения [2]:

- увеличение термодинамической эффективности;
- низкая деградация растворителя;
- увеличение стойкости к коррозии;
- доступность веществ;

- высокие показатели абсорбции;
- низкие затраты на регенерацию растворителя (по сравнению с использованием аминовых растворителей).

Таблица 2

**Наиболее релевантные смеси растворителей**

Растворитель	Аббревиатура
Piperazine and potassium carbonate	PZ+ K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
2-amino-2-methyl-1-propanol and piperazine	AMP+ PZ
2-amino-2-methyl-1-propanol and 1,2-ethanediamine	AMP+ EDA
3-methylamino propylamine and dimethyl-monoethanolamine	MAPA + DMMEA

В настоящее время самыми развитыми способами поглощения диоксида углерода являются физическая и химическая абсорбция, которые используются в действующих установках улавливания CO<sub>2</sub>. В данной работе был приведен анализ наиболее распространенных растворителей, используемых в химической абсорбции. Исследования в данной области показывают, что перспективным направлением является добавление добавок-промоторов к аминовым растворителям с целью уменьшить количество недостатков при их использовании. Также альтернативными растворителями можно считать ионные жидкости из-за широкого температурного диапазона жидкой фазы, термической стабильности, низкой теплоемкости, малого давления насыщенных паров.

**Список использованных источников**

1. Rubin E.S., Mantripragada H., Marks A., Versteeg P., Kitchin J. The outlook for improved carbon capture technology // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2012. №. 38(5). Pp. 630–671.
2. Kohl L., Nielsen R.B. *Alkanolamines for Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide Removal*. Gas Purif. 5th ed. Houston, Texas: Gulf Publication. 1997. 900 p.
3. Rochelle G.T., Bishnoi S., Chi S., Dang H., Santos J. *Research Needs for CO<sub>2</sub> Capture from Flue Gas by Aqueous Absorption/Stripping*. United States: US Department of Energy—Federal Energy Technology Center. Austin. 2001.
4. Установка с использованием горячего карбоната калия в качестве растворителя. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.co2capsol.com/faq> (дата обращения: 25.02.2022).
5. Zeng S., Zhang X., Bai L., Zhang X., Wang H., Wang J. et al. Ionic-liquid-based CO<sub>2</sub> capture systems: Structure, interaction and process. *Chemical Reviews*. 2017. №. 117. Pp. 9625–9673.

УДК 661.961

## ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ИЗ ОТХОДОВ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

*Волков А.Р.<sup>1</sup> (аспирант), Макаренко Е.Д.<sup>1</sup> (аспирант), Ким А.А.<sup>1</sup> (студент)*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: kim-anastasia@bk.ru*

---

В работе рассмотрены векторы и причины перестройки торгово-экономических и энергетических отношений России с Китаем, определены перспективы развития мировых водородных проектов, проанализированы действующие мировые и российские стартапы, производящие водород из отходов, оценена возможность привлечения «зеленых» инвестиций для поддержания таких проектов.

### **Ключевые слова**

Низкоуглеродный водород, водородная энергетика, энергорынок, стартап, утилизация отходов.

---

Спрос на водород согласно данным Международного энергетического агентства, составил в 2020 году около 90 млн тонн, из них более 70 млн тонн использовались в качестве чистого водорода и менее 20 млн тонн в смеси с углеродсодержащими газами в производстве метанола и стали. Согласно Forbes, рынок низкоуглеродного водорода к 2030 году составит \$300 млрд.

Учитывая нынешнюю политическую ситуацию, есть значительная вероятность смещения торгово-экономического вектора, а также сужение экспортного окна Российских поставок энергоносителей с Европейского союза на Китай. Речь не идет об ориентации на все страны Азиатско-Тихоокеанского региона, поскольку энергорынки Японии и Южной Кореи, исключенных на момент написания статьи, из списка дружественных стран, для России закрыты. Прогнозируемый объем экспорта Российского водорода на рынок Китая оценивается в 30 млн тонн к 2030 году. Однако, даже в случае переориентации Российского сырьевого импорта на Китай избежать трансграничного углеродного регулирования вероятнее всего не удастся, поскольку в 2021 году в Китае начала функционировать Национальная система торговли выбросами (ETS), размещенная на платформе Шанхайской биржи окружающей среды и энергетики. Этот шаг демонстрирует намерение страны вырваться в лидерство в зеленой гонке, а также создать крупнейший по объему углеродный рынок в мире [1]. В ближайшее время этим инструментом планируется охватить 8 наиболее углеродоемких отраслей, таких как: нефтехимическая, строительная, авиационная и химическая. Это позволит Китаю достичь пика по выбросам углекислого газа к 2030 году, и к 2060 достичь полной углеродной нейтральности. На сегодняшний день более 60% от общей мощности Китая приходится на теплоэлектростанции, в частности угольные и газовые. Именно энергетический сектор является эмитентом более трети от общего объема выбросов углерода. По этой причине первый этап реализации проекта охватит 2225 электростанций, эмитирующих около 40% от общего объема, что составляет более 4 миллиардов тонн, выбросов диоксида серы в Китае.

Учитывая специфику экономики России, являющейся сегодня в большей степени сырьевой страной, чем технологической и имеющей суммарное преобладание производства товаров с низкой надбавленной стоимостью, то согласно оценкам экспертов, углеродное законодательство в России начнет функционировать не раньше 2024–2025 года, поскольку значительно снизить углеродоемкость нефти и газодобывающего сектора невозможно [2–5].

До изменения политической картины в феврале 2022 года Россия заявляла о намерении занять 20% мирового рынка водорода к 2030–2035 гг. Вероятнее всего эти показатели по объективным причинам будут пересмотрены, как и планы по созданию Российского водородного союза. Это подтверждается заявлением Министерства Энергетики России.

---

Прогнозируемое снижение импортируемого водорода может снизиться с 2,2 млн до 1,4 млн тонн в год. Также, под вопросом своевременная реализация запланированных Европейских водородных проектов, по данным агентства Блумберг многие из них поставлены на паузу.

На сегодняшний день наибольшие объемы водорода в России производятся из природного газа методом парового риформинга и наиболее экономически эффективные виды получаемого водорода: серый, голубой, бирюзовый и желтый.

При всех видимых плюсах перехода к водородной экономке, существует ряд очевидных вызовов, связанных и высокой стоимостью производства водорода, поскольку он является вторичным энергоресурсом и в чистом виде его добыча напрямую из недр Земли не возможна; недостаточными темпами развития инфраструктуры для эффективного потребления водорода, отсутствием в России комплексных разработанных систем стандартов безопасности на всех этапах жизненного цикла водорода, а также опасениями экологов-экспертов касаемых последствий неминуемых утечек водорода на этапе транспортировки. Исследования указывают, что утечки водорода в атмосферу несут гораздо большую опасность, чем диоксид углерода, водород способен создавать соединения с другими парниковыми газами, а также увеличивать срок жизни атмосферного метана, усиливая парниковый эффект и ускоряя рост температуры. Угроза утечек может быть снижена, например посредством производства водорода в непосредственной близости от мест потребления и частичный переход на отходы в качестве первичного энергоресурса.

Ярким примером получения водорода, который некоторые источники относят к зеленому типу, относится Калифорнийский стартап WAYS2H. В качестве первичного энергоресурса будут служить твердые бытовые и медицинские отходы и пластмассы. Очевидно, что стоимость произведенного таким образом водорода будет гораздо ниже полученного и использованием энергии ВИЭ для реакции электролиза, поскольку сырье имеет отрицательную стоимость. Таким образом, решается как минимум 2 проблемы: снижение стоимости водорода, что сделает его более доступным для бытового использования широкими слоями населения, а также будет решена проблема по утилизации отходов. Бесспорным плюсом данной технологии является возможность бесперебойной круглосуточной и круглогодичной работы, поскольку нет зависимости от погодных условий и их влияния на работу ВИЭ. Также важен факт того, что ТКО содержит значительный объем (до 45%) биомассы, являющейся при деградации источником метана, который несет большее негативное влияние на климат, чем углекислый газ. Технология не считается сжиганием, хотя и связана с термической обработкой.

Еще одним хорошим примером является Японская технология, которая позволяет получать водород из пластиковых отходов. Так, например, в одном из японских городов – Кавасаки открылась гостиница, энергию для которой получали из переработанных пластиковых бутылок, пакетов и зубных щеток. Такой подход позволяет точно использовать водородную энергетику, как вторичный материальный ресурс для получения топлива для жилого помещения. Также это исключает экологические риски транспортировки, так как очень часто происходят утечки водорода при его перевозке на большие расстояния [6–11].

В России также есть схожий проект, направленный на использование отходов, в качестве вторсырья. Ученные Томского политехнического университета разработали технологию, позволяющую получать из отходов (древесных опилок, угольной пыли, шлама, старых крышек) синтез-газ, в котором содержится высокий уровень водорода, порядка 20–40 процентов [12, 13]. Становится ясно, что потенциал в направлении ответственной водородной энергетики и описанного в статье подхода в России имеет быть, так как на базе российских научных школ успешно реализуются подобные проекты.

Для того, чтобы данная отрасль была более рентабельной и привлекательной для организаций и компаний, государство оказывает поддержку на реализацию зеленых проектов. Например, в России стали выпускать так называемые «зеленые» облигации, в 2022 году они были размещены на Московской бирже, теперь этот финансовый инструмент можно приобретать не только компаниям, но и физическим лицам. Все полученные за счет данных облигаций денежные средства будут направлены на реализацию экологически значимых

проектов, что позволит компаниям наиболее эффективно реализовывать свою «зеленую» деятельность.

Таким образом, существует тренд перехода на водородную энергетику, обусловленный острой экологической ситуацией в мире, в рамках которого, одними из ключевых партнеров для России являются страны Азиатско-Тихоокеанского региона, обусловлено это событиями, произошедшими в феврале 2022 года. Они готовы импортировать водородное топливо, однако необходимо помнить о возникающих проблемах при его производстве, так, например, зеленый водород является более чистым топливом, но его производство имеет экономически не выгодный характер для России. Однако, рынок сегодня трактует новые правила, и экологическая безопасность является основополагающей.

### Список использованных источников

1. Ministry of ecology and environment the people's republic of China. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://english.mee.gov.cn/> (дата обращения: 20.10.2022).
2. Аксютин О., Ишков А., Романов К. Роль российского природного газа в развитии водородной энергетики. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://energypolicy.ru/o-aksyutin-a-ishkov-k-romanov-r-teterevlev-rol-rossijskogo-prirodnogo-gaza-v-razvitiivodorodnoj-energetiki/gaz/2021/12/25/>.
3. Водородное будущее. Возможности для России стать лидером новой международной отрасли. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://blogs.forbes.ru/author/alisher\\_kalanov/](https://blogs.forbes.ru/author/alisher_kalanov/) (дата обращения: 20.10.2022).
4. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf> (дата обращения: 20.10.2022).
5. Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Ветрова М.А. Глобальные климатические вызовы, структурные сдвиги в экономике и разработка бизнесом проактивных стратегий достижения углеродной нейтральности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2022. Т. 38. №. 3. С. 331–364.
6. Ehlig-Economides C., Hatzignatiou D. G. Blue Hydrogen Economy-A New Look at an Old Idea // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – OnePetro. 2021. DOI: 10.2118/206282-MS.
7. Collins L. It's Much Cheaper to Produce Green Hydrogen from Waste than Renewables. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ways2h.com/its-much-cheaper-to-produce-green-hydrogen-from-waste-than-renewables/> (дата обращения: 20.10.2022).
8. EU's Move to Replace Gas With Hydrogen Held Up by Red Tape. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-09/eu-s-move-to-replace-gas-with-hydrogen-fraught-by-red-tape> (дата обращения: 20.10.2022).
9. Fugitive Hydrogen Emissions in a Future Hydrogen Economy. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1067137/fugitive-hydrogen-emissions-future-hydrogen-economy.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1067137/fugitive-hydrogen-emissions-future-hydrogen-economy.pdf) (дата обращения: 20.10.2022).
10. It's much cheaper to produce green hydrogen from waste than renewables. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.rechargenews.com/transition/its-much-cheaper-to-produce-green-hydrogen-from-waste-than-renewables/2-1-801160> (дата обращения: 20.10.2022).
11. Naim M., Muharammi F., Lamki B. Hydrogen Integrates Petroleum and Power Industries // Society of Petroleum Engineers, SPE 137938. 2010. DOI: 10.2118/137938-MS.
12. Производство «зелёного» водорода из бытовых отходов с нулевыми выбросами углерода. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://renen.ru/proizvodstvo-zelyonogo-vodoroda-iz-bytovyh-othodov-s-nulevymi-vybrosami-ugleroda/> (дата обращения: 20.10.2022).
13. Ученые ТПУ разработали технологию получения водорода из твердых отходов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/ucenye-tpu-razrabotali-tehnologiu-polucenia-vodoroda-iz-tverdyh-othodov> (дата обращения: 20.10.2022).

УДК 504.03

## ОТНОШЕНИЕ ЛЮДЕЙ К ЦУР И РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ГОСУДАРСТВА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ В РОССИИ

*Клиновая М.Д.<sup>1</sup> (студент), Бармина Д.А.<sup>1</sup> (студент), Шварцмен А.С.<sup>1</sup> (студент),  
Бухарова А.С.<sup>2</sup> (студент), Кузнецова К.Г. (ассистент)*

*Научный руководитель – старший преподаватель Тимофеева И.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

---

В работе предлагается общий обзор уровня вовлеченности населения в проблемы окружающей среды в контексте перехода России к политике устойчивого развития с целью раскрытия особенностей формирования предложений по экологическому воспитанию разных поколений России. Данное направление дополняется также рассмотрением влияния экологической политики СССР и России на решение проблем окружающей среды и достижения целей устойчивого развития.

### **Ключевые слова**

Устойчивое развитие России, цели устойчивого развития, концепция устойчивого развития, антропогенное воздействие, экологический мониторинг, будущие поколения, поколения, экологическая политика, образование для устойчивого развития.

---

Для того, чтобы решать экологические проблемы необходима как вовлеченность общества в данную тему, так и отношение и действия властей в этом направлении. В настоящий момент складывается ситуация, когда лишь малая часть граждан знает, что такое устойчивое развитие и какие экологические проблемы есть в их регионе и еще меньшая часть участвует в экологических акциях.

Целью данного исследования является формирование предложений по экологическому воспитанию разных поколений России. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: разобраться с понятием «устойчивое развитие»; изучить экологическую политику СССР и России начала XXI века и отношение общества к проблемам окружающей среды в тот же период; изучить историю экологического мониторинга в СССР и России; изучить барьеры по достижению целей устойчивого развития; провести социологический опрос на тему вовлеченности населения в проблемы окружающей среды; сформировать предложения по экологическому воспитанию разных поколений России.

### **Разбор термина «устойчивое развитие»**

Первое определение «устойчивого развития» в России появилось лишь в 1996 году, через десятилетие после выхода доклада «Наше общее будущее». В «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» (Указ № 440 от 1 апреля 1996 г.) имеется следующая формулировка: «Устойчивое развитие — это стабильное социально-экономическое развитие, не разрушающее своей природной основы».

В 2001 году был принят проект «Государственной стратегии устойчивого развития Российской Федерации», подготовленный для Всемирного саммита по устойчивому развитию в Йоханнесбурге. В «Стратегии» было предложено такое определение: «Устойчивое развитие — это стабильное, социально-экономическое развитие, не разрушающее своей природной основы и обеспечивающее непрерывный прогресс общества». Результатом проекта стал труд – «Научная основа стратегии устойчивого развития Российской Федерации», заложивший основные принципы устойчивого развития в России.

Первое определение «устойчивого развития», данное в докладе «Наше общее будущее» (или доклад «Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию» WCED) в 1987 году, до сих пор является дискуссионным: «Устойчивое развитие — это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений

---

удовлетворять свои собственные потребности». В мире до сих пор нет четкого определения «устойчивого развития», поэтому оно подлежит дополнениям и изменениям в трактовке.

В настоящее время в России используется следующая формулировка: «Устойчивое развитие (sustainable development): Развитие, отвечающее текущим экологическим, социальным и экономическим потребностям и не ущемляющее возможностей будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» (Национальный стандарт Российской Федерации, дата введения 2019-03-01), повторяющая определение из доклада «Наше общее будущее». Аналогичное определение использовано в Декларации «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», принятая резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 года.

### **Отношение государства и общества к природе в СССР и постсоветский период (социально-политическая тематика)**

#### **Путь перехода к устойчивому развитию**

В 1960 году в связи с явным ухудшением экологической ситуации и с осознанием необходимости изменений в природоохранной политике был принят закон «Об охране природы в РСФСР». Деграция уникальных природных комплексов стала одной из причин для принятия во второй половине 1960-х годов важных постановлений Совета Министров СССР по озеру Байкал, Каспийскому морю, рекам Уралу и Волге. Но эти меры не сильно улучшили экологическую ситуацию, так как больше боролись с последствиями, а не с причинами проблем. Стало ясно, что, чтобы кардинально изменить экологическую ситуацию в СССР, потребуется полностью изменить путь экономического развития страны – уйти от экстенсивного к интенсивному, провести реформы для отказа от отраслевого управления и перехода к территориальному. В Конституции 1977 года впервые появилось право граждан на здоровую окружающую среду.

Несмотря на все изменения и законы, охрана окружающей среды в РСФСР была далека от идеала. В связи с этим, неудивительно то, что состояние окружающей среды не улучшилось: к 90-м гг. по темпам вырубки лесов Россия заняла первое место в мире, а из-за деградации почв встал вопрос о том, что страна может лишиться плодородных земель всего за 15–20 лет. По данным на 1992 г., примерно 70% российских предприятий металлургического и топливно-энергетического комплексов, 60% — лесной и 80% — химической промышленности не отвечали требованиям экологической безопасности.

В 1992 году в Рио-де-Жанейро состоялась международная Конференция ООН по теме «Окружающая среда и развитие». Итогом этой конференции стало принятие концепции устойчивого развития в качестве альтернативной и наиболее эффективной модели глобального развития. В 1996 году окончательно сформировалась и была утверждена Президентом РФ концепция перехода России к устойчивому развитию.

#### **Социальные движения и отражение заинтересованности общества в УР**

Взаимоотношения власти и природоохранных общественных движений никогда не были равными. Ярким этапом развития взаимоотношений власти и общественных экологических движений стали 1980-е гг. – период протеста на фоне серьезного ухудшения состояния окружающей среды и проведения политики гласности. Одним из событий, оказавших влияние на экоактивизацию народа, стала авария на Чернобыльской АЭС. После шокирующей катастрофы поднялись волны народного недовольства, люди требовали призвать СССР к ответу. В то же время прорывается плотина, сдерживающая распространение информации, люди начали выходить на улицы с экологическими протестами. Наступила политизация экологического движения.

Задачей экодвижений была не только борьба за сохранение природных богатств страны, но и экологическое просвещение населения. Одним из шагов к экологизации мышления населения стали публикации различных научно-экологических журналов, таких как «Человек и природа», «Наука и жизнь», «Юный натуралист». Проводились «зеленые» школьные патрули и субботники, сбор макулатуры и металлолома, в которых участвовала вся семья. После развала СССР было отмечено, что природоохранная проблематика лишь замыкает десятку



приоритетных проблем общественного сознания. Равнодушие граждан к экологическим проблемам в условиях мирового прогресса в этой области объясняется тяжелой экономической ситуацией, в которой собственные потребности отодвинули природоохранные на задний план.

### **Формирование системы экологического мониторинга**

До 1970-х гг. наблюдения за состоянием природной среды были ограничены океанографическими, геомагнитными, гидрологическими, агрометеорологическими, морскими гидрометеорологическими, аэрологическими и ионосферными наблюдениями. В 1974 году впервые в СССР Ю.А. Израэль дал определение «экологическому мониторингу», опубликовав статью «Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменения окружающей природной среды. Основы мониторинга». На законодательном уровне термин «мониторинг окружающей природной среды» впервые был зафиксирован лишь в Законе РСФСР от 19 декабря 1991 года №2060-1 «Об охране окружающей природной среды».

В 1993 году, в рамках улучшения функционирования экологического мониторинга в стране была создана Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ).

В начале 2000-х гг. на законодательном уровне был закреплён перечень видов государственного экологического мониторинга, а также было дано первое официальное определение «государственного экологического мониторинга». Антропогенные объекты не были включены в перечень, однако постановлением было закреплено положение о необходимости проведения государственного экологического мониторинга, оказываемого антропогенными объектами. В 2011 году в Закон об охране окружающей среды были внесены уточнения, касающиеся понятий «экологического мониторинга» и организации работы ЕГСЭМ.

На момент 2023 года в России до сих пор нет единой экологической базы данных, а сведения Росгидромета не рассчитаны на агрегированную выдачу экологической информации. Это значит, что население не имеет возможности систематически и целенаправленно получать объективную информацию по состоянию и загрязнению территорий страны.

### **Препятствия на пути по достижению ЦУР. Методы и препятствия тогда и сейчас**

Главными барьерами по достижению ЦУР в России являются:

1. Непонимание выгоды от внедрения ЦУР в РФ на государственном уровне и отсутствие координирующей структуры, отвечающей за реализацию ЦУР в стране.
2. Коррупция, замедляющая достижение устойчивого развития на уровне органов местного управления и крупных предприятий.
3. Недостаточное технологическое оснащение городов для использования современных методик по улучшению экологической обстановки в государстве.
4. Недостаточное просвещение, отсутствие осознанности и культуры потребления у россиян в отношении ограниченных ресурсов и устойчивого развития в целом.

На основе проведённого анализа методов и препятствий по достижению Целей устойчивого развития, можно сказать, что в настоящее время общество больше заинтересовано в осуществлении задач устойчивого развития, чем 10 и 50 лет назад. Активнее всего проявляет себя поколение миллениалов, по возрасту занимающих ведущие должности в группе предприятий и холдингов, отвечающих за разумное использование ресурсов: эффективное использование энергии, переработка вторичного сырья и т.д.

### **Формирование экологической культуры. Образовательные программы и их эффективность**

Организация образовательного процесса является важным фактором развития интереса к устойчивому развитию. Ежегодные социальные опросы среди школьников и студентов подтверждают, что учебный план большинства образовательных учреждений не подходит для изучения современных концепций развития мира.

В связи с этим, рекомендации будут следующие:

1. Повышение квалификации преподавателей в области УР.
2. Проведение практической работы по экологическому воспитанию и формированию образовательных программ с использованием концепции ЦУР и учётом достижений и недостатков уже существующих учебных планов.

3. Демонстрация значимости оптимального соотношения экономического и экологического развития с целью повышения уровня ответственности за свой регион.
4. Реализация совместных проектов для семей, позволяющих эффективно изучать решение ряда проблем, связанных с нынешним уровнем понимания устойчивого развития в России и в мире.

#### **Отношение поколения Z к сохранению окружающей среды**

Говоря об обеспокоенности поколения Z проблемами окружающей среды, сложно дать общую оценку, учитывая большое разнообразие интересов современной молодёжи и различия в социальных кругах. Многочисленные социальные опросы, проведённые в 2010-х годах свидетельствуют о том, что экологическая ценность планеты - не главный приоритет данного поколения. Однако, следует заметить, что в последние несколько лет распространены раздельный сбор мусора, многоразовое использование, переработка и другие полезные действия, инициатором которых является именно молодёжь.

Авторы данной статьи провели социологический опрос по выявлению уровня вовлечённости людей разных возрастов в решение проблем окружающей среды. Результаты опроса 236 респондентов показали, что возрастная группа младше 35 лет наиболее заинтересована в экологической обстановке в стране и сохраняет уверенность в том, что общество способно самостоятельно, без поддержки государства, противостоять её ухудшению.

Наиболее острыми проблемами в стране по мнению современной молодёжи являются мусорные полигоны и вырубка лесов с дальнейшим нерациональным использованием древесины. Как известно, территории размещения отходов производства и потребления занимают немалую площадь российских массивов, а сжигание подобного рода мусора приводит к загрязнению почвы, воздуха и гибели живых организмов в дальнейшем.

Сбор макулатуры и сортировка отходов приводились как основные меры, которые поколение Z готово принимать, чтобы помочь окружающей среде. Однако, среди ответов просматривались и такие, как сокращение использования пластика, электроэнергии, воды и автомобилей и озеленение территорий. Эти данные совпадают со статистикой прошлых лет, когда более 60% участников опросов поддержали использование энергосберегающих ламп, отказ от принятия ванны в пользу душа и другие способы экономии ресурсов. Становится очевидным, что с годами ведение экологичного образа жизни приобретает всё большую популярность, а привлечением людей к проблеме и активным участником является именно поколение Z.

#### **Средний/рабочий класс - отношение к природе, действия и мотивация**

В 2010 году Россия испытала на себе чрезвычайно жаркое лето, повлекшее за собой засухи и пожары на обширных территориях. После этого средняя возрастная группа проявила заинтересованность к вопросу изменения климата, поскольку остро стал вопрос урожайности и продовольственной обеспеченности населения. Но, к сожалению, большая часть людей склонялась к мнению о том, что главные решения в вопросе экологического благосостояния страны принимает государство, и люди не могут на это повлиять.

Проведённый социальный опрос показал, что более половины респондентов из категории рабочего слоя населения до сих пор придерживается мнения о том, что сформировать экологическую культуру в обществе без поддержки государства невозможно. Участники опроса также сообщают, что природоохранные мероприятия не станут более популярными среди населения при введении вознаграждения для людей, но, считают, что правительство Российской Федерации должно непременно поощрять компании, мотивирующие своих сотрудников на заботу об окружающей среде и принимающие в этом активное участие.

Возвращаясь к теме об образовательных программах, можно сказать, что дети также могут положительно влиять на своих родителей в рамках развития осознанности по отношению к целям устойчивого развития и экологической обстановке в регионах. По результатам опроса было выявлено, что главным институтом развития культуры большая часть населения считает именно семью, а опыт показывает, что интерес родителей к деятельности своих детей может принести значительные плоды в экологическом образовании среднего класса, если дети

занимаются поддержкой природы и проявляют заинтересованность к этой теме не только в школе, но и дома.

### **Пожилые люди - отношение во времени, действия, мотивация**

Когда речь заходит о пожилых людях, возникает мысль о том, что старшее поколение - приверженцы режима отрицания любой человеческой инициативы от более молодых людей в отношении какого-либо экологического развития. Отчасти, это действительно так. Проведенный социологический опрос выявил, что пожилые граждане России не верят в инициативу отдельных людей и не готовы вступать в борьбу за сохранение экосистем.

Однако, несмотря на сохранившееся со времён СССР неприятие концепции устойчивого развития, население старше 60 неосознанно сохраняет некоторые производные заботы об экологии и готово делиться ими с младшими поколениями. Многократное использование стеклянных банок, крышек, бутылок, хранение мелочи в пакетах из-под молока и пакет с пакетами, имеющийся у каждого гражданина России, - удобные и очевидные способы связать наших бабушек и дедушек с рациональным использованием вещей, и, как следствие, с заботой о природе.

Игнорирование старшим поколением темы устойчивого развития усиливается в связи с отсутствием грамотной подачи информации населению об экологических и социальных проблемах страны и участия государства в их решении. Продвижение концепции устойчивого развития через федеральные СМИ может усилить вовлечённость и участие пожилых людей в достижении ЦУР, а государственная поддержка ускорит данный процесс и замотивирует население.

Подводя итоги исследования темы "Отношение людей к ЦУР и развитие экологической политики государства за последние 50 лет в России", можно сказать, что вовлечённость населения в решение экологических проблем государства до сих пор является одним из важнейших препятствий на пути его устойчивого развития. Отсутствие осведомлённости о состоянии природы в регионах у граждан ещё больше ухудшает экологическую обстановку, а незаинтересованность государства лишь замедляет процесс решения проблемы.

При написании работы был изучен ряд законов и постановлений последних 50-ти лет, каким либо образом меняющих экологическую политику государства. Анализ показал, что с годами стратегия России в отношении достижения целей устойчивого развития менялась медленно, но в лучшую сторону. Множественные неудачи прошлых лет перекрываются нынешними научными прорывами, позволяющими не только эффективно совершенствовать методы достижения ЦУР, но и формировать экологическую культуру в обществе путём как внесения изменений в нормативно-правовую базу страны, так и грамотного просвещения населения в области устойчивого развития.

Материалом исследования послужил проведённый авторами статьи социологический опрос по выявлению уровня вовлечённости людей разных возрастов в решение проблем окружающей среды. Результаты опроса показали, что разница в отношении поколений к устойчивому развитию крайне велика. Было выявлено, что решение проблемы заинтересованности населения требует индивидуального подхода к каждой возрастной группе при активном участии государства, а наиболее результативным методом вовлечения общества в устойчивое развитие может стать совершенствование воспитательных практик и образовательных программ.

### **Список использованных источников**

1. Устойчивое развитие: Новые вызовы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.hse.ru/data/2016/08/09/1125668218/Уст%20развитие%20Новые%20вызовы%20full.pdf> (дата обращения: 22.01.2023).
2. Основные положения стратегии устойчивого развития России. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.socionauki.ru/almanac/noo21v/number\\_2/5\\_4.pdf](https://www.socionauki.ru/almanac/noo21v/number_2/5_4.pdf) (дата обращения: 22.01.2023).

3. От «эталонной» природы до первых катастроф: экологическое наследие СССР // Экофера. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ecosphere.press/2021/08/25/ekologicheskoe-nasledstvo-sssr/> (дата обращения: 29.11.2022).
4. Макеева Е.Д. Природоохранная политика СССР в 1960–1980-х гг.: успехи, провалы и противоречия // История и археология : материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2017 г.). — Санкт-Петербург : Свое издательство. 2017. С. 37–41.
5. Макеева Е.Д. Характерные особенности управления охраной природы в регионах РСФСР в 1960-1980-е гг. (исторический аспект) // Вестник Костромского государственного университета. 2016. №. 22(4). С. 51–55.
6. Хорос В.Г., Красильщиков В.А. Экология и политика в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://scibook.net/rossiyskaya-sotsiologiya-kniga/ekologiya-politika-rossii-38853.html> (дата обращения: 23.01.2023).
7. Леонова К.С. Формирование и реализация концепции устойчивого развития в Российской Федерации // Россия и современный мир. 2022. №. 1(114). С. 225–241.
8. Гетманец И.Н. Проблемы и перспективы развития систем экологического мониторинга // Мониторинг и биоразнообразие естественных, искусственных и лесомелиоративных систем. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж. 2022. С. 14–19.
9. Сатаева Т.Ю. Становление и развитие правового регулирования организации и осуществления государственного экологического мониторинга в России // Журнал российского права. 2020. №. 6. С. 162–175.
10. Игнатов М.Д. Анализ состояния и организации работ по ЦУР в РФ // NOVAINFO.RU. 2021. №. 126. С. 21–22.
11. Проблемы устойчивого развития в России [Статья]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46334183> (21.01.2023).
12. Алексеев С.В., Гущина Э.В. Современные экологические проблемы глазами школьников: результаты социологического исследования // Вестник Ленинградского университета им. А.С. Пушкина. 2018. №. 4. С. 265–278.
13. Борисенко Н.А. Организация проектной деятельности с детьми дошкольного возраста как средство экологического образования в интересах устойчивого развития // Проблемы устойчивого развития регионов республики Беларусь и сопредельных стран. Сборник материалов X Международной научно-практической конференции. 2021. С. 272–275.
14. Гулько Е.Ю. Проблемы экологического сознания и поведения студенческой молодежи // Социологический альманах. 2017. №. 8. С. 160–166.
15. Занько С.А. Исследование приверженности представителей поколения Z принципам устойчивого развития // Правовые и экономические аспекты устойчивого развития. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2022. С. 43–51.
16. Харчева Е.А. Отношение населения к экологическим проблемам // Цифровая наука. 2021. №. 5. С. 65–69.

UDK 338.2

## SUSTAINABILITY IN THE ELECTRONICS INDUSTRY

*Kolpikova V.O.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – lecturer of the Faculty of Ecotechnologies Daniluk M.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: Madaniliuk@itmo.ru*

---

The work is devoted to the development of a sustainable development strategy in the electronics manufacturing company TPV. To develop the strategy, the analysis of the integration of the UN sustainable development goals into the business plan and the company's development policy and the analysis of the best practices market are carried out. The result of the work will be the most profitable stability in the sustainable development of the TPV company, based on the principles of sustainable development of the UN and the best world practices in this industry.

### **Keywords**

Sustainable development, business strategy, UN sustainable development goals, market analysis, Sustainable business development.

---

In the last few hundred years, since the first industrial revolution, humanity has been developing rapidly. This affects all areas of life: the economy, education, health care, and so on. However, rapid industrial growth with an emphasis on increasing production also entails certain challenges. In pursuit of economic growth, companies can lose their resilience and be more exposed to risks. At the moment, the challenges include climate change, the transformation of financial markets, demographic changes, and technological revolution. The application of the principles of sustainable development in companies increases their resistance to external and internal risks and neutralizes the negative social and environmental impacts of the enterprise.

In 2015, the UN General Assembly adopted 17 Sustainable Development Goals (SDGs) to achieve by 2030. The goals affect a variety of areas: ecology, social development, and the economy. Responsibility for the implementation of the goals of the UN lies with international organizations, individual states, and private companies. Thus, individual companies are aware of their importance and impact on the environment and society and can incorporate sustainable development goals into their business strategy. Each company can choose a different set of SDGs according to its mission and impact.

In this paper, a sustainable development concept for the Russian electronics company «TPV CIS LCC» will be developed. The goal is a theoretical and practical substantiation of the effectiveness of applying sustainable development practices in a company.

To achieve the goal, it will be necessary to analyze the activities of the «TPV CIS LCC» company and develop an individual concept for the effective implementation of sustainable development practices in the company's activities.

The relevance of the research topic is due to the lack of methodological recommendations on the integration of sustainable development practices, as well as practical recommendations on the use of sustainable development tools to mitigate the negative impact on the environment and the social environment.

An analysis of existing topics will be carried out to identify the necessary growth zones and possible challenges for «TPV CIS LCC» to achieve efficiency and sustainability. This analysis involves the use of methods of comparative analysis of the activities of the company «TPV CIS LCC» with the best practices of sustainable development in the electronics manufacturing market; qualitative analysis of business strategy, internal regulations and business model of the company. Also, to determine the most effective sustainable development practices, methods for prioritizing possible risks

---

for the «TPV CIS LCC» company will be carried out: risk identification and risk impact analysis. Questionnaires or interviews of company employees will also be conducted to identify material topics.

Based on the results of the analysis of material topics, priority areas of work for developing the concept of sustainable development will be identified and a map of the «maturity» of the company will be formed. At the second stage of practical research, specific sustainable development goals will be identified, key performance indicators of priority sustainable development practices will be developed, and a roadmap for their implementation will be prepared.

Thus, practical experience will demonstrate the possibility and expediency of applying sustainable development practices in the company. Also, in the course of the study, a methodology will be developed for conducting an analysis of the company, and the market and for the implementation of sustainable development initiatives. This methodology can subsequently be applied to other companies from other sectors of the economy.

In the modern world, new conditions are emerging that force businesses to look for new ways to solve problems. In the 21st century, there are significant global transformations in the world: global warming, the transformation of financial markets, demographic changes, and technological revolution. New risk formats and the high rate of change in external factors are significantly changing the business strategy from traditional to more adaptive. As Rainey notes, the global business environment become less predictable and more challenging nowadays [1]. The introduction of sustainability principles allows companies to become less exposed to possible risks and crises that they did not know about before. Moreover, the SDGs, which cover a wide range of sustainable development issues relevant to businesses, can assist in linking corporate strategy with international agendas.

Companies, regardless of their size and industry, can develop their business model ensuring that human and labor rights, the environment and anti-corruption are anchored within their business operations. Along with this, the company can choose which UN SDGs to apply and develop. The SDGs provide the greatest commercial opportunity for many companies. According to UN Global Compact report [2], there is an estimated US\$ 12 trillion in economic gain from promoting sustainable business practices in the areas of energy, health, food, and cities alone. Thus, there are several reasons for businesses to adhere to the concept of sustainable development in building their strategy.

Thus, introducing the concept of sustainable development into business is an integral part of building a business strategy in the 21st century. Understanding of external risks and analysis of external needs and potential must be integrated into the company's internal strategy. So the UN SDGs can be harmoniously integrated into the business model of each company. Using sustainable business development is not only beneficial but essential for strategic management. This allows us to significantly reduce external risks, prepare for new challenges, and find the necessary partnerships and investments.

The scope of research covers the industry in which «TPV CIS LCC» operates – electronics manufacturing. Consumer electronics manufacturing is one of the most dynamic and severe businesses in the world is. To prosper, businesses must continually innovate and adjust to the environment's constant change.

The quick rate of change is one of the major problems facing the electronics manufacturing industry. A constant rate of advancement is being made in technology. Companies must update their goods often. Short product life cycles are the second difficulty that the electronics manufacturing industry faces [3]. Products must be replaced with newer ones because of the speed at which change occurs. High volumes of waste and e-waste may arise from this. Moreover, rare earth metals and other hard to come by minerals are used to make a lot of consumer electronics. This can cause a scarcity and raise costs. For instance, a severe worldwide chip shortage that began in 2020 has impacted several companies [4]. Also, several environmental laws and regulations apply to the production of electronics. The design, production, and usage of items may be impacted by these restrictions. To prevent environmental damage, items that have reached the end of their useful lives must be disposed of correctly. Due to the large number of items that are thrown away every year, this might be difficult for the consumer electronics sector. There is a demand to make the electronics manufacturing process more environmentally friendly. For instance, the market for goods produced of recycled materials is

expanding. Thus, the electronics manufacturing market, on the one hand, is growing and promising, and on the other hand, it is experiencing some challenges that should be assessed.

Benchmarking will be conducted to further analyze the maturity of sustainable development practices. The preparatory stage of benchmarking is the identification of the company's peer. Peer groups refer to companies that are in the same industry or sector. To select such companies, the electronics manufacturing industry in the world was analyzed.

At the first stage, electronics manufacturing companies with the highest market cap and the highest revenue for 2021 were selected. Further, these companies were analyzed for compliance with the principles of sustainable development using international rankings. As rankings were used such as Sustainalytics, S&P ESG 500, CDP. The shortlisted companies were those that have the lowest ranking risk from Sustainalytics and/or are in the top 10 of the S&P ESG 500, and/or have an «A» rating in at least one parameter in the CDP. Companies that appear most often in the lists were selected as peers (table). In the future, their strategies will be analyzed for the level of maturity of the SDGs for comparison with the «TPV CIS LCC» company. For the analysis, the sustainable development strategy, the ESG strategy, the sustainable development report, etc. will be used.

Table

**Shortlist of companies in the electronics manufacturing industry**

Company name	Market cap (mln)	Revenue (bln)	Sustainalytics	S&P ESG 500	CDP A list
Apple	\$2 142 162,78	\$274,52	16,7	yes	–
NVIDIA	\$417 783,78	\$26,91	–	yes	–
Samsung	\$333 856,58	\$200,73	19,6	–	–
Cisco	\$190 862,33	\$49,82	12,4	–	yes
Tokyo Electron	\$53 439,13	\$16,4	14,9	–	–
Hitachi	\$48 866,00	\$82,35	17,3	–	yes
Foxconn	\$44 900,00	\$181,95	17,9	–	–
TE Connectivity	\$38 492,81	\$16,3	15,9	–	–
Arista Networks	\$38 492,81	\$3,93	16,4	–	–
Dell	\$28 258,41	\$92,22	16,5	–	–
HP	\$26 478,66	\$56,64	10,5	–	yes
Delta Electronics	\$24 534,23	\$12,31	18,0	–	–
LG	\$13 270,00	\$53,63	19,0	–	–
Lenovo	\$9 440,00	\$60,74	14,9	–	–

Further, the practices of sustainable development of companies through their reports were analysed. The main steps were: check that Main business activity is in line with TPV, Identify of key strategies through Sustainability Report / ESG Report / CSR strategy, Compare with UN SDGs.

After the analysis and comparison of best practices, four main UN sustainable development goals were identified that dominate the electronics manufacturing industry. List of Sustainability Trends in Electronics Manufacturing: Goal 3 (good health and well-being), Goal 8 (decent work and economic growth), Goal 9 (industry, innovation and infrastructure), Goal 12 (responsible consumption and production), Goal 13 (climate action). These targets also reflect well the current risks in the industry that have been described previously.

The study demonstrated a better understanding of current sustainability trends and how the UN goals are applied to the company's business strategy. The result of the work was an analysis of sustainable development trends in the electronics manufacturing industry, which revealed the most significant areas of development.

## References

1. Rainey D.L. Sustainable Business Development: Inventing the Future Through Strategy, Innovation, and Leadership. 1st ed. Cambridge University Press. 2006. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511617607>.
2. Making Global Goals Local Business: Responsible business in the era of the Sustainable Development Goals. United Nations Global Compact. 2019. 17 p.
3. Корп С.М. Product Life Cycle Explained: Stage and Examples. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.investopedia.com/terms/p/product-life-cycle.asp> (дата обращения: 19.01.2023).
4. Baraniuk С. Why is there a chip shortage? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/business-58230388> (дата обращения: 19.01.2023).



UDK 504.062

## OPTIONS FOR SCALING ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS IN KAZAKHSTAN

*Kudriavtseva S.V.<sup>1</sup> (master student)*

*Scientific adviser – Ph.D., Associate Professor Sergienko O.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: sofiakudriavtseva@internet.ru*

---

The article is devoted to the analysis of the development of low-carbohydrate alternative energy in the Republic of Kazakhstan. The main mechanisms contributing to the implementation of national plans for the development of wind, solar and hydroelectric power are considered.

### **Keywords**

Circular economy, Kazakhstan, renewable source, solar panels, hydropower, wind power.

---

In the modern world, it is important for each state to develop alternative energy sources to ensure energy independence. This article discusses the main directions of development of eco-technologies for Kazakhstan, perspectives of development and approximate expected capacity of enterprises in each of the directions. The following paper presents an overview of the current renewable energy status in Kazakhstan. It focuses on the options for generation of renewable electricity in the field of wind, solar and hydropower as a temporary and more environmentally friendly replacement for coal.

Kazakhstan is one of a number of countries where coal use for space heating purposes remains widespread. According to the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), more than 70% of electricity in Kazakhstan is produced by coal-fired power plants. Their work is provided by inexpensive coal mined in the north-east of the republic. In 2012, 32% of Kazakhstan's population nationwide, including 70% of rural households, used coal as a primary source of space heating energy. Meanwhile, these stations are very harmful to the environment, generating about 80% of the carbon dioxide that we annually emit into the atmosphere. In addition, in Kazakhstan cases of carbon monoxide poisoning, including fatalities, happen every winter. The reasons include cracks in coal furnaces, plugged chimneys, and uncontrolled coal burning during the nighttime.

Equally dramatic is the statistic that the average household annual consumption of coal increased by 44% between 2002 and 2012, from 3.9–5.8 tons to 5.6–8.4 tons depending on the region [1]. The Government of the Republic of Kazakhstan is doing extensive endeavor to introduce renewable energy sources in Kazakhstan. The international exposition "Expo-2017" on the topic "Energy of the Future" provided a significant boost to the country's development of renewable energy. The International Center for Green Technologies and Investment Projects was formed at the initiative of Kazakhstan's First President N. Nazarbayev, to encourage collaborative initiatives in the field of high-tech industries. "The transition to "green" energy, the introduction of "green" technologies is a growing vector of the global economy. Kazakhstan, despite the presence of huge natural resources in our bowels, including hydrocarbons, intends to actively develop renewable energy sources. Such responsibilities have been outlined in our Strategy "Kazakhstan-2050," according to Kazakhstan's First President, Nursultan Nazarbayev, who defined the energy development vector. According to the proposal, Kazakhstan's contribution of alternative and renewable power generation should reach 3% by 2020, 30% by 2030, and 50% by 2050.

Modernization of the energy infrastructure is an important task for the country. The demand for electricity is growing: according to analysts, until 2030 it will increase annually by 2.5% [2]. Existing power plants are unlikely to cover it. Much of the infrastructure is outdated and in need of major investment. Kazakhstan should actively upgrade existing capacities, create new sources of electricity and use it more efficiently.

---

Hydropower in Kazakhstan is the second energy resource in terms of specific weight in the fuel balance of the electric power industry, second only to coal. Hydropower was Kazakhstan's first renewable energy source, and it continues to play an important role in the country's renewable energy supply (Fig. 1). Low contracted prices and a lack of maintenance and rehabilitation of hydropower plants, on the other hand, have resulted in a steady decline in hydropower's proportion in the energy mix. Electricity generated by hydroelectric power stations is, on average, almost 4 times cheaper than electricity received from thermal power plants. Hydroelectric power plants are mobile power plants that compare favorably with steam turbine thermal power plants in the field of frequency control, covering growing peak loads, power maneuvering during the night load reduction period and as an emergency reserve of the system.

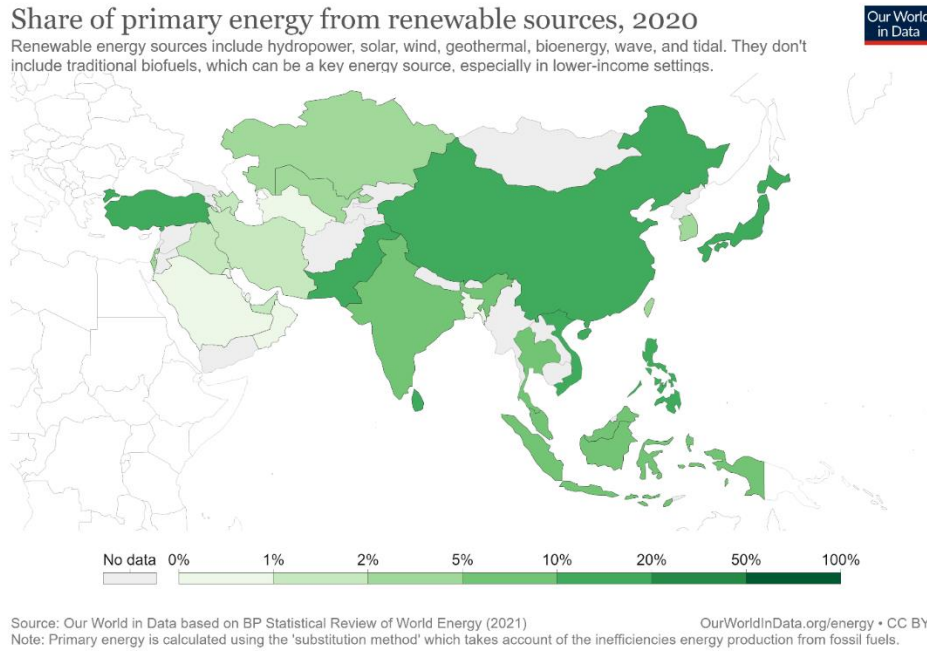


Fig. 1. Share of primary energy from renewable sources in Asia

In Kazakhstan, hydroelectric power plants account for 1/25 of all generated electrical energy. The main hydropower resources are concentrated in the eastern and southeastern parts of the republic (73.1%). In 2021, the hydropower capacity was 3,066 MW.

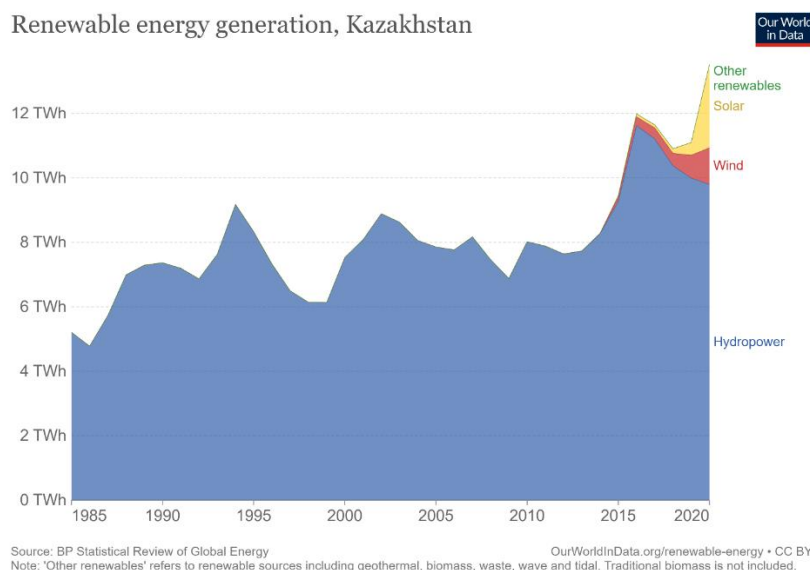


Fig. 2. Renewable sources in Kazakhstan

The existing potential of HPPs in Kazakhstan does not allow the energy system to independently provide even a normal mode in the conditions of energy-independent Kazakhstan. Therefore, even without the integration of renewable energy sources into the energy system, it is necessary to speed up the development of hydroelectric power plants. It is not easy to increase the capacity of HPPs located on large rivers, because in this area it is impossible to flood large areas for reservoirs for them. In the context of the emergence of renewable energy sources, the role of hydroelectric power plants is increasing many times over and special attention should be paid to their development.

Economically beneficial for the industrial use of Kazakhstan's hydropower resources are 27 billion kWh, no more than 20% of the economic hydro potential is used. There are cascades of interconnected HPPs that have a complex purpose: Ust-Kamenogorsk, Bukhtarminskaya, Shulbinskaya on the river. Irtysh, Almaty HPPs on the river. Ulken Almaty (B. Almatinka) and others. Water management system construction has also become a global project for Kazakhstan. It took place on the river large Shardara, however hydroelectric power station was built in the Syr Darya. Kazakhstan plans to increase the use of hydro resources in the medium term. In December 2011, the Moynak HPP (300 MW) was put into operation, the Bulak HPP (80 MW), the Kerbulak HPP (50 MW) and a number of small HPPs are being designed.

“By the end of 2025, Kazakhstan plans to commission 13 HPPs with a total installed capacity of about 177.67 MW. In addition, this year it is planned to hold auctions for the implementation of renewable energy projects, including flexible hydroelectric power plants. In general, in 2025, it is expected that the share of renewable energy in the total electricity generation will reach 6%,” Minister of Ecology, Geology and Natural Resources Magzum Mirzagaliyev said during a government meeting, members of the cabinet of ministers reported on their plans to fulfill the instructions of the president.

As the largest country in Central Asia, Kazakhstan, has a huge potential for solar energy. The amount of solar radiation is 1300-1800 kWh per square meter per year. The total installed electric capacity of solar power plants in Kazakhstan as of October 1, 2020 is 839 MW. At least 50% of the territory of Kazakhstan is suitable for the installation of solar power plants. However, until recently, the country's solar resources were not used to generate electricity. Kazakhstan is developing solar energy technologies, namely the production of photovoltaic modules using local silicon. Since Kazakhstan is rich in silicon (85 million tons), the production of silicon solar cells in the domestic market has begun. In this regard, the Astana Solar plant for the production of photovoltaic modules was recently launched in Nur-Sultan. The plant will produce solar panels from Kazakhstan silicon. The design power of photovoltaic plates is 50 MW, with the possibility of increasing up to 100 MW. In 2012, the first solar power plant "Otar", generating 0.5 MW of energy, was built in the Zhambyl region. Another solar power plant with a capacity of 52 kW was built in the village of Sarybulak, Almaty region. In 2019, the Nurgisinsk solar power plant with a capacity of 100 MW began operation in the city of Kapshagay, Almaty region. In 2019, another solar power plant in Kazakhstan, Saran, with a capacity of 100 MW, began operation in the Karaganda region [3].

According to the International Energy Agency (IEA), within 40 years, solar energy can satisfy about 20-25% of the country's energy needs. Moreover, this share of the required electricity can reduce carbon dioxide emissions by 6 billion tons annually. However, unfortunately, despite the huge solar power, at present, the amount of energy produced by solar radiation is negligible, as the country continues to rely on the use of fossil fuels as an energy source.

Kazakhstan has a great green energy potential, especially when it comes to wind power with wind corridors with an average wind speed of 5-6 meters per second (m/s). Wind energy is one of the most dynamically developed renewable energy sources. Due to the advantages of wind power and due to the potential of contributing to the energy security of the country, this type of renewables is being widely introduced. Wind resources are widely spread over the territory of Kazakhstan. Moreover, electricity transmission over large distances has proven itself to be inefficient due to losses caused by aging infrastructure and by theft. Therefore, using wind power is economically feasible compared to the cost of electricity transmission generated by coal and gas-fired power plants. Therefore, from the economic standpoint, building wind farms in the areas with high wind potential, in the long run, is comparable to building and transmitting energy from a new coal-fired power plant. As for the

environmental aspect of wind energy, an installation of a wind farm with a capacity of 500 megawatt (MW) that is capable of producing 1.5 million MW per hour energy annually is to prevent emissions of 1.5 million tons of greenhouse gas, 12 thousand tons of sulfur oxide, 7.8 thousand tons of nitrogen oxide, 12.6 thousand tons of ash and 420 thousand tons of solid. Also, in 2014, the government of Kazakhstan approved tariffs on electricity generated by renewable energy sources, establishing the rate of 22.68 Kazakhstani tenge (KZT) per one kWh of electricity from wind power plant [4].

The climate in Kazakhstan is favorable for wind farm constructions due to the existence of wind corridors with a wind speed above 5 m/s, which is essential for the operation of wind turbines (Fig. 3). Caspian region, central and northern Kazakhstan, and southern and south-eastern Kazakhstan have the highest wind energy potential. According to the Ministry of Industry and New Technologies of Kazakhstan, wind power potential of the country is estimated at 920 billion kWh of electricity annually.

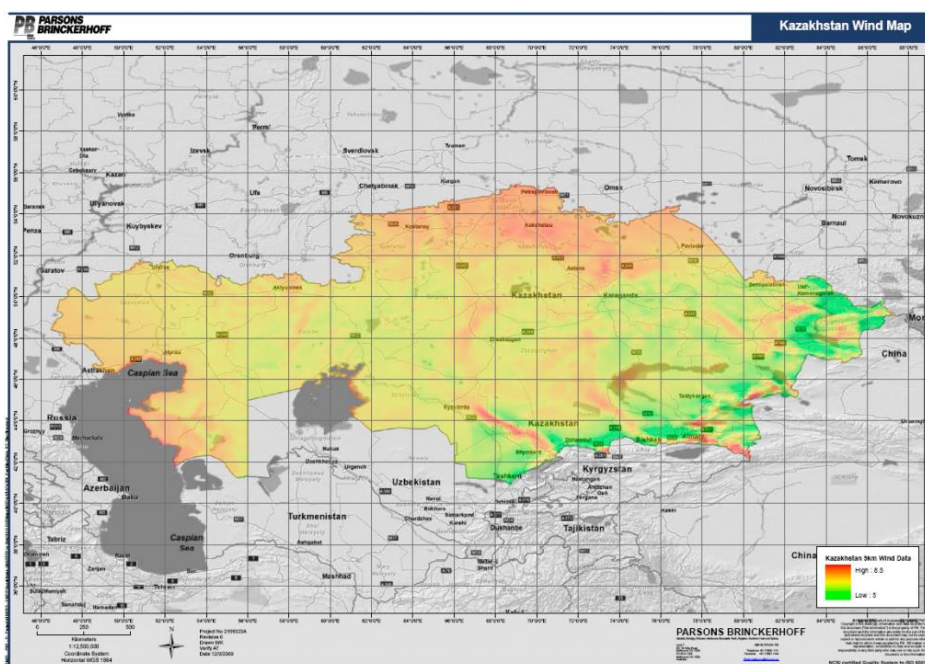


Fig. 3. Wind atlas of Kazakhstan

Moreover, the results of the “Kazakhstan – Initiative of Wind Power Market Development” project have shown that the average wind speed of 5-6 m/s suitable for the successful implementation of wind power plant projects is present across the country. Besides, within the framework of the project, the wind atlas of the country has been developed (table 1), and locations with high wind speed can be used for electricity generation of 0.929 to 1.82 billion kWh per year.

There are several wind farms in operation and construction. The first wind power plant (WPP) in Kazakhstan, Korday WPP, started its operation in 2011 in Zhambyl region with an energy capacity of 1500 kW [5]. Construction of a new wind power plant in Yereimentau located in the Akmola region, three kilometers away from the capital of Kazakhstan, Nursultan was started in 2013, and started supplying electricity before the EXPO-2017. Produced electricity is transferred to the national electricity line via eight kilometers long line. However, the amount of energy produced at the plant comprises less than 1% of the total electricity demand of the country. Currently, the plant has a capacity of 80 million kW per hour. It is planned to increase the capacity by more than two times. The increased capacity will aid to save up to 100 thousand tons of coal. At the beginning of 2020, Italian energy company, Eni, launched 48MW Badamsha wind farm located in north-west part of Kazakhstan. The wind farm is expected to provide the region with annual power generation of about 198GWh, reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions by coal-fired power plants by 172 thousand tons annually. Moreover, recently, construction of the new Zhanatas WPP in the south of the country was announced. The wind farm is to produce 100 MW of energy and save 262 thousand tons of CO<sub>2</sub> emissions by coal-fired power plants annually.

Overall, large scaled wind power plants are planned to be constructed on ten sites selected by the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Kazakhstan. One of the most perspective sites in terms of wind power resources is the Zhungar corridor with a capacity of 17 billion kWh per square meter. Table 1 shows potential sites for the construction of wind power plants based on the available meteorological data, according to the Program of development of electric power industry until 2030.

Table 1

**Potential sites for the construction of wind power**

Potential sites	Power, MW
Zhungar WPP	40
Shelek WPP	140
Saryozekskaya WPP	140
Alakolskaya WPP	140
Karoyskaya WPP	20
Shengeldinskaya WPP	20
Kurdayskaya WPP	20

To avoid environmental pollution caused by coal-fired power plants, it is important for Kazakhstan to develop green energy technologies. In addition, the development of renewable energy sources would diversify economic and energy sectors of the country, while improving the environment and human health. To conclude, other than being environmentally friendly, development of renewable energy generation gives an opportunity for Kazakhstan to build a strong economy and to meet its energy consumption demand. Unfortunately, despite all of the benefits of wind power generation, the main disadvantage of wind energy is the intermittent nature of wind. Therefore, the wind energy needs to be paired with another energy type that can be produced according to a schedule. Wind energy can be viewed as a complementary source of energy, not as an independent one.

Table 2

**Wind and solar power plants operating in Kazakhstan in 2022**

№	Name	Type	Installed capacity, MW	Region
1	SES Burnoe	SES	100	Jambyl Region
2	SES Nura	SES	100	Akmola region
3	SES Saran	SES	100	Karaganda region
4	Isatai WES	WES	52	Atyrau region
5	SES Akadyr	SES	50	Karaganda region
6	Makat wind farm	WES	48	Atyrau region
7	Ereymentskaya WES	WES	45	Akmola region
8	SES Gulshat	SES	40	Karaganda region
9	Kordai WES	WES	21	Jambyl Region
10	SES Kengir	SES	10	Karaganda region
11	Kapshagai HPP	SES	2	Alma-Ata's region
12	WPP "K-1"	WES	1,6	Jambyl Region
13	SES Otar	SES	0,5	Jambyl Region

Kazakhstan, as one of the largest countries in the world, has a huge potential for the development of alternative energy sources, which has not yet been used to the maximum. After considering the development prospects for each of the regions, it can be concluded that the even distribution of alternative energy sources is not optimal throughout all of the territory of Kazakhstan. Since wind energy has the maximum potential in the Northern and Western regions of Kazakhstan, Solar panels can become a source of energy for the Southern regions of Kazakhstan. However, solar panels will not be able to fully provide the necessary electricity capacity in the southern regions, since there 2 largest

cities are located. In this regard, the installation of additional hydroelectric power plants is promising to be more environmentally friendly replacement for coal for poor and remote communities in Kazakhstan.

### References

1. Howie P., Atakhanova Z. Household Coal Demand in Rural Kazakhstan: Subsidies, Efficiency, and Alternatives, Energy and Policy Research. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: 10.1080/23815639.2017.1333471. (дата обращения: 08.06.2022).
2. Как развивается альтернативная энергетика в Казахстане. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://forbes.kz/process/energetics/tri\\_stihii\\_1608813668/](https://forbes.kz/process/energetics/tri_stihii_1608813668/) (дата обращения: 08.06.2022).
3. Asia Wind Energy Association. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.asiawind.org/research-data/market-overview/kazakhstan/#:~:text=Currently%20only%20one%20wind%20energy,December%202011%20in%20Zhambyl%20region> (дата обращения: 08.06.2022).
4. CARNet (n.d.). Energy and renewable energy sources in Kazakhstan. The regional Environmental Center for Central Asia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.careseco.org/en/main/> (дата обращения: 24.11.2022).
5. Kazinform. EBRD, AIB, ICBC and GCF provide US\$ 95.3 million for wind farm in Kazakhstan. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.inform.kz/en/ebd-aiib-icbc-and-gcf-provide-us-95-3-million-for-wind-farm-in-kazakhstan\\_a3710920](https://www.inform.kz/en/ebd-aiib-icbc-and-gcf-provide-us-95-3-million-for-wind-farm-in-kazakhstan_a3710920). (дата обращения: 24.11.2022).

UDK 504.062

**DIGITAL WASTE MANAGEMENT BASED ON TELEGRAM CHANNEL***Kudriavtseva S.V.<sup>1</sup> (student), Savoskula V.A.<sup>1,2</sup>**Scientific adviser – Ph.D., Associate Professor Sergienko O.I.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>*ITMO University*<sup>2</sup>*ООО TPVCIS, Moskovskoye Shosse**e-mail: softiakudriavtseva@internet.ru*

The article is devoted to the issue of informing Russian consumers about the possibility of recycling waste packaging materials for food by means of a telegram bot. The bot has been proposed to quickly provide information on the possibility of separate collection of packaging waste.

**Keywords**

Circular economy, separate collection, sorting, barcode, tetrapack, telegram, bot.

In the modern world, fashion trends are emerging based on the creation of new materials from recycled products and chemical waste [1]. The predominant raw materials for these industries are the contents of waste sorting bins. The main types of secondary raw materials and examples of materials obtained from them are shown in Table.

Table

**Materials that can be obtained from recycled materials**

<b>Types of recyclable materials</b>	<b>Components</b>
Wood	Branches and leaves of trees, sawdust, chipboard, wood trimmings
Biological waste	Food waste, fats, wood waste, waste paper, feces, animal carcasses (only those approved by the veterinary authorities for processing)
Textile	Overalls, bed linen, tablecloths, bedspreads, curtains, shreds of fabric, dooms of fabrics. All similar products that are formed as a result of marriage or wear and tear in enterprises, households, industries
Polymers	Plastic bottles, bags, broken plastic buckets and basins, as well as polyethylene film, PVC products
Construction waste	Brick, concrete, old wallpaper, reinforced concrete
Scrap metal	Scrap of various alloys: aluminum, copper, titanium and lead, as well as waste from manufacturing industries (steel shavings, cuttings)
Chemicals	Acid, alkaline and organic elements
Waste paper	Paper, cardboard, paper bags, books, magazines (except glossy), wrapping paper
Glass	Glass Bottles, jars, cullet, test tubes
Petroleum products	Asphalt, bitumen, fuel oil, tar
Electronics	Electrical appliances, their boards, wires, flash drives, computer and telephone chips, household appliances

The quality and purity of raw materials directly depends on the people who hand over secondary raw materials for processing [2]. However, processing companies and consumers are faced with the problem of the lack of unification of the packaging of one product category. More and more often packaging materials appear on the market, which consist of several composite parts, and therefore, the processes of sorting and processing become much more complicated, and in some cases become completely impossible. According to the Ministry of Nature, approximately 70 million tons of municipal solid waste is generated in the Russian Federation every year, and this amount is increasing

by about 3% every year, of which only 5–7% of garbage is sent for processing, the rest is buried [3]. However, it is not known exactly what share of the total volume of waste occupies packaging. The main problem is the low level of education of people in the field of waste sorting, and as a result, the low quality of secondary raw materials.

In most cases, it is composite materials that cause difficulties in determining the category of secondary raw materials. Very often, disposable plastic coffee cups with a paper layer are thrown into paper or plastic containers, while none of the options will lead to the complete processing of this type of waste [4]. A similar situation occurs with many types of tetrapacks, in connection with which contractors have to carry out additional mechanical or manual sorting of raw materials coming from separate collection tanks already at the plants.

These production costs can be avoided by conducting environmental education of the population and increasing the availability of modern primary sorting tools that help the consumer in the separate collection of waste.

Primary sorting tools include specialized separate collection containers, recycling points, as well as return packaging machines. In addition to physical collection points, there are a large number of applications and websites that help in sorting recycled materials [5]. Examples are ProPlastic, Recycling Map and Ecolabel Guide. During the analysis, the majority of the closest analogues are shown as general informational apps and do not provide answers to more complex questions regarding composite packaging materials. The results of this analysis led to the idea of creating an electronic assistant bot based on the Telegram program, which could provide not only general information about labeling and disposal methods, but also specific information about the packaging of goods by its barcode, which makes this business project more informative and convenient compared to its competitors.

Since initially the bot did not assume the possibility of sending photos for recognizing bar codes, it was necessary to find an opportunity to expand its functionality. During the testing of several ways to connect this feature, the most effective solution was to connect an additional bot.



Fig. 1. Telegram Chat-bot interface sample



After opening a chat with the main bot, the user is given the option to search for a common type of material that is typical of recycled materials, such as paper, metal, glass, plastic, and batteries. With this type of request, the bot automatically gives him information about the main types of this garbage, and also gives a link to a map of the nearest collection points for this type of raw material.

The second option available to the user is search by words. If the user is not sure which fraction the garbage belongs to, then he can send the word “Perfume” or any other name of the waste to the bot and the bot will give him the most common packaging options for this product and give recommendations on how to sort them. However, it should be noted that in the absence of unification of packaging, the same type of product may have a different type of packaging. Let's take milk as an example. Different manufacturers offer their products both in a plastic bottle or a tetra pack, and in rare cases, in glass. In this case, the user can use the interface button, which redirects him to a chat with the second bot. In this case, the bot starts working according to the principle shown in Figure 2.

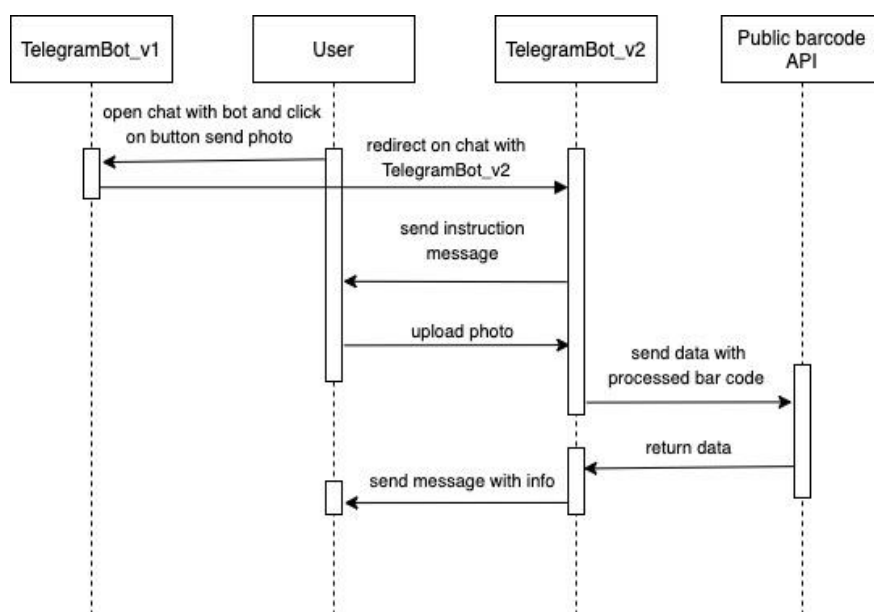


Fig. 2. The scheme for processing requests by the main and additional bots

The second bot acts as a barcode reader and provides information about the package type from the existing database. By pressing the button, we are redirected to a chat with the second bot, which triggers a message with instructions on how to send a photo. 4 components are used for interacting in the process of sending a photo.

After opening the “Photos” tab and clicking on the “Upload photo” button, the system explorer opens, in which the user selects photos. After selecting photos and pressing the open button. The component being developed should start sending photos to the server for further data processing there. Before sending photos, the input data must be validated and only after that we can start the process of sending.

After the user uploads a photo, the code that implements the bot processes the photo and extracts the ID bar of the code.

Next, a post request is generated to an external API containing data on the bar code. To this request, the API returns information on the disposal of this product found in the database by the passed identifier.

After that, the telegram bot processes the received data from the API and generates a message that will be sent to the user in the chat. After that, the user receives a message with the name of the product, the type of its packaging and the primary method of its disposal. When looking at a more specific type of packaging in more detail, the user can return to the main bot using the interface button and make a request according to the first two options.

In the course of this work, an analysis of the closest competitors and a prototype of the telegram bot were made. This information will become the basis for the creation and development of the bot

program, which in the future can become a simple and convenient program to help sort waste. Further development of the bot involves connecting it to the database of barcodes of all food retail chains in order to cover the maximum number of goods, as well as loading the database on the composite composition of the packaging of each product and the possibility of sorting it for further processing.

The possibility of monetization of this bot is its connection to the services "2gis" and "Recycle map", with the possibility of one-way or mutual advertising.

## References

1. Bringhenti J.R., Günther W.M.R. Social participation in selective collection program of municipal solid waste // *Eng. Sanit. Ambient.* 2011. №. 16. Pp. 421–430.
2. De Feo G., De Gisi, S. Domestic separation and collection of municipal solid waste: Opinion and awareness of citizens and workers. // *Sustainability.* 2010. №. 2. Pp. 1297–1326.
3. Mereminskaya E., Finansirovanie musornoj reformy iz byudzheta sokratitsya. *Vedomosti* ot 18 oktyabrya 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2019/10/17/814026-finansirovanie-reformi> (дата обращения: 03.02.2023).
4. Guagnano G.A., Stern P.C., Dietz T. Influences on attitude-behavior relationships: A natural experiment with curbside recycling. // *Environ. Behav.* 1995. №. 27. Pp. 699–718.
5. Noehammer H.C., Byer P.H. Effect of design variables on participation in residential curbside recycling programs // *Waste Manag. Resourse.* 1997. №. 15. Pp. 407–427.

UDK 504.062

## ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC PROBLEMS OF RDF/SRF UTILIZATION

*Kudriavtseva S.V.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – Ph.D., Associate Professor Sergienko O.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: softiakudriavtseva@internet.ru*

---

The production of RDF and SRF fuel is one of the easiest ways to process MSW on an industrial scale, apart from conventional incineration. This article will consider environmental (feeding toxic impurities, the impact of chlorine, mercury, cadmium content) and economic (high cost and low demand) problems of large-scale use of RDF and SRF fuels.

### **Keywords**

Renewable source, circular economy, RDF, SRF, environmental problems, economic problems.

---

Nowadays, an important additional attractiveness toward waste thermal treatments is given by the possibility of making significant energy recovery, thanks to the technological developments achieved in this field [1] and, in the case of MSW, to the increased energy content with respect to the past, because of the change in the consumers' habits and the increase in the upstream separate collection. There is an increasing focus on environmental issues such as global warming and it is a well-known fact that carbon emissions into the atmosphere need to be reduced in order to combat climate change. Industry therefore faces a challenge in terms of its energy requirements.

MSW fractions of energy value can make up to 25-30% of the total MSW volume, including RDF and SRF. RDF (Refuse Derived Fuel) and SRF (Solid Recovered Fuel) are methods used to turn general waste into a fuel that can be used in Energy from Waste facilities to generate heat and power, rather than sending the waste to landfill. These types of fuel are a homogeneous multicomponent crushed mass with a particle size of no more than 25 mm in two dimensions, consisting of the following caloric fractions: polymers, waste paper, textiles, leather, rubber, wood, etc. The schemes of production of SRF and RDF are provided on figure 1 and 2. According to toxicological characteristics, the fuel belongs to the products of the 4th hazard class according to GOST 33626-2015 (EN 15442:2011) and has no toxicological effect on the human body. This type of fuel has been produced on the territory of the Russian Federation since 2011.

As the material present in RDF cannot be recycled, it is currently sent to landfill which is an environmentally unsound option, as landfills produce large volumes of methane – a greenhouse gas [2]. The unique nature of a cement kiln, with flame temperatures burning in excess of 2000°C means that materials such as these can be completely destroyed without producing waste ash or harmful emissions. Furthermore, as energy is recovered in the burning process, it makes excellent use of an otherwise waste material [3]. The main ways of using SRF and RDF fuels is to generate heat, as well as raw materials in cement plants.

The main problem regarding the use of RDF by cement kilns is the chlorine content. When the chlorine content is high, it weakens the concrete compressive strength. The average chlorine content from GOST 33626-2015 is provided in the table 1 [4]. The chlorine compounds and alkali-silica reactions create salts. These salts generate microcracks and the compressive strength decreases. Chlorine has a strong toxic and irritating effect on the human body by irritating to eyes and respiratory system, inhalation causes convulsive, excruciating cough. In severe cases, there is a spasm of the vocal cords, pulmonary edema. Chlorine has a chilling effect on the central nervous system. Chlorine gas is irritating to damp skin, causing it to redden. If liquid chlorine comes into contact with the skin, it may occur chemical burns and frostbite.

---

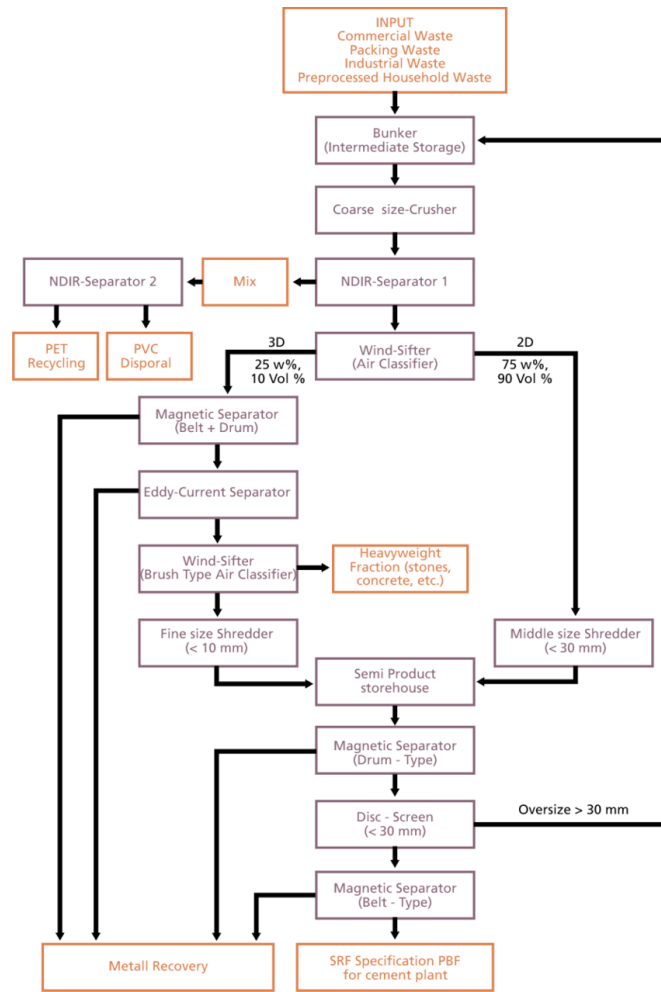


Fig. 1. SRF production scheme

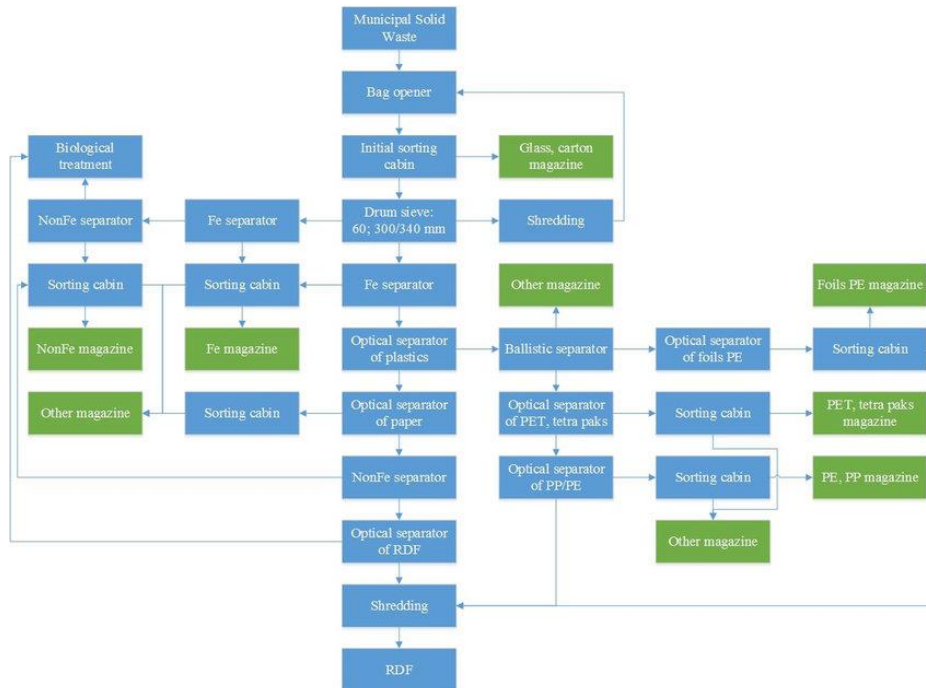


Fig. 2. RDF production scheme.

Also, chlorine creates the oxidation of iron in concrete. However, the cement industry estimates that up to 20% of the heat from RDF could supply the load of a cement kiln, and the cement kiln could also burn other wastes, such as tires, at the same time [5].

Another environmental problem associated with the utilization of RDF and SRF types of fuels is a poor raw material base and an insufficient level of waste sorting. For example, Italian eco-activists are raising a public outcry: the Italian garbage business, closely associated with the mafia, practices mixing household and hazardous waste. While RDF fuel is burned in kilns of Bulgarian cement plants and power plants, it can threaten human health and the environment in the process of further waste disposal.

Concerns about the potential for hazardous substances in waste from Italy are not groundless. Italian waste management practices have a bad reputation in the EU and beyond.

The Italian environmental organization Legambiente has been researching waste management for many years. Their results show that toxic substances can enter non-hazardous waste due to lack of control. Similar situations are also observed in many other countries, where, in the course of negligence in the preparation of fuel, the number of hazardous emissions into the atmosphere increases.

According to Greenpeace, hazardous waste such as batteries, thermometers, e-waste and toxic plastic, polyvinyl chloride, is regularly added to RDF fuel.

In world practice, RDF fuel has 2 routes: to cement and metallurgical plants. Burning valuable natural resources is irrational and undermines the development of a cyclical economy, when resources are returned to circulation again and again. Waste fuels are not regulated as strictly as direct incineration for energy in incinerators. This means that in practice, violations can occur. For example, for the sake of the economy, lower quality filters may be installed at cement plants and thermal power plants.

In Russia, they are not systematically collected separately, so these things end up in the general waste stream, and in practice it is impossible to get them from there. Even with separate waste collection, the availability of which is low in Russia, there is no guarantee that hazardous waste will be recovered during sorting.

The use of waste fuels is not regulated as strictly as direct incineration for energy. This means that in practice, violations can occur. For example, for the sake of economy, cement plants and thermal power plants will install lower-quality purification equipment, and the fuel combustion process will be less well controlled. And no one will be held responsible for this.

Burning waste fuels is hazardous to health and the environment. According to studies, when fuel is burned in cement plants, 9 times more mercury, 3 times more cadmium and 203 times more lead are released into the atmosphere compared to an incineration plant. The use of waste fuels changes the structure of pollutants in the emissions of cement plants and leads to an increase in the emissions of dioxins, cadmium, benzene, which are highly toxic to the human body.

Converters are faced with the fact that alternative fuels from MSW or wood (or wooden railway sleepers) have a high moisture content, which significantly reduces their energy value. As practice shows, practically at any time of the year, the humidity of AT produced from MSW is never lower than 35%, and in the cold season it often exceeds 45%. In order for the process in a cement kiln to run evenly, without energy loss for water evaporation, the moisture content of the fuel should not exceed 20%. The average price for SRF with a calorific value of 14-16 MJ and humidity up to 20%, established in the Moscow region, is 800 - 1200 rubles / t DDP cement plant. With an increase in humidity, the consumer will proportionally knock down the purchase price, up to conditional 1 rub / t SRF. To avoid such a situation, it is advisable to complete the AT production line with a drying unit - for example, a drum or belt dryer. In this case, the heat required for drying machine. developed from produced AT. That part of the AT can be utilized in a heat generating device.

In general, the cost per unit weight of MSW is lower than that of fossil fuels; however, the cost of a heat unit of MSW can be higher than that of coal. In this section, some of the most considerable costs associated with RDF production and utilization in Metro Vancouver is summarized (Table):

1. Operational costs: Costs related to the operation of a business are considered as operational costs and included as the variable costs of maintenance, labor, and electricity.
2. Plant construction and land cost: To have a valid estimate of construction cost of the proposed RDF facility, related costs of similar facilities in Canada such as Dongara Pellet Factory for RDF in Ontario were studied. Then the construction costs were scaled for Metro Vancouver region.

3. Additional costs for cement production: Cement manufacturing's additional costs include building extra storage, implementing safety measures, purchasing or updating technical equipment, modifying kilns and upgrading fuel feed system, which will be considered for every 20 years.
4. Transportation costs: The transportation costs between transfer stations, facilities, and landfills are the same for all waste management options in Metro Vancouver; therefore, only transportation cost for RDF delivery to cement kilns is considered in this study. The delivery costs are estimated based on the proposed area for the RDF facility in region.

Table

**The average chlorine content. GOST 33626-2015**

Parameter	Static parameter	Average, %	90% (upper limit) confidence interval,%
Dry matter	Relative repeatability	0,5	1,1
	Relative reproducibility	0,7	1,6
Net calorific value	Relative repeatability	2,3	4,6
	Relative reproducibility	3,1	4,8
Chlorine	Relative repeatability	21	39
	Relative reproducibility	23	40
Antimony	Relative repeatability	40	100
	Relative reproducibility	42	90
Arsenic	Relative repeatability	46	120
	Relative reproducibility	48	120
Lead	Relative repeatability	64	180
	Relative reproducibility	64	170
Cadmium	Relative repeatability	73	150
	Relative reproducibility	74	150
Chromium	Relative repeatability	48	150
	Relative reproducibility	46	140
Cobalt	Relative repeatability	25	51
	Relative reproducibility	23	45
Copper	Relative repeatability	120	300
	Relative reproducibility	120	280
Manganese	Relative repeatability	20	53
	Relative reproducibility	19	43
Nickel	Relative repeatability	81	250
	Relative reproducibility	78	244
Mercury	Relative repeatability	35	140
	Relative reproducibility	38	140
Thallium	Relative repeatability	No data	No data
	Relative reproducibility	No data	No data
Vanadium	Relative repeatability	17	28
	Relative reproducibility	21	29

The solution to the problem of organizing the processing of the combustible part of solid waste is to reduce the share of burial and obtain alternative fuel for combustion at the cement plant assumed the fulfillment of several basic requirements:

1. The existing product quality and the environmental situation at the cement plant must be preserved, as well as the norms of the existing environmental legislation during operation cement plant using alternative fuels.
2. The cement plant should be exempted from waste management as a non-core business. Alternative fuel must enter the plant as a product, accompanied by the necessary documents (certificate of conformity), meet the requirements and characteristics required to replace mineral fuel.

3. The economic expediency and mutually beneficial interest of cement workers and waste recyclers must be observed.

The development of technology to produce alternative fuels from waste in St. Petersburg has been going on for a long time. "We started to deal with this topic about 10 years ago. SRF (solid recovered fuel, solid recovered fuel. – "DP") is the remains of paper, various plastics, fabric and wood. Fractions are greatly crushed in the process. Cement enterprises use it in the form flakes, metallurgical – pellets," said Sergey Semyonov, General Director of Spetstrans Engineering. Today, up to 35% of the total incoming flow of municipal solid waste (unsorted) entering the work of Autopark No. 1 "Spetstrans" JSC could be processed into fuel and not buried. But there is no such demand, and it is unprofitable to engage in production without interest from consumers, Sergey Semyonov noted. As part of the federal project "Circular Economy", the passport for the industrial program "Use of alternative fuels from waste in industrial production in 2022–2030" was approved by Deputy Prime Minister Viktoria Abramchenko. Manufacturers Moldov Cement, Heidelberg Cement Rus, and Lafarge Holcim have already established good practices for reusing waste raw materials. The use of alternative fuels is conceivable in practically in rotary kilns (waste fuel is fed into the burner zone and replaced with natural gas), blast furnaces (waste fuel is fed into the furnace quill zone and replaced with coke or natural gas), coke oven batteries (fed over the charge or added to the mixture to increase coke, coke oven gas, benzene), and all other high-temperature equipment.

### References

1. Caputo A.C., Pelagagge P.M. RDF production plants: II. Economics and profitability // Applied Thermal Engineering. 2002a. Т. 22. №. 4. DOI: 10.1016/S1359-4311(01)00101-6.
2. Haponych L., Holenko I., Topal O. The prospects to use SRF and RDF at cement plant of Ukraine // Ecological Sciences. 2020. Т. 3. №. 30.
3. Havukainen J. и др. Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou, China // Journal of Cleaner Production. 2017. Т. 141.
4. ГОСТ 33626-2015 ТОПЛИВО ТВЕРДОЕ ИЗ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ. Методы отбора проб. Solid recovered fuel. Methods for sampling. – Москва: Изд-во стандартов. 2015. 6 с.
5. Kara M. Environmental and economic advantages associated with the use of RDF in cement kilns // Resources, Conservation and Recycling. 2012. Т. 68. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.06.011.

УДК 620.951

## МИКРОБНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ КАК УЧАСТНИК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

*Максименко Н.И.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: maksimenkoITMO@gmail.com; molodkinanelli@gmail.com*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики»*

---

В работе рассмотрено применение псевдозерновой культуры киноа в качестве нетрадиционного сырьевого ингредиента для российского потребителя с целью создания многокомпонентных рецептур, что обосновано ее высокой пищевой ценностью и содержанием белка отличительного качества для рационализации использования традиционных сырьевых ресурсов с целью разработки сбалансированных продуктов питания.

### **Ключевые слова**

Микробный топливный элемент; экотехнологии; альтернативная энергетика; выращивание растений.

---

Актуальностью данной работы стал поиск энергоэффективных решений для выращивания растений при высокой энергоёмкости данного процесса. По данным исследования компании «Городские теплицы» о потреблении электроэнергии при выращивании даже при использовании уникальных эффективных технологий выращивание светлюбивого салата «Романо» использует 76,55 кВт\*ч в месяц. Также важным аспектом стал возрастающий интерес к технологиям альтернативной энергетике, способной компенсировать такие затраты, в том числе и к микробному топливному элементу.

Таким образом, была сформулирована цель нашего исследования – создание энергоэффективного микробного топливного элемента для внедрения в систему выращивания растений для частичной компенсации энергопотребления при выращивании. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценка современной базы исследований и патентов.
2. Разработка схемы собственного эксперимента для исследования МТЭ.
3. Сбор и апробация установки, и проведение лабораторных испытаний.

Микробный топливный элемент (МТЭ) – это маломощный источник альтернативной энергии, продуцирующий напряжение от жизнедеятельности бактерий. На аноде формируется анаэробная среда, вследствие чего в процессе обмена веществ бактерий электроны выходят в электрическую цепь и создают напряжение. На рисунке 1 представлена схема однокамерного микробного топливного элемента. Эта технология может быть применена в выращивании растений, в качестве компенсации энергопотребления данного процесса.

Оценка существующей литературной базы показала, что для исследования подходит определённый тип микробных топливных элементов – растительно-почвенный [1–3], что существующие разработки уступают по полезному использованию энергии и наличию возможности анализа состояния системы [2, 4, 5], а также что выдаваемое напряжение может зависеть от технических параметров МТЭ [1, 3]. Таким образом, целью исследования стало создание энергоэффективного микробного топливного элемента для внедрения в систему выращивания растений для частичной компенсации энергопотребления.

---



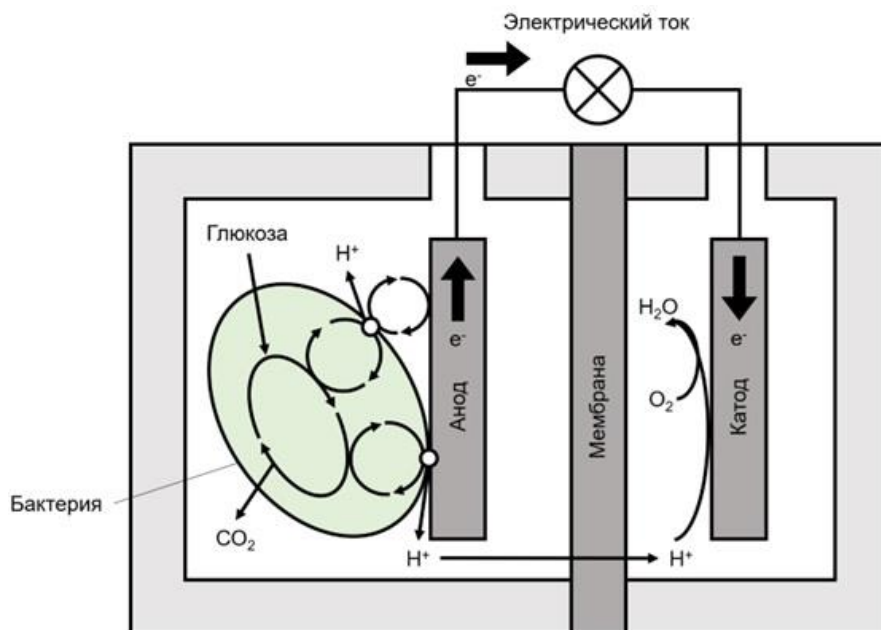


Рис. 1. Схема микробного топливного элемента

Для достижения цели исследования была разработана схема эксперимента – было решено провести серию опытов с отслеживанием выдаваемого напряжения для разных технических параметров системы. Поскольку были найдены исследования, посвящённые оценке жизнедеятельности растений в конструкции микробных топливных элементов [3], было решено изменять и оценивать именно конструктивные параметры системы, которые определяют микробный топливный элемент: это объём почвы (от 2 до 16 литров), площадь электродов из карбонного войлока (от 0,04 до 0,16 м<sup>2</sup>) и режима ирригации и внесения удобрений. Данная схема проведения эксперимента поможет выяснить, при каких параметрах система будет выдавать большее напряжение. После определения наилучших параметров для работы, будет полностью спроектирована и выполнена установка, где МТЭ включён в систему аккумуляции и распределения энергии на нужды выращивания. На рисунке 2 представлено оборудование для проведения эксперимента.



Рис. 2. Материалы и оборудование для проведения эксперимента

Дальнейшая работа будет заключаться в реализации эксперимента, затем будет выполнен подбор подходящей конструкции и разработка полной установки с регламентированными техническими требованиями. В будущем будет возможно применение данной технологии в других сферах исследования, например для питания дистанционных датчиков в процессе экологического мониторинга.

#### **Список использованных источников**

1. Кулешова Т.Э., Галль Н.Р., Галушко А.С., Панова Г.Г. Электрогенез растительно-микробного топливного элемента при параллельном и последовательном соединении ячеек // Журнал технической физики. 2021. Т. 91. №. 3. С. 510.
2. Кулешова Т. В., Галль Н.Р., Галушко А.С., Панова Г.Г. Растительно-микробный топливный элемент: pat. RU205912U1 USA.
3. Kabutey F.T. et al. An overview of plant microbial fuel cells (PMFCs): Configurations and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 2019. Vol. 110. Pp. 402–414.
4. Лашин А.Ф., Стом Д.И., Протасов Е.С., Быбин В.А. Микробный топливный элемент: pat. RU 151764 U1 H01M 8/16 USA. 2015.
5. Самков А.А., Волченко Н. Н., Барышев М.Г. Биотопливный элемент: pat. RU 2657289 C1 USA. 2018.

УДК 504.062.2

## НЕФТЕШЛАМ КАК ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

*Малиновская П.Н.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: polimalina2013@yandex.ru*

Работа посвящена анализу методов утилизации нефтешламов с получением товарной продукции. Представлены различные способы применения нефтешлама в качестве вторичного сырья. Осуществлен анализ составов и способов приготовления продукции из данного отхода. Представлена сводная таблица по рассмотренным методам утилизации с указанием положительных и отрицательных факторов.

### **Ключевые слова**

Нефтешлам, отходы, вторичное сырье, утилизация, товарная продукция.

Проблема утилизации отходов от нефтяной промышленности не является новой, однако до сих пор полностью не решена. Одного только нефтешлама в России ежегодно образуется около 500 тыс. тонн, а общее количество этого отхода, находящееся в различных емкостях, составляет 4,5 млн тонн [1].

Актуальность данной работы обуславливается растущим количеством нефтешлама от нефтяной промышленности, а также неэффективными методами утилизации данного отхода.

Была выделена следующая проблема: затруднение в утилизации нефтешлама представляется в отсутствии комплексного решения в России, мало изученность компонентного состава нефтешламов, а также постоянно увеличивающееся количество данного отхода.

В качестве решения данной проблемы были рассмотрены способы применения нефтешлама в роли вторичного сырья. В ходе написания статьи были рассмотрены методы утилизации нефтешламов с получением товарной продукции, а также описаны положительные и отрицательные стороны данных методов утилизации.

*Первый рассмотренный способ – Патент RU 2176653C2 «Гидроизоляционный кровельный материал».*

Гидроизоляционный кровельный материал предполагается использовать в строительстве для гидроизоляции [2].

Состав данного материала, масс. %: нефтешлам – 50–65, наполнитель (глина с фракцией от 0,1 до 1,0 мм либо керамзитовая пыль) – до 100.

Способ производства: в резервуар, оборудованный перемешивающим устройством, добавляют нефтешлам и наполнитель, затем перемешивают при температурном режиме от 60 до 95°C на протяжении 20–30 минут. Далее приготовленной массой покрывают поверхности и оставляют сушиться при температуре внешней среды.

Плюсы данного метода утилизации: из нефтешлама можно изготовить кровельный материал с улучшенными показателями (водозащитные свойства, температурная хрупкость). Для изготовления материала применяют недорогое и легко доступное сырье.

Минусы: высокие качественные характеристики достигаются только с использованием заявленной глины и пропорции сырья.

*Второй способ – Патент RU 2114086C1 «Сырьевая смесь для изготовления кирпича».*

Состав масс. %: сочетание древесных опилок и нефтешлама – 13–15, глина – до 100 [3].

Способ приготовления: нефтешлам и опилки перемешивают, далее добавляют сухую молотую глину и воду и перемешивают до однородной смеси. Из полученной массы формируют кирпичи и обжигают 1 час при температуре 1000°C.

Плюсы данного способа утилизации: с добавлением нефтешлама можно получить кирпичную смесь с улучшенными показателями по морозостойкости, механической прочности и открытой пористости.

Минусы: при уменьшении количества сырья все вышеописанные показатели ухудшаются.

*Следующий способ утилизации нефтешлама – Патент RU 2186835C1 «Рельсовая смазка».*

Состав масс. %: графит – 0,2–1,5; стеарат (оксистеарат) лития – 0,5–3,0; остаток, образованный на дне при хранении нефтепродуктов – до 100 [4].

Способ приготовления: в емкость с перемешивающим устройством загружают донные отложения нефтепродуктов и подогревают до 80–85°C. Далее добавляют графит и вновь перемешивают в течение 4 часов. Затем полученная масса поступает на гомогенизатор, и на последнем этапе готовая рельсовая смазка попадает в емкость машины для расфасовки.

Плюсы метода утилизации: можно получить рельсовую смазку с повешенными противоизносными свойствами.

Минусы: улучшенные свойства при изменении состава смазки ухудшаются.

*Далее рассмотрим Патент RU 2112758C1 «Способ получения керамзита».*

В данном способе нефтешлам применяют для улучшения процесса вспенивания.

Состав, масс. %: нефтешлам – 6–10; глина – до 100 [5].

Способ приготовления: глина идет на рыхление, далее в нее добавляют подогретый до 80–95°C нефтешлам, в составе которого 3–30 масс. % воды. Затем происходит перемешивание и формирование гранул, которые высушивают при температуре 200°C, обжигают и охлаждают.

Плюсы данного метода утилизации: за счет использования нефтешлама в итоге получают керамзит с большой прочностью.

Минусы данного метода утилизации: для приготовления керамзита нужно контролировать температуру всего процесса, а также количество сырья.

*Следующий способ утилизации нефтешлама – Патент RU 2553998C1 «Топливо для котельной ТОКОШ».*

Состав, масс. %: сочетание нефтешлама и карбоксилата натрия 40–50, угольная пыль – остальное.

Нефтешлам в данном способе должен иметь в составе: нефтепродукты 70–89 масс.%, механические примеси 1–7 масс. % и воду 10–20 масс. %.

Способ приготовления: смешивают очищенный от механических примесей нефтешлам и карбоксилат натрия. Далее подогревают смесь до 80–95°C, перемешивают на протяжении 10–15 минут и засыпают угольную пыль. Затем продолжают непрерывно перемешивать до получения однородной эмульсии при вышеуказанной температуре на протяжении 20–30 минут.

Плюсы способа утилизации: на выходе получается топливо с высокими качественными показателями (большая стабильность, низкая зольностью и себестоимость).

Минусы: при изменении количества сырья все вышеописанные показатели ухудшаются.

*Последний рассмотренный метод утилизации – Патент RU 217609C1 «Способ возведения дорожного основания».*

Указанное основание предусматривается использовать при прокладке автодорог III–V категорий.

Состав основания, масс. %: песок от 15 до 21, нефтешлам от 8 до 11, щебень и/или гравий до 100.

Способ приготовления: нефтешлам (содержание нефтепродуктов от 20 до 70 масс.%) распределяют на предварительно подготовленную полосу земли. Далее происходит уплотнение полосы, с нанесённым на него нефтешламом, и разлив 2-го слоя с повторным уплотнением дороги.

Плюсы: дорожное основание имеет высокую прочность.

Минусы метода утилизации: улучшенные характеристики основания достижимы за счет применения нефтешлама, содержащего в составе не менее 20 масс.% нефтепродуктов.

Подводя итог рассмотренных способов утилизации нефтешлама, была составлена сводная таблица.

Таблица

**Итоговая таблица методов утилизации нефтешлама**

Метод утилизации	Получаемый продукт из нефтешлама	Плюсы метода утилизации	Минусы метода утилизации
Патент RU 2176653C2	Гидроизоляционный кровельный материал	можно изготовить материал с улучшенными показателями (водозащитные свойства, температурная хрупкость)	высокие качественные характеристики достигаются только с использованием заявленной глины и пропорции сырья
Патент RU 2186835C1	Рельсовая смазка	на выходе получается смазка с повышенными противозносными свойствами	улучшенные свойства при изменении состава смазки ухудшаются
Патент RU 2114086C1	Сырьевая смесь для изготовления кирпича	можно получить кирпичную смесь с улучшенными показателями по морозостойкости, механической прочности и открытой пористости	при уменьшении количества сырья все описанные показатели ухудшаются
Патент RU 2112758C1	Керамзит	за счет использования нефтешлама в итоге получают керамзит с большой прочностью	нужно контролировать температуру всего процесса, а также количество сырья
Патент RU 2553998C1	Топливо для котельной ТОКОШ	на выходе получается топливо с высокими качественными показателями (большая стабильность, низкая зольностью и себестоимость)	при изменении количества сырья все описанные показатели ухудшаются
Патент RU 217609C1	Дорожное основание	дорожное основание имеет высокую прочность	улучшенные характеристики основания достижимы за счет применения нефтешлама, содержащего в составе не менее 20 мас.% нефтепродуктов

В заключение всей работы хочется сказать, что нефтешлам в качестве вторичного сырья можно использовать во многих отраслях промышленности.

Наиболее перспективные технологии утилизации – использование нефтешлама как дорожное основание и в качестве смеси для изготовления кирпичей. На сегодняшний день строительство объектов жилищного фонда ведется опережающими темпами, растет и потребность в строительных материалах, в том числе кирпичях. Использование нефтешламов позволит снизить производственные затраты на изготовление необходимых материалов.

Рассмотренные способы применения нефтешлама в качестве вторсырья показывают, что имеющиеся технологии позволяют существенно уменьшить объемы данного вида отходов.

#### Список использованных источников

1. Кириллов О.А., Кабанов А.Н., Савинков С.В. Экономическая эффективность переработки шламов нефтеперерабатывающего предприятия // Успехи в химии и химической технологии. 2014. №. 10(159). С. 105–107.

2. Пат. RU 2176653 (С2), МПК С08L 95/00, Е04D 5/02. Гидроизоляционный кровельный материал // Шпербер Р.Е. (RU), Шпербер Е.Р. (RU), Шпербер Ф.Р. (RU) и др.: заявитель и патентообладатель Строительное научно-техническое малое предприятие "ЭЗИП" (RU). – No. 99123605/03; заявл. 11.10.99; опубл.12.10.2001. 8 с.
3. Пат. RU 2186835 (С1), МПК С10М 169/02, С10М 101/02, С10М 117/02, С10М 117/04, С10М 125/02. Рельсовая смазка // Шпербер Р.Е. (RU), Беляев Б. О. (RU), Шпербер Е.Р. (RU) и др.: заявитель и патентообладатель Строительное научно-техническое малое предприятие "ЭЗИП" (RU). – No. 2001123807/04; заявл. 08.27.2001; опубл. 08.10.2002. 5 с.
4. Пат. RU 2114086 (С1), МПК С04В 33/13, С04В 33/00. Сырьевая смесь для изготовления кирпича // Шпербер Р.Е. (RU), Шпербер Е.Р. (RU), Шпербер Ф.Р. (RU): заявитель и патентообладатель Строительное научно-техническое малое предприятие "ЭЗИП" (RU), Шпербер Р.Е. (RU), Шпербер Е.Р. (RU), Шпербер Ф.Р. (RU) – No. 96122611/03; заявл. 11.27.96; опубл. 06.27.1998. 6 с.
5. Пат. RU 2112758 (С1), МПК С04В 14/12. Способ получения керамзита // Шпербер Р.Е. (RU), Шпербер Е.Р. (RU), Шпербер Ф.Р. (RU): заявитель и патентообладатель Строительное научно-техническое малое предприятие "ЭЗИП" (RU). – No. 96120970/03; заявл. 10.15.96; опубл. 06.10.98. 7 с.

УДК 665.666.4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ МАСЛЯНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ КАК СПОСОБА СОКРАЩЕНИЯ КИСЛОГУДРОННЫХ ОТХОДОВ

*Матвеева Ю.Г.<sup>1</sup> (студент), Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: matveevajg@mail.ru*

---

В работе представлено техническое решение по уменьшению образования кислородных отходов на нефтеперерабатывающем заводе. Был проведен сравнительный анализ существующей технологии очистки масляных дистиллятов с перспективной технологией. Дана эколого-экономическая оценка от внедрения установки селективной очистки дистиллятов N-метил-2-пирролидином 37/4 на ОПНМЗ им. Д.И. Менделеева.

### **Ключевые слова**

Кислородные отходы, селективная очистка, масляные дистилляты, перспективные технологии, эколого-экономическая оценка.

---

Сернокислотная очистка является часто используемым методом при производстве дистиллятов и различных дизельных масел. Очистка серной кислотой приводит к потере большого количества товарных нефтепродуктов вследствие полимеризации и образования трудноутилизируемых отходов – кислых гудронов. Их постоянно растущее количество создает риск загрязнения окружающей среды из-за нестабильных и опасных свойств компонентов.

В работе рассматривается одно из крупных и старейших нефтеперерабатывающих заводов страны – ОПНМЗ им. Д.И. Менделеева, расположенное в Ярославле. На территории предприятия хранится около 350 тысяч тонн кислого гудрона, складываемого в пойме реки Печегда. Предприятие относится к объектам I категории негативного воздействия на окружающую среду. Вследствие периодических весенних паводков на реке Печегда существует угроза разлива кислого гудрона из прудов-накопителей в реку Волгу.

На сегодняшний день проблема накопленного вреда решается на федеральном уровне в рамках проекта «Чистая Волга». Одной из долгосрочных задач является ликвидация кислородных прудов на территории ОПНМЗ им. Менделеева. Ярославская область является активным участником проекта и выделила около трех миллиардов рублей в общий бюджет на 2021 год.

Согласно ГОСТ Р 56828.32–2017 «Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Методологии идентификации технологические показатели НДТ», объекты данной категории должны осуществлять переход на нормирование на основе НДТ и получать комплексные экологические разрешения [1].

В связи с неблагоприятной экологической ситуацией и высокой вероятностью ее прогрессирования, представляется актуальным модернизировать технологический процесс на стадии очистки дистиллятов от смолистых веществ и ароматических углеводородов. Внедрение наилучшей доступной технологии позволит полностью сократить выработку кислородного отхода и, как следствие, ускорить утилизацию существующих прудов-накопителей и предотвратить разлив в центральную водную артерию России – реку Волгу.

Каталитическое гидрирование в настоящее время активно используется за рубежом и в Российской Федерации как перспективный метод очистки нефтепродуктов от нежелательных компонентов. Суть этого процесса заключается в химическом превращении органических веществ в нефтяной фракции под действием водорода при высокой температуре и давлении.

---

Основными недостатками процесса гидроочистки являются потребность в больших количествах дорогостоящего водорода, водородная коррозия оборудования и образование отработанных катализаторов, которые не могут быть переработаны из-за их нестабильного химического состава [2].

По данным ИТС НДТ 30–2021 «Переработка нефти» наилучшей доступной технологией в области очистки дистиллятов является использование селективного метода. НДТ №26 «Снижение негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации установок экстракционной очистки» включает в себя подход 26.3, который сводится к использованию селективного метода очистки с менее токсичными и опасными растворителями в процессе экстракционной очистки. Сравнительный анализ основных промышленных растворителей, используемых для селективной очистки, показывает, что наиболее выгодным является N-метилпирролидон (NMP). Основные физико-химические свойства распространенных растворителей, используемых для селективной очистки, приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Характеристика физико-химических свойств растворителей селективной очистки**

Наименование показателя	Растворитель		
	Фенол	Фурфурол	NMP
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	1,058	1,1598	1,027
Показатель преломления при 20°C	1,5426	1,5261	1,4706
Температура, °C:			
кипения	181	162	202
кристаллизации	40,9	-36,5	-24,0
плавления	41	-39	-24
Вязкость динамическая при 50°C, Мпа*с	–	1,49	1,02
Теплоемкость при 20°C, кДж/кг*К	2,039	1,59	1,97
6. Поверхностное натяжение при 20°C, мН/м	38,2	43,76	39,91

Главными преимуществами N-метилпирролидона в сравнении с другими растворителями: высокая растворяющая способность по сравнению с фурфуролом и фенолом, низкая токсичность, высокая селективность, высокая стойкость к окислению и термостойкость [3].

В настоящее время наиболее распространенной и модернизированной селективной рафинацией на основе NMP является селективная рафинация смазочных материалов на основе N-метил-2 пирролидина 37/4. Данная технология использует NMP для удаления нежелательных веществ (полициклических и короткоцепочечных нафтеновых ароматических соединений, гетероатомных соединений и смол) из сырья с получением рафинатов. Система состоит из: блока экстракции, блока регенерации рафинатного раствора, блока регенерации экстракционного раствора и осушки растворителя. Сырьем являются – масляные дистилляты и деасфальтизат. Температура разнится от 50°C до 35°C при давлении 0,37 МПа, выход по рафинату достигает 96% и содержание серы в конечном продукте составляет 0,62%. Побочными продуктами являются экстракты, которые используются как сырье для производства битумов, технического углерода, пластификаторов, каучуков в резиновой промышленности, как компонент котельного топлива [4]. Технологическая схема очистки масляных дистиллятов с использованием NMP представлена на рисунке 1.

Внедрение установки селективной очистки 37/4 позволит уменьшить негативного воздействия на окружающую среду за счет полного сокращения образования кислородсодержащих отходов и частичного сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на стадии рафинирования нефтепродуктов. Количественная оценка сокращения негативного воздействия на окружающую среду при использовании селективной очистки представлена в таблице 2.



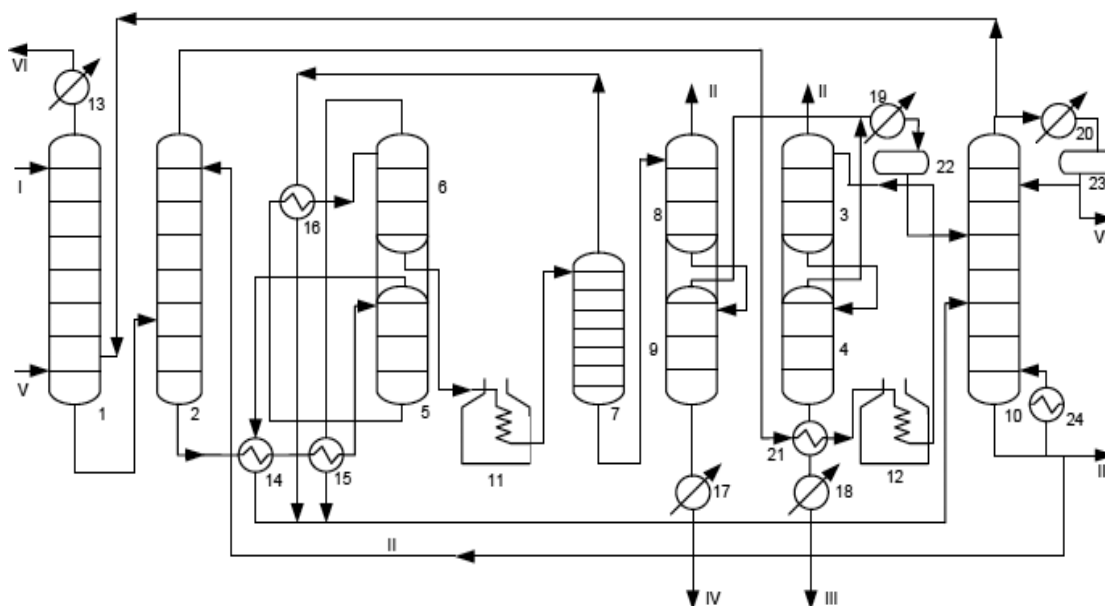


Рис. 1. Технологическая схема очистки масел N-метилпирролидоном [4]: 1 – деаэратор; 2 – экстрактор; 3 – вакуумная испарительная колонна рафината; 4 - вакуумная отпарная колонна рафината; 5, 6, 7 – испарительные колонны экстракта; 8 – вакуумная испарительная колонна экстракта; 9 – вакуумная отпарная колонна экстракта; 10 – колонна осушки НМП; 11, 12 – печи; 13, 17, 18, 19, 20 – холодильники; 14, 15, 16, 21, 24 – теплообменники; 22, 23 – емкости; I – Сырье; II – Растворитель; III – Рафинат; IV – Экстракт; V – Водяной пар; VI – Вода

Таблица 2

**Количественная оценка экологических сбережений при внедрении установки 34/7**

Вид воздействия на окружающую среду	Показатели при сернокислотной очистке дистиллятов (тонн/год)	Показатели при селективной очистке дистиллятов (тонн/год)	Сокращение негативного воздействия (%)
Загрязнение атмосферного воздуха, из них по веществам:			
CO	19,24	13,79	28,3%
SO <sub>2</sub>	213,5	3,89	98,2 %
NO	20,5	6,98	86,4%
NO <sub>2</sub>	8,1	1,1	66,1%
CH	11,5	10,17	7%
Образование кислородных отходов	15 500	0	100%

В рамках определения экономической целесообразности внедрения установки 37/4 был рассчитан ряд экономических показателей эффективности проекта. Инвестиционные затраты на установку селективной очистки типа 34/7 приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Структура инвестиционных затрат на установку 34/7**

№ п/п	Наименование статьи затрат	Стоимость, руб.	Примечание
1	Приобретение оборудования	28 500 00 [4]	
2	Разработка проекта	5 700 000	20% от п.1
3	Монтажные и пусконаладочные работы	4 275 000	15% от п.1
4	Транспортно-заготовительные расходы	1 995 000	7% от п.1
5	Обучение	1 425 000	5% от п.1
6	Прочие расходы	855 000	3% от п.1
ИТОГО: I <sub>0</sub>		42 750 000	

Расходы на годовой ремонт и обслуживание принимаются в размере 50% от суммы амортизации и составляют 4 275 000 руб. Амортизация оборудования рассчитывается по годовым нормам амортизации ( $H_a$ ) в % от первоначальной стоимости по формуле:

$$(C_{об}) A = (C_{об} * H_a) / 100, \quad (1)$$

где  $H_a$  – годовая норма амортизации (20%).

$$A = (42\,750\,000 * 20) / 100 = 8\,550\,000 \text{ руб.}$$

Определение заработной платы производилась с учетом мониторинга средних заработных плат по советующим вакансиям в Ярославской области и отражены в таблице 4.

Таблица 4

**Зарплаты работников, обслуживающих установку 34/7**

Наименование должности	Зарботная плата, руб./мес.
Начальник установки	30 000
Мастер	25 000
Механик	20 000
Итого	75 000

Расходы на энергоресурсы определяются исходя из количества потребляемых энергоресурсов, тарифов за единицу используемой энергии в пересчете на 1 тонну сырья, с учетом того, что годовое количество сырья составляет 576 000 тонн. Эксплуатационные затраты при внедрении установки 34/7 отражены в таблице 5.

Таблица 5

**Эксплуатационные затраты на установку 34/7**

№ п/п	Статья затрат	Количество	Общий расход в год	Тариф за ед., руб.	Стоимость, тыс. руб.
1	Электроэнергия	17 на 1 т. сырья	9 792 000 кВт	1,47 руб. за 1 кВт	14 394 240
2	Водопотребление	12 м <sup>3</sup> на 1 т. сырья	6 912 000 м <sup>3</sup>	3,5 руб. за 1 м <sup>3</sup>	24 192 000
3	Водоотведение	98 400 м <sup>3</sup> /год	98 400 м <sup>3</sup>	42,84 руб. за 1 м <sup>3</sup>	4 215 456
4	Тепловая энергия	0,1 г/кал на 1 т. сырья	57 600 г/кал	135 руб. за 1 г/кал	7 776 000
5	Реагент (N-МП)	2,3 тонны на 1 т сырья	250 572 тонн	710 за 1 т.	117 906 120
5	Топливо	0.03 т на 1 т. сырья	17 280 тонн	Собственная выработка	0
6	Техническое обслуживание и ремонт	–	4 275 000 руб.	–	4 275 000
7	Оплата труда	75 000 руб.	900 000 руб.	–	900 000
Итого					169 033 716 руб. год

С учетом эксплуатационных затрат сумма чистой годовой экономии (В) составит 896 718 530 тыс. рублей (табл. 6).

Таблица 6

**Чистая годовая экономия при внедрении установки 34/7**

Наименование статей экономии (или затрат)	Текущая ситуация		После внедрения		Экономия	
	Кол-во	стоимость, тыс. руб.	Кол-во	стоимость, руб.	Кол-во	стоимость, руб.
Плата за негативное воздействие	15 500 тонн/год	108 750 000	0	0	0	108 750 000
Эксплуатационные затраты:	–	222 316 846	–	167 706 216	–	54 610 630
На текущий ремонт и обслуживание	–	2 250 000	–	4 275 000	–	- 2 025 000
Зарплаты персонала	–	770 400	–	900 000	–	- 129 600
Продажа побочных продуктов	–	–	50 735 тонн/год	735 512 500	–	735 512 500
Итого: чистая годовая экономия (В)						896 718 530

Для оценки эффективности реализации проекта по внедрению установки 34/7 были рассчитаны инвестиционные показатели.

Период окупаемости (РВ) определялся по формуле:

$$PB = I_0 / B, \quad (2)$$

где  $I_0$  – инвестиции, руб.;

$B$  – чистая годовая экономия, руб./год.

$$PB = 42\,750\,000 / 896\,718\,530 = 0,08 \text{ лет} = 30 \text{ суток} = 1 \text{ месяц.}$$

Индекс доходности (PI) рассчитан по формуле:

$$PI = NPV / I_0, \quad (3)$$

где NPV – чистый дисконтированный доход; руб.;

$I_0$  – инвестиционные затраты, руб.

$$PI = 4\,725\,362\,597 / 42\,750\,000 = 110 > 1.$$

Проект считается рентабельным, так как индекс доходности  $PI \geq 1$ .

Внутренняя норма рентабельности (IRR) определялась графическим способом и соответствует значению, при котором значение чистого дисконтированного дохода равняется нулю (рис. 2).

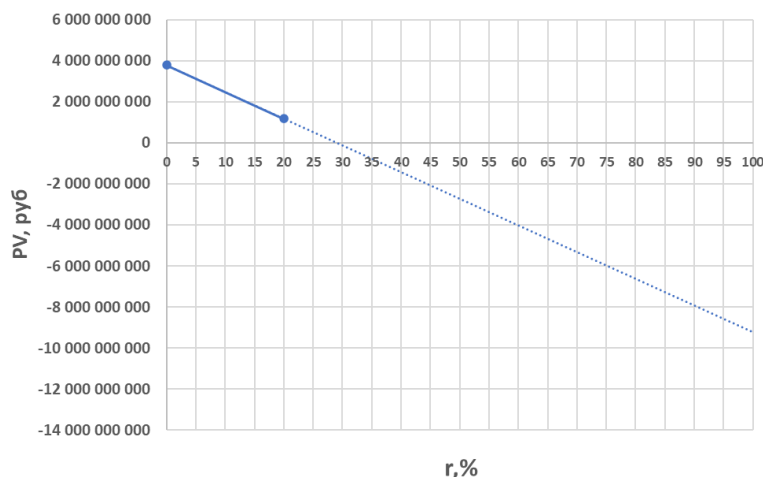


Рис. 2. Определение внутренней нормы рентабельности

По полученным данным, проект можно считать рентабельным, так как внутренняя норма рентабельности  $IRR = 30 \% > 20\%$ .

Таким образом, эколого-экономическое обоснование от внедрения установки селективной очистки смазочных масел N-метил-2-пирролидином 37/4 на ОПНМЗ им. Д.И. Менделеева доказало, что установка быстро окупается (менее одного года) за счет дополнительного дохода от продажи побочных продуктов на сумму 729 млн. руб./год и сокращения основной статьи текущих расходов предприятия - платы за негативное воздействие на окружающую среду от складирования кислородных отходов на сумму 108 млн. руб./год. Благодаря внедрению данной технологии будет происходить поэтапное увеличение количества утилизируемых кислородных отходов из прудов-накопителей, так как текущее образование будет сокращено до минимума. Помимо решения основной проблемы – образование кислородных отходов, также уменьшается объем сбросов и выбросов на 70% и 100% соответственно.

#### **Список использованных источников**

1. ГОСТ Р 56828.32–2017. Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Методологии идентификации технологические показатели НДТ. М. 2017. 22 с.
2. Гидроочистка масел. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://proofoil.ru/Oilrefining/Oilrefining28.html> (дата обращения: 17.01.2023).
3. ИТС НДТ 30–2021. Переработка нефти. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1649&etkstructure\\_id=1872](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1649&etkstructure_id=1872) (дата обращения: 15.01.2023).
4. Установка селективной очистки масел 37–4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://privetstudent.com/diplomnyye/diplomnyye-raboty-neft-i-gaz/3760-ustanovka-selektivnoy-ochistki-masel-37-4.html> (дата обращения: 10.01.2023).

UDK 504.06

## SUSTAINABILITY APPRAISAL OF GENERATOR GAS PRODUCTION IN MSW UTILIZATION

*Medvedeva Y.A.*<sup>1</sup> (student), *Kutko D.V.*<sup>1</sup> (student), *Abubakr Mustafa M.A.*<sup>1</sup> (student)

*Scientific adviser – PhD, Technical Science, Associate Professor Sergienko O.I.*<sup>1</sup>;  
*PhD, Technical Science, Associate Professor Rakhmanov Y.A.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: 371368@niuitmo.ru*

The article examines one of the popular methods of utilizing solid municipal waste, the gasification technology, which has the potential to reduce the percentage of landfilled waste in Russia, while generation additional energy. The resulting gas can be used to improve the combustion engine performance of numerous power plants. Incorporating such technology into a modern MSW management system will bring the circular economy closer to realization and contribute to financial savings and reduced consumption of fossil fuels.

### Keywords

Waste to energy (WtE), municipal solid wastes (MSW), gasification technology, internal combustion engine, specific lower working calorific value.

The industrial application of WtE-based gasification technology is now beginning. About 100 WtP-based gasification plants in operation, located in Japan and Europe, have used an internal combustion engine (ICE) gasifier to generate electricity by co-gasification of MSW and agricultural biomass. The results showed that the maximum electrical load generated was 5 kW and the electrical efficiencies were 22%, 20% and 19.5% for a MSW ratio of 0, 20 and 40 wt% respectively [1].

The advantages and disadvantages of different gas cleaning methods were critically discussed and it was concluded that catalytic hot gas cleaning with high efficiency catalyst is the most viable option for large scale production of pure producer gas. Since a comprehensive comparison of existing WtE technologies is rather rare, we aim at a life cycle assessment (LCA) using two sets of data: theoretical analysis and case studies of large scale commercial plants [2].

**Methods:** calculation methods, thermodynamic calculation, Decision Matrix.

### 1. Evaluation of elemental composition and specific lower calorific value of MSW in Russia.

The following 13 components are considered to make up today's Russian MSW: paper, cardboard, food waste, wood, metal, textiles, bone, glass, leather and rubber, stones, plastics, other (unclassifiable materials) and screenings [3].

The waste composition is heterogeneous and can vary greatly depending on the time of year, region, and location of the collection container. Four variations of the morphological waste composition were used for the calculations (Fig. 1, 2), differing to varying degrees from the average MSW morphological composition for Russian Federation [4].

The calculation of dry MSW mass percentage of each element was carried out according to the elemental composition of the working mass of MSW components (C), % from the Table 1, and the ratio (1).

$$C_w + H_w + O_w + N_w + A_w + S_w + W_w = 100\%, \quad (1)$$

where  $C_w$ ,  $H_w$ ,  $O_w$ ,  $N_w$ ,  $S_w$  – contents (%) of corresponding elements in MSW;  
 $A_w$  and  $W_w$  – contents (%) of ash and water in MSW.

Table 1

Elemental composition of the dry MSW mass ( $m_i$ ), wt %

MSW component	Composition $C_i, m_i, \%$							
	Chem. element(E)	Carbon, C	Hydrogen, H	Oxygen, O	Nitrogen, N	Sulfur, S	Ash, A	Water, W
Glass	-	-	-	-	-	-	100	3
Metal	-	-	-	-	-	-	100	6.6
Paper		49.14	6.1	43.03	0.05	0.16	1.52	24.3
Polymers		85.7	14.3	-	-	-	-	13.8
Leather		42.01	5.32	22.83	5.98	1	22.86	13.8
Textile		46.19	6.41	41.85	2.18	0.2	3.17	23.8
Wood		50.46	5.97	41.2	2	0.05	1	15.4
Food scraps		51.4	7.35	32.56	3.82	0.57	4.3	63.8
Park waste		49.2	6.5	36.7	2.9	0.35	5	37.9

Dry MSW mass percentage of each element E has been calculated with the formula (2):

$$E^d = 0.01 \times \sum (g_i \times m_i), \% \quad (2)$$

where  $g_i$  – content (%) of corresponding component in MSW composition.

The transition from the percentage of elements in dry MSW mass to the percentage in the working MSW mass has been calculated using a formula (3):

$$E^w = E^d \times \frac{100 - W^w}{100}, \% \quad (3)$$

Specific lower working calorific value has been calculated using the formula (4):

$$Q_l^w = 339.4 \times C^w + 1257 \times H^w - 108.9 \times (O^w - S^w) - 25.1 \times (9H^w + W^w), \text{ kJ/kg} \quad (4)$$

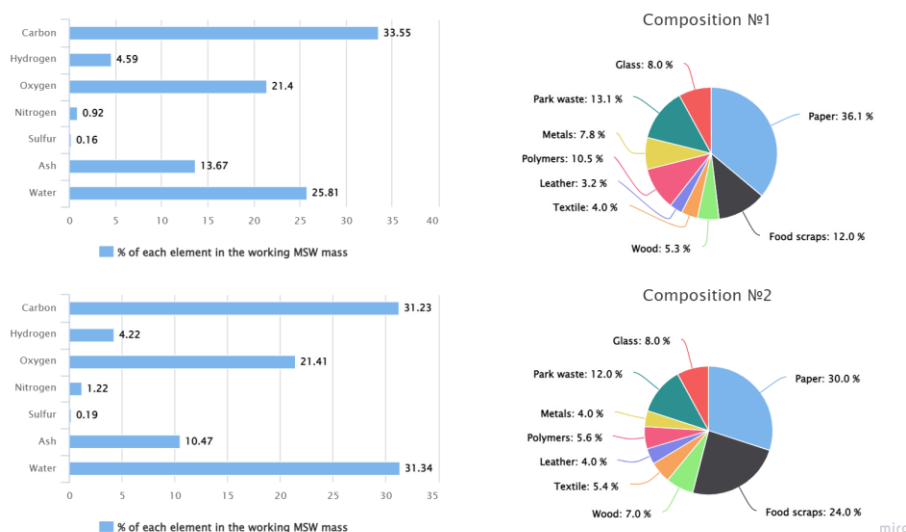


Fig. 1. Considered types of MSW composition in Russian Federation

Despite the fact that four different compositions of MSW have been considered, this had almost no effect on the distribution of the elemental composition of waste (Fig. 1, 2). This is probably due to the prevalence of chemical elements in the main products of human activity and approximately the same ratio of the fractions represented in their dry mass. The elemental MSW composition is dominated by carbon, which makes up just under a third of the waste mass, one-fifth is oxygen. The sulphur content does not exceed 0.21%.

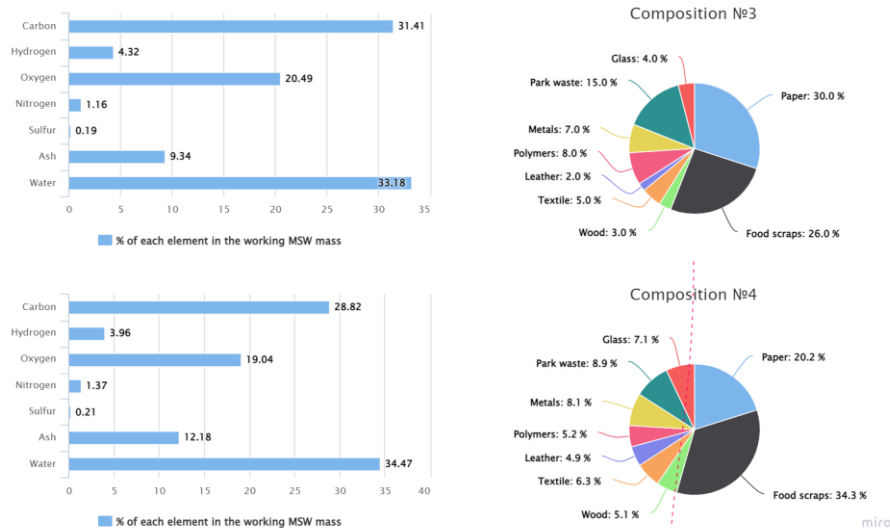


Fig. 2. Considered types of MSW composition in Russian Federation

Specific lower working calorific value  $Q$  is the amount of heat released during the complete combustion of 1 kg of MSW. It excludes the heat spent on the evaporation of moisture formed during the combustion of this fuel. This value is measured in kJ/kg or in kcal/kg and is taken as a main indicator of the fuel calorific capacity.

According to the results of calculations (Fig. 3), it can be confirmed that calorific value mostly depends on the water content of the waste, which reduces its calorific quality, as well as the content of hydrogen and oxygen. The content of carbon in the waste, on the contrary, increases it.

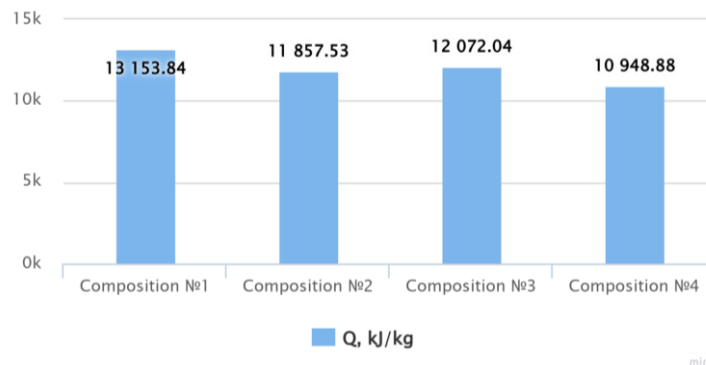


Fig. 3. The results of the calorific value calculations for MSW of different composition

## 2. Process calculation of a gas generator.

Technological calculation of MSW gasification in a gas generator has been proceeded. The generated gas is purified, cooled and fed for combustion into burners of heat-using equipment or into internal combustion engines to obtain mechanical energy to drive working machines (pumps, compressors, etc.) as well as an electric generator to obtain electrical energy. The disadvantage of generator gas is possible contamination with resins and other harmful substance, depending on the composition of MSW, which requires preliminary cleaning before use.

The composition of the generator gas was taken based on the data obtained by generalized operational experience (Table 2).

Table 2

Composition of the generator gas obtained during the gasification of MSW sorting waste (non-condensable components, % vol.)

CO <sub>2</sub>	Ar	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>
17.0	0.7	0.0	62.5	8.8	0.7	1.8	8.5

The amount of dry generator gas processed from 1 kg of waste was obtained by dividing the amount of carbon of the MSW converted into the generator gas by the carbon content of 1 m<sup>3</sup> of generator gas (5):

$$V_g = \frac{C^w - C_l}{C_g \times 100}, \text{ m}^3/\text{kg of waste} \quad (5)$$

where  $C_l$  – loss of MSW carbon together with ash and in the form of dust carried away from the gas generator, is taken equal to 2%,  $C_g$  – carbon content in 1 m<sup>3</sup> of dry generator gas.

When carrying out a general trend (Fig. 4), it is clear, that despite some differences in the composition of MSW, the generator gas output varies from 1.7 to 2.1 m<sup>3</sup> per every 1 kg of MSW.

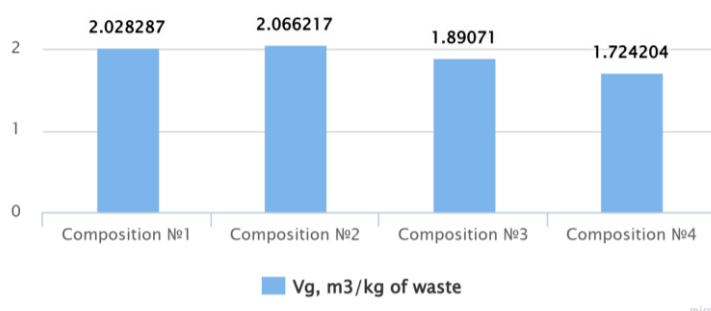


Fig. 4. The calculation results of generator gas production from different MSW

Generator gas output and the specific calorific value are strongly related to each other. Both of these quantities depend on the amount of carbon in MSW. That means, the more carbon in MSW, the greater calorific value, and the greater the gas output.

When calculating, the insignificant amount of nitrogen contained in the waste was neglected and only the nitrogen contained in the air was taken into account (the volume fraction of nitrogen in the air  $N_{2a} = 0,79$ ). Then the amount of air required for gasification of 1 kg of waste is found by formula (6):

$$L = \frac{N_2 \times V_g}{100 \times N_{2a}}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6)$$

where  $N_2$  – nitrogen content in the generator gas, % vol.

The efficiency of MSW gasification is found with the formula (7):

$$\eta = \frac{Q_{dg} \times V_g \times 100}{Q_{MSW}}, \% \quad (7)$$

where  $Q_{dg}$  – specific calorific heat of dry generator gas combustion, which is found by formula (8):

$$Q_{dg} = \frac{126.44 \times CO + 107.6 \times H_2 + 357.97 \times CH_4 + 143.2 \times C_2H_4}{Q_{MSW}}, \text{ kJ/m}^3 \quad (8)$$

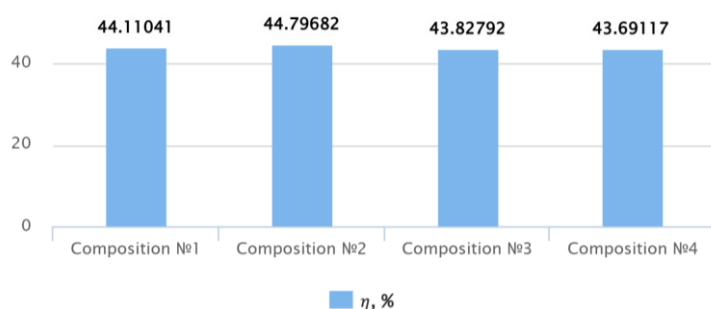


Fig. 5. The calculation results of gas generator efficiency



The gasification efficiency is the ratio of the amount of heat contained in the gas of the fuel to be gasified, obtained from 1 kg of that fuel to the calorific value of the fuel. The efficiency of the gas generator ranges on average from 43.7 to 44.7% (Fig. 5), and it is also proportional to the gas output and the specific lower calorific value of waste.

### 3. Developing measures to improve the energy efficiency of internal combustion engines through the use of generator gas.

Generator gas obtained from the thermochemical utilisation of MSW can be used in internal combustion engines to generate mechanical and electrical energy, thus reducing the consumption of high quality liquid and gaseous fuels and the negative environmental impacts associated with them.

Table 3

#### Thermal and energy characteristics and energy efficiency indicators of a reciprocating internal combustion engine (ICE)

Characteristics of modified internal combustion engine	Value	Units
engine fuel consumption $B$ ;	0.006	kg/sec
heat converted into useful work $Q_e$ ;	60	kW
efficiency factor $q_e$ of conversion heat into useful work;	25.412	%
heat loss with cooling water $Q_{cool}$ ;	46.09	kW
heat loss with exhaust gases $Q_g$ ;	62.88	kW
heating capacity of the heat pump $Q_{hp}$ ;	216.0	kW
possible total heating capacity $Q_H$ taking into account the heat pump and recuperation of internal combustion engine heat losses;	308.657	kW
heat utilization coefficient of the heat engine – heat pump complex $\eta_{use}$ ;	1.31	-
fuel savings in the substituted boiler units at the maximum heat output (thermal capacity) of the unit	91.73	t/year

The calculation results indicate the expediency of heat losses recovery from reciprocating internal combustion engines and their use as a heat pump compressor drive. Value of fuel heat utilization factor in this case can reach  $\eta_i = 0.647-1.31$ , annual saving of "conditional" fuel is  $\Delta Br = 91.73$  t/year.

The average calorific value of the studied MSW falls within the recommendations exceeding 8 MJ/kg [5]. However, according to the decision matrix used for current analysis, the requirements for applying the gasification technology to the MSW management system are very high. They include systematic waste collection, separate collection of organic and non-organic fractions, hazardous and bulky mineral waste. Therefore, detailed consideration of the methodology and different assessment approach is believed to be necessary for making further decisions.

Due to the prevalence of chemical elements in the main products of human activity and approximately the same ratio of the fractions represented in their dry mass, the elemental composition is very similar. Calorific value of MSW mostly depends on the water content of the waste, which reduces its calorific quality, as well as the content of hydrogen and oxygen. The content of carbon in the waste, on the contrary, increases it.

The calculation results indicate the feasibility of recuperation of heat losses of reciprocating internal combustion engines and their use as a compressor drive of heat pump. Value of fuel heat utilization factor in this case can reach 0.647 -1.31, annual savings of "conditional" fuel 91.73 t/year.

The technology might be suitable for some Russian regions, but the given conditions do not yet favour its application. Systematic MSW collection and sorting development is required for the successful and environmentally safe implementation of the considered technology. Further research should focus on studying the real possibility of using gas derived from MSW in internal combustion engines of power plants in Russian regions.

Acknowledgment: The work was carried out within the framework of the course "New Energy and Resource-saving Processes in a Circular Economy" with the support of the Vladimir Potanin Charitable Foundation.

## References

1. Dong J., Tang Y., Nzihou A., Chi Y., Weiss-Hortala E., Ni M. Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: Theoretical analysis and case study of commercial plants. *Science of The Total Environment*. 2018. Pp. 744–753.
2. Seo Y.-C., Alam M.T., Yang W.-S. Gasification of Municipal Solid Waste. *Gasification for Low-Grade Feedstock*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/chapters/59269> (дата обращения: 20.12.2022).
3. Малюхин Д.М. Экологические аспекты использования органометаллических субстратов при рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов: Диссертация на соискание ученой степени канд. географических наук (специальность 25.00.36 – Геоэкология). – Санкт-Петербург, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rshu.ru/university/dissertations/files> (дата обращения: 24.12.2022).
4. Ломтев А.Ю. Единая концепция обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (с возможностью разделения потоков ТКО). ИПЭиГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://spb-neo.ru/upload/docs/Единая%20концепция%20текст\\_приложения\\_20.02.2022.pdf](https://spb-neo.ru/upload/docs/Единая%20концепция%20текст_приложения_20.02.2022.pdf) (дата обращения: 24.12.2022).
5. Dieter M., Dirk H., Christoph H., Thomas G. *Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management. A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries*. (GIZ) GmbH.Eschborn. 2017. 58 p.

УДК 664.8.037.1

## ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЛИСИЧКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*CANTHARELLUS CIBARIUS*)

*Моисеенко Е.Н. (аспирант), Румянцева О.Н.*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Румянцева О.Н.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: DrMalicious@mail.ru*

---

Управление процессом образования плодовых тел у лисички обыкновенной исследовано мало, и это тормозит развитие технологий создания искусственных биотопов и промышленного выращивания вида, имеющего высокую пищевую и фармакологическую ценность. В настоящем исследовании изучены важнейшие физико-химические параметры природных биотопов лисички - элементный состав почвы (методом атомно-эмиссионной спектрометрии), рН, гранулометрический состав, освещенность, и содержание подвижных и растворимых углеводов, а также гемицеллюлозы в корнях деревьев, взаимодействующих с микоризой (фотометрические методы). Также в работе определены особенности сезонно-динамических колебаний содержания углеводов и гемицеллюлозы в корнях деревьев, взаимодействующих с микоризой лисички обыкновенной в биотопах Северо-запада России. Полученные результаты могут быть использованы при создании искусственных биотопов вида.

### **Ключевые слова**

Лисичка обыкновенная, плодовые тела, искусственное выращивание, физико-химические характеристики, биотоп.

---

Лесные грибы – эктомикоризные базидиомицеты, и лисичка обыкновенная (*Cantharellus cibarius*), в частности, благодаря своеобразному химическому составу, являются популярным и оригинальным продуктом питания.

Основной способ получения урожая на сегодняшний день – сбор дикорастущих грибов, однако он не обеспечивает круглогодичного поступления на рынок свежих грибов. При этом методы заготовки не позволяют избежать потери качества и изменения свойств продукции, а также имеют риски развития токсичности (в первую очередь, ботулизма и содержания радионуклидов). Использование дикорастущей продукции истощает её запасы, сниженные в результате интенсивной лесозаготовительной деятельности, а также создает риски использования токсичных грибов и продукции, не отвечающей требованиям пищевой и экологической безопасности [1].

Высокое содержание витаминов, жиров, углеводов, белков, макро- и микроэлементов, свободных аминокислот способствует тому, что использование лесных грибов для приготовления обеденных блюд, а также различных соусов и гарниров, способно скомпенсировать дефицит продуктов животного происхождения в пищевом рационе, что особенно актуально при соблюдении растительных диет. Такие свойства могут сделать лисичку обыкновенную сырьём для создания функциональных продуктов питания [2].

Альтернативное получение продукции - искусственное выращивание в лесных плантациях – низко эффективно. Методы промышленного грибоводства, успешно применяемые для других видов грибов, для данных видов микоризообразующих базидиомицетов в мире не разработаны в связи с недостаточной изученностью механизмов управления культивированием, а именно: процесса инициирования и интенсивности образования плодовых тел [3].

Управление процессом плодообразования требует сведений о влиянии на этот процесс как отдельных биотических и абиотических факторов, так и их кумулятивных и синергетических действий, и сигнальных факторов. В связи с недостаточностью и фрагментарностью таких данных, несмотря на хорошо разработанные методы культивирования мицелия *in vitro*, промышленное получение плодовых тел пока невозможно. Кроме того, культура лисички

---

обыкновенной в настоящее время рассматривается сама как ценный источник фармакологического сырья, и недостаточная изученность регулирования ее продуктивности *in vitro* сдерживает применение этой культуры в фармакологических и пищевых целях [4].

Анализ литературных источников по состоянию дел с искусственным культивированием позволяет выделить три основных научных подхода:

- изучение влияния изменения количественного и качественного состава искусственной микоризы с саженцами микоризных деревьев;
- изучение биотических и абиотических условий роста мицелия и плодообразования у исследуемых видов грибов-микоризообразователей в природных биотопах и их динамики в сезон массового плодоношения.

Вариант создания искусственной микоризы представляет научный и практический интерес, поскольку может решить задачу экстенсивного культивирования грибов. Однако это потребует создание искусственных биотопов или организацию интенсификации плодоношения на уже имеющихся биотопах или расширение ареала обитания грибов путём искусственного микоризообразования.

Так, в 1997 г. в Шведском университете сельскохозяйственных наук было получено плодовое тело, культивированное в искусственных условиях методом синтеза микоризы *S. cibarius* с саженцами сосны обыкновенной *in vitro* [5].

Однако, при организации промышленного культивирования этот метод имеет ряд технических ограничений.

Таким образом, в работе был выбран научный поиск, направленный на изучение биотических и абиотических условий роста мицелия и плодообразования у Лисички обыкновенной в природных биотопах, для организации культивирования.

Изучение физических факторов представляет значимость для определения и создания оптимальных условий плодообразования. Объектом исследования являлись почвы под плодовыми телами гриба лисичка обыкновенная (*Cantharellus cibarius*), собранные в Ленинградской и Псковской области. В почвах были изучены физико-химические свойства, pH, влажность, гранулометрический состав, освещённость в местах произрастания. Так, почва под плодовыми телами в Гдовском районе Псковской области имела следующие показатели: влажность – 22,82 %, органическое вещество – 3,21 %, общие углеводы – 0,43 г/кг, pH – 6,4.

Кроме того, проводился количественный и качественный анализ веществ, входящих в состав почв и микоризных корней для создания питательной среды для выращивания эктомикоризных базидиомицетов в искусственных условиях.

Поскольку факторами инициации плодообразования могут служить не только определённые вещества, но и их сезонное изменение в субстрате, то для динамических наблюдений также отбирались биоматериалы в Ленинградской области в течение года в одной и той же местности и проводился анализ веществ. На рисунке показано изучение динамики углеводов (подвижных, водорастворимых, структурных) в корнях ели в биотопах лисички обыкновенной.

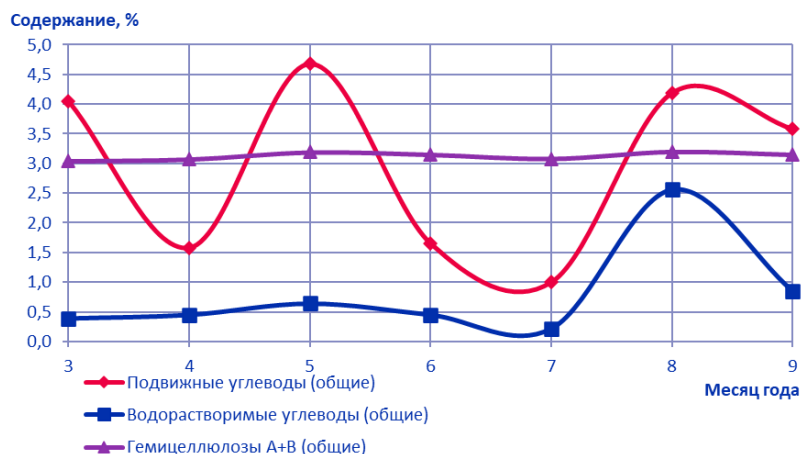


Рисунок. Динамика содержания углеводов в корнях ели обыкновенной период март-сентябрь

Как видно из графиков, подвижные углеводы значительно меняют свое содержание в почвах от 1 до 5%, в зависимости от месяца года, водорастворимые углеводы в максимальном значении 2,5% наблюдаются в августе, а содержание гемицеллюлоз не изменяется в течение года.

Для разработки искусственной среды был изучен элементный состав микоризных корней, на которых были собраны плодовые тела, и почв под этими плодовыми телами (таблица).

Таблица

Элементный состав почвы под плодовым телом, мг на 1кг почвы

Al	Ba	Fe	Cd	Ca	K	Co	Li	Mg	Mn		
6,94	0,135	5,43	0,0024	16,09	15,75	0,0	0,0	4,9	0,39		
Cu	Na	Ni	Pb	S	Ag	Sr	Ti	Cr	Ga	In	Zn
0,0	7,49	0,0	0,02	0,0481	0,0	0,96	16,1	0,59	0,637	5,6	0,1

Задачей дальнейшего исследования является создание искусственных питательных сред для культивирования лисички обыкновенной (*Cantharellus cibarius*) на основании анализа полученных данных почвенного состава и динамики углеводов.

Таким образом, для успешного культивирования лесных грибов в искусственных условиях необходимо установить, какие группы веществ гриб получает из почвы, а какие из микоризных корней, проанализировать взаимодействие в системе «гриб-дерево» и «гриб-ризосферная микрофлора» и их влияние друг на друга, изучить динамику физических факторов *in vivo* и их влияние на рост и развитие эктомикоризных грибов.

#### Список использованных источников

1. Kumar K. Role of edible mushroom as functional foods - A review // *South Asian Journal of Food Technology and Environment*. 2015. №. 1(3&4). Pp. 211–218.
2. Экспертиза грибов. Качество и безопасность: учеб. -справ. пособие / И.Э. Цапалова, В.И. Бакайтис, Н.П. Кутафьева, В.М. Позняковский; под общ. ред. В.М. Позняковского. - 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск: Сибирское университетское издательство. 2007. 256 с.
3. Pavel Kalač. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms // *J Sci Food Agric*. 2012. V. 93. Is. 2. Pp. 209–218.
4. Jacqueline Keyhani and Ezzatollah Keyhani. Anti-oxidative stress enzymes in golden chanterelle (*Cantharellus cibarius*). *Microbes in Applied Research*. 2012. V. 1. Pp. 23–27.
5. Ian R. Hall A Zambonelli, Y Wang The cultivation of mycorrhizal mushrooms—success and failure. 2005. DOI: 10.13140/2.1.1751.6160.
6. Bulam S., Üstün N., Pekşen A. Effects of different processing methods on nutrients, bioactive compounds, and biological activities of Chanterelle mushroom (*Cantharellus cibarius*): A review // *European Food Science and Engineering*. 2021. №. 2(2). Pp. 52–58.

UDK 504.062, 678, 67.08

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIODEGRADABLE PLASTIC PRODUCTION TECHNOLOGIES

Molodyh A.P.<sup>1</sup>, Nikolaev E.N.<sup>1</sup> (PhD student)

Scientific supervisor – PhD, Associate Professor Molodkina N.R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ITMO University

e-mail: apmol@niuitmo.ru

In the last century, around 6 billion tonnes of plastic waste were generated, where only 9% has been recycled, 12% incinerated, and the remaining is still laying free in the environment. The latter situation, in the form of plastic debris, poses a major threat to marine life, since 27% of plastic waste is disposed of in Europe, and 75-80% in Russia. For these reasons, the rise of biodegradable plastics is an essential input for responsible production and consequent consumption, highlighting the overall aim of this work.

**Keywords**

Compostable materials, biodegradable plastics, algae-based biodegradable plastics, organic filler compostable composite, oxo-biodegradable plastics.

Today, due to many environmental problems, including overpopulation of the planet, which causes problems of reduction of arable land, hunger, and soil erosion, and as a consequence of global climate change, it is important to switch to biodegradable plastics and dishes made from them.

The rapid rise in energy and fuel prices caused by the global crisis makes transportation difficult. Limited suitable climatic conditions and territories suitable for agriculture, the complexity of cultivation affect the availability of raw materials, its cost and quality.

Since the problems associated with waste recycling lie in the political plane, we decided to focus on the problems of materials and technology to produce biodegradable tableware.

Scope of the addressed problems is represented in a form of a problem tree (Fig. 1) [1].

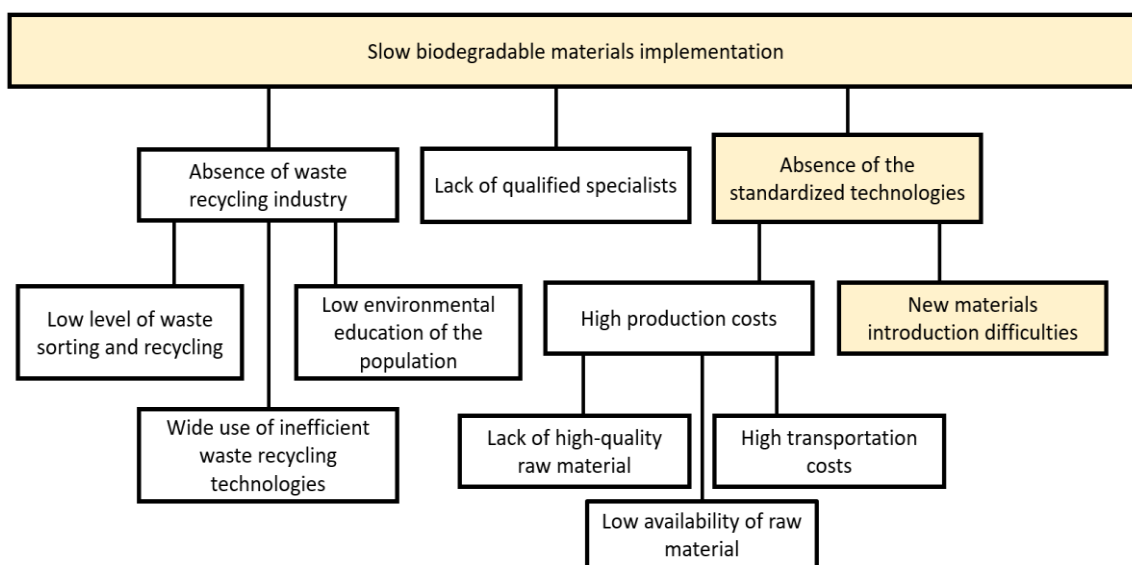


Fig. 1. The problem tree of marine plastic pollution

Our objective was to describe the most relevant biodegradable plastic production technologies and methods and, if applicable, identify the best current technologies in terms of responsible production that may be practiced.

We made a pool of environmental problems that lead to slow biodegradable materials implementation and chose one problem to research.

Further, we conducted a systematic review of literature for the most widely reported biodegradable plastics, focusing on the existing industrial applications in Russia and Europe. Searches included both peer-reviewed journals in English and Russian, and company-based websites proposing relevant plastic products. A forward search strategy was applied across various databases (Google Scholar, PubMed, Research Gate) from November 2021 to March 2022.

The result of the review was the information about three prospective technologies: a technology comparison matrix was formed, which, according to various criteria, determines the suitability of potential technologies to produce biodegradable materials.

### **An overview on biodegradable plastics**

Biodegradable plastics or polymers are high-molecular compounds containing products of biological substances and organisms (cellulose, protein, starch, nucleic acids, resins, etc.) capable of being destroyed in the environment under appropriate conditions. In a biologically active environment, BP undergoes changes in molecular weight, mechanical characteristics, supplying nutrients for the growth of microorganisms [2].

Biodegradable polymers represent a growing field. A vast number of biodegradable polymers (eg, cellulose, chitin, starch, polyhydroxyalkanoates, polylactide, Poly( $\epsilon$ -caprolactone), collagen, and other polypeptides) have been synthesized or are formed in natural environment during the growth cycles of organisms. Biodegradable polymers are classified according to their origin into three classes: naturally produced renewable polymers or polymers from biomass, synthetic polymers derived from renewable resources, and synthetic polymers derived from petroleum-based resources [3]. And the last group is traditional synthetic plastics with biodegradable additives introduced into them. These technologies are actively developing in post-industrial economies

The most widespread manufacturing method in Russia is based on the introduction of plant-derived substances into a synthetic polymer that serve as a nutrient medium for microorganisms that destroy the polymer under certain environmental conditions.

Two types of materials are used, there are hydrobioregradable and oxobioregradable.

Oxobioregradable material is special modified additives (d2w) in the form of granules. They decompose into water, carbon dioxide and a small part of the biomass under the influence of the environment (ultraviolet light, oxygen, humidity and microorganisms).

There are a lot of advantages of a biodegradable additive over a hydrobioregradable material such as the biodegradable additive emits carbon dioxide instead of methane, the production technology is easier, since oxobioregradable granules are added directly to the raw materials, the additive does not affect the appearance and mechanical characteristics, easy to use (do not require changing equipment and technological process), it does not require special vegetable raw materials, cheaper than hydrobioregradable plastic, adjustable decomposition rate and operating period, there is a possibility of recycling.

The hydrobioregradable material is based on a material of plant elements: corn and starch. This package is decomposed by a chemical hydrolysis reaction [4].

The full cycle of biodegradable tableware production includes the following stages (Fig. 2).

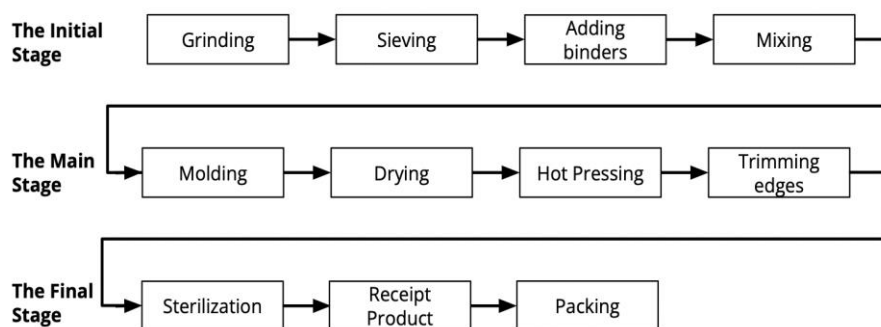


Fig. 2. The full cycle of Oxo-biodegradable tableware production in Russia

The initial stage is grinding, sieving, grinding of raw materials, and adding chemical additives to obtain the desired density. The components are mixed on special equipment. Special substances are gradually added to the plant base and mixed at different speeds for a long time. The mass obtained during mixing is fed into an extruder (a machine for plasticizing materials and shaping them by pressing) for further formation of sheets of the required thickness. Next comes the main stage, there are vacuum molding, drying, hot pressing. Sheets of plant material are formed either by vacuum molding (used for the manufacture of lunch boxes, containers, trays, etc.), or by thermoforming (for the manufacture of cups, bowls, plates, etc.) After molding and stamping products by vacuum molding, uneven edges are trimmed. The final stage is sterilization and receipt of finished products. Dishes are disinfected with the help of ultraviolet rays and products are packaged and shipped [5].

Other technologies have also been patented and are being considered for production in Russia. One of these technologies is shown in Figure 3.

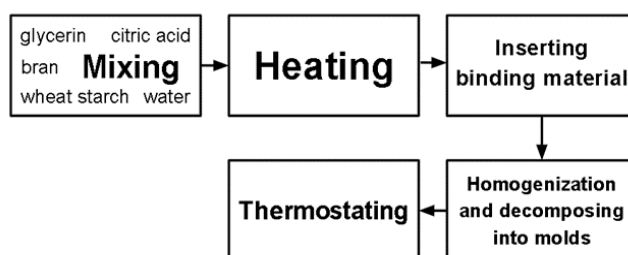


Fig. 3. The full cycle of the technology patented in Russia for the production of biodegradable tableware from wheat starch and bran

The composition for obtaining glycerin-based dishes is prepared as follows.

Wheat starch (17.1%) and citric acid (0.3%) are added to glycerin taken in an amount of 8.4% of the total mass of the composition, poured with water (57.1%), mixed and kept stirring constantly in a water bath at a temperature of 105°C for 15 minutes until the mixture acquires viscosity and transparency. Immediately after removing the starch hydromodule from the water bath, wheat bran (17.1%) is introduced, homogenized and laid out in molds. Then they are sent to the thermostat at a temperature of 65°C for 3 hours. The dishes keep their shape and are suitable for dry and wet products. Edible tableware fully complies with the requirements of TR CU 021/2011 "On food safety" and basic standards.

Thus, the proposed composition contains food components, is environmentally and economically justified, has viscoplastic properties suitable for the manufacture of edible tableware.

Europe produces biodegradable materials from brown algae, where Algopack is the first company to use it to develop a new generation of bioplastics.

Through a complex process, Algopack has developed 2 technologies that use specific natural polymers in seaweed to produce biodegradable particles:

- ALGOPACK, which is made 100% of seaweed. This type is fully bio compostable and can biodegrade within 12 weeks in the soil and within 5 hours in the water; their permeability can be adjusted according to the product life cycle. Algopack also acts as a soil fertilizer;
- ALGOBLEND is called the next generation of bioplastics and is a mixture of 50% plastic and 50% algae plastic. Algoblend's process is suitable for standard industrial processes and can save 25% of energy due to lower manufacturing temperatures.

Algae are autotrophic organisms that can be unicellular or multicellular in nature (Zabochnicka-Świątek, 2010). Spirulina dregs (microalgae), for example, are required in the manufacturing of bioplastics but are difficult to extract (Thurmund, 2010). Macroalgae, such as seaweeds, offer more promise than the previously listed sources due to their high biomass, capacity to grow in a wide variety of conditions, cost-effectiveness, ease of cultivation in natural situations, and ability to be harvested throughout the year.



Seaweeds are known for the natural polysaccharides that can be extracted from them. These polysaccharides are widely employed in food technology, biotechnology, microbiology, and even medicine, but still not in the plastics sector. They might be utilized for making biodegradable and high-quality bioplastics since they are renewable biomass resources and polymers derived from sugars that include carbon. Its goal is to develop a good, environmentally friendly, low-cost, and toxic-free bioplastic that will match the quality of many current conventional plastics in terms of tensile strength and chemical resistance. Seaweeds can be used as a new and alternative source for bioplastics due to their unique characteristics.

Seaweeds are photosynthetic algae that reside at the bottom and are divided into three primary types depending on their pigments and coloration:

- brown seaweeds (Pheophyta) – *Macrocystis integrifolia*;
- green seaweeds (Chlorophyta) – *Codium delicata*;
- red seaweeds (Rhodophyta) – *Porphyra*;
- algopack uses brown algae for making biodegradable and high-quality bioplastics.

The full cycle of the technology of algae-based composite for the production of biodegradable materials includes the following stages (Fig. 4).

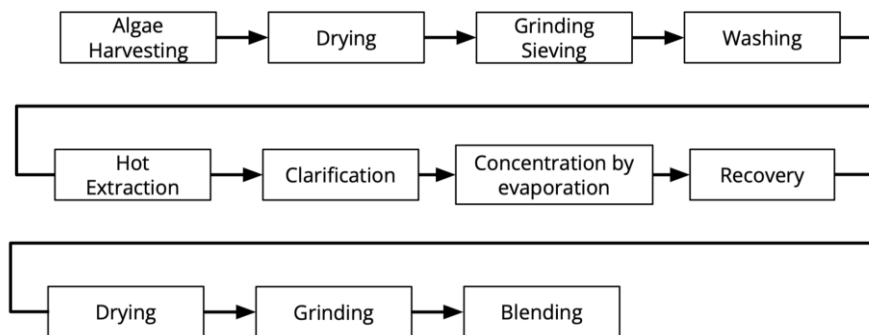


Fig. 4. The full cycle of the technology of algae-based composite for the production of biodegradable materials [6]

Polysaccharides are a component of seaweeds that are used to make bioplastics. Carrageenan, agar, floridean starch, and alginate are some of the polysaccharides found in seaweeds. At the time of harvest, quality control of polysaccharides extracts commences. To maintain its quality and freshness, the seaweed is gathered in a systematic manner, quickly dried, and then baled. The dried seaweed is mechanically pulverized and sieved at the manufacturing facility to remove impurities like sand and salt, then washed extensively to assure further quality. Seaweeds go through a two-step clarifying procedure that involves a heat extraction process to separate the polysaccharides.

The dissolved polysaccharide mixture is first centrifuged to remove dense cellulose particles, then filtered to remove fine particles, and then concentrated by evaporation to remove water. One of two processing procedures is then used to recover the polysaccharides. To enhance the gelling temperature so that the filtrate gels quickly, potassium chloride solution is added to the concentrated polysaccharide solution in one technique. After that, the gel is frozen and compacted to eliminate any remaining water. In another procedure, the concentrated solution is deposited in isopropyl alcohol, and the filtrate becomes a coagulum of polysaccharides, alcohol, and water since the polysaccharides are insoluble in alcohol. The extra liquids are compressed out of the coagulum, and the alcohol is vacuum dried off entirely. A belt drier is used to finish the drying process, and the finished product is mixed to fit exact specifications.

For the purpose of the given research, we select the ALGOPACK technology.

#### **Comparative analysis of biodegradable plastic production technologies**

The decision matrix presented seeks to assist in getting a first idea of the suitability of potential technologies for specific contexts and the various aspects decision makers should look out for in discussions with technology providers [7]. To compare the selected technologies, a general list of six

criteria was compiled. The potential suitability of the technologies is shown by a different color for each of the given local conditions: Product safety, GOST/ISO compliance, Availability of raw materials, Production complexity, Environmental safety, Biodegradability.

Product safety is the ability of a product to be safe for intended use, as determined when evaluated against a set of established rules.

GOST/ISO compliance means compliance of the product with standardized both national and international standards.

Availability of raw materials defines whether the material is hard to obtain in mass industrial production quantities.

Production complexity is determined by the total complexity of the technological processes of manufacturing products, which can be expressed in standard hours, e.g., several hours, during the work shift, or longer.

Environmental safety of the technology is determined by the impact of the degradation product on the environment and human health.

Biodegradability is the potential property of a material to be biodegradable under certain conditions and is characterized by a set of parameters that allow a material to biodegrade to a certain extent, at a given point in time, using standard test and measurement methods [8].

Each criterion was evaluated and transferred into green-yellow-red scale (Table) based on the following assumption.

Table

**Technology Comparison Matrix [7]**

Organic filler compostable composite	Algae-based compostable composite	Oxo-biodegradable material
Product safety	Product safety	Product safety
GOST/ISO compliance	GOST/ISO compliance	GOST/ISO compliance
Availability of raw materials	Availability of raw materials	Availability of raw materials
Environmental safety	Environmental safety	Environmental safety
Production complexity	Production complexity	Production complexity
Biodegradability	Biodegradability	Biodegradability

Green color – a certain technology of biodegradable materials is most probably suitable; yellow color means that some improvements to local conditions may be required for successful planning and implementation of a technology of biodegradable materials, and red color - that the criteria does not meet the desirable content at all, it is strongly recommended to improve or change the specific local conditions [7].

Based on the literature review an overview of pre-conditions for building and operating the technologies of biodegradable materials have been provided. Using the Technology Comparison Matrix, the suitability of the three presented technologies of biodegradable materials for different framework criteria have been compared.

The necessity of biodegradable plastics production is growing annually due to the huge number of plastics already accumulated in the global ocean and plastics that are still in use right now. There are plenty of different technologies available for people to produce biodegradable plastics. Some of them were highlighted in this paper. The Russian market mostly relies on oxobiodegradable plastics. Although their advantages such as easier production and less harmful degradation emission partly justify their widespread use, the disadvantages still require alternatives to be found. At the same time the European market intends to replace petroleum-based plastic with compostable plastic derived from

algae because petroleum is a finite resource on a global scale. Although bioplastics made from seaweed are costly, they have become increasingly important in recent years due to their benefits over other biological sources. In comparison to traditional plastics, seaweed-based bioplastics serve a critical role as an environmentally beneficial and biodegradable alternative. The technical paths for producing seaweed-based bioplastics are currently being investigated, and biotechnological and genetic engineering techniques are being used to undertake sustainability studies in seaweed-based bioplastics.

Thus, we have two different approaches to a global problem that requires the joint work of researchers, manufacturers, and politicians, as well as consumers to solve it.

In Russian reality we found the technology based on organic filler usage more significant. This conclusion is based on the availability of raw materials. Agricultural sector and the plant production grows so does its waste amount. However, the final decision requires taking the local conditions into account to effectively implement the technology with the consideration of environmental impact, life cycle evaluations and production costs.

## References

1. Handbook For Logical Framework Analysis. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epu.gov.my/sites/default/files/2020-02/Handbook%20For%20Logical%20Framework%20Analysis.pdf> (дата обращения: 22.01.2023).
2. Колпакова В.В., Усачев И.С., Соломин Д.А. Биоразлагаемые полимеры: составные биоконпоненты и технологические решения производства // Пищевая промышленность. 2019. №. 12. С. 51–57.
3. Ashter S.A. Introduction to bioplastics engineering. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/book/9780323393966/introduction-to-bioplastics-engineering> (дата обращения: 22.01.2023).
4. Хайруллова Р.М., Чиркина А.С., Ваганова Е.С Биоразлагаемые полимеры // Актуальные проблемы техносферной безопасности. II Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей: Сборник научных трудов. Под редакцией Е.Н. Ерофеевой. 2020. С. 86–90.
5. Подденежный Е.Н. и др. Прогресс в получении биоразлагаемых композиционных материалов на основе крахмала (обзор) // Вестник ГГТУ имени П.О. Сухого: научно - практический журнал. 2015. №. 2. С. 31–41.
6. Rajendran N., Sharanya Puppala, Sneha Raj M., Ruth Angeeleena B., Rajam C. Seaweeds can be a new source for bioplastics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/258495452\\_Seaweeds\\_can\\_be\\_a\\_new\\_source\\_for\\_bioplastics](https://www.researchgate.net/publication/258495452_Seaweeds_can_be_a_new_source_for_bioplastics) (дата обращения: 22.01.2023).
7. Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management - A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.giz.de/en/downloads/GIZ\\_WasteToEnergy\\_Guidelines\\_2017.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf) (дата обращения: 22.01.2023).
8. ГОСТ Р 54530–2011 – Ресурсосбережение - УПАКОВКА - Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения.

**UDK 504.06**

**ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF TECHNICAL EQUIPMENT  
IN THE RESTAURANT BUSINESS**

*Monzul N.A.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – lecturer Daniliuk M.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: nataly14monz@gmail.com*

---

The article demonstrates the possibilities of technical equipment analysis in the restaurant business based on life cycle assessment methodology. The process of assessment was based on the usage stage which has the biggest share in the whole life cycle of technical equipment. For example, dishwashing equipment was analyzed in the special program SimaPro where water consumption and energy consumption per cycle were explored. The calculation results show the gradation of dishwashing equipment by CO<sub>2</sub> emissions per 100 washed plates.

**Keywords**

The restaurant business, technical equipment, dishwashing equipment, life cycle assessment, SimaPro.

---

Nowadays, one of the goals for society is to reach somehow postindustrial stage of development. Such moments as people's health and a good environment are crucial for the prosperity of humanity. That is why sustainability is important in every sphere of life. Unfortunately, the food sector is a grey area to control compared to spheres of production or municipal solid waste, because of combinations of food, technical equipment, and human factors [1, 2].

The goal of the research is to investigate possible technical equipment and its assessment in a gastronomic establishment. Firstly, a review of the technical equipment in a gastronomic establishment was organized. Then dishwashing equipment was chosen as an example to consider in detail the features. In the end, there was studying the options for the selected dishwashing equipment through market analysis.

In general, the equipment can be divided into three groups: neutral and mechanical, refrigeration, and heating equipment. Neutral and mechanical equipment includes appliances that change certain parameters (shape, dimensions, etc.) that can be altered by mechanical action on the product. Refrigerators and refrigerated display cases belong to the refrigeration type. The most demanded group is heating equipment which consists of cookers, ovens, gourmet ovens, grills, microwave ovens, fryers, and steamers.

Concerning dishwashing equipment, there are three general types: frontal dishwashers, hood-type dishwashers, and conveyor (tunnel) dishwashers. The popularity and prevalence of the first type are developed due to easy usage and compact size. The dishwashing process using hood type usually helps to save water and reduce detergent consumption. Tunnel dishwashers, unlike the first two types, operate continuously and have the highest capacity. Dirty dishes are fed into the machine on a conveyor belt and removed from the opposite side [3].

After an overview of the dishwashing market, it was found that in our country the general situation includes three segments of companies by price. In the upper price segment are companies such as Winterhalter, Hobart (Germany), and Electrolux (Sweden) The middle-price segment is represented by Vortmax, Eksi, Kromo (Italian), and Fagor (Spanish) dishwashers. In the lower price segment - Abat (Russia) and Grodtorgmash (Belarus).

The histogram illustrated in figure 1 was gotten from calculations. The dataset for calculations was found in technical descriptions of each model of dishwashing equipment. The number of cycles, usage of water per cycle, and the number of plates per cycle or another period were used to get this information. As can be seen from the slide, the usual maximum number of plates per hour belongs to the tunnel type of dishwasher.

---

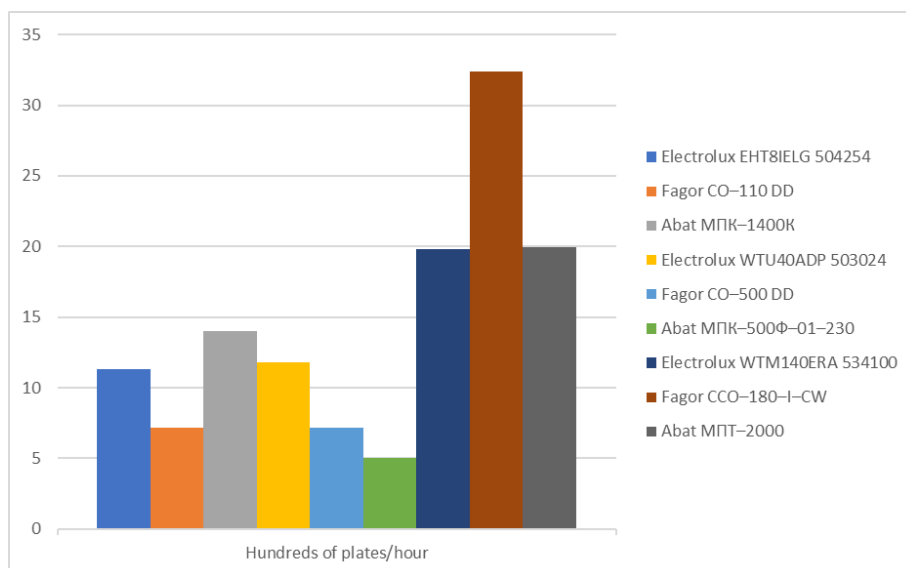


Fig. 1. Productivity of dishwashing equipment [1]

Then the consumption of energy was calculated using the same instructions and technical descriptions of chosen models of dishwashers. It was noticed that in the middle and the lowest price segment, dishwashers from the front type can be energy intensive. Moreover, at the end of the calculations, it was found that energy consumption is the most important environmental impact factor during the stage of equipment usage.

The final stage of assessment was calculated using a program for life cycle assessment which is called SimaPro [4]. This program was chosen for the research because it is used for many scientific and industrial purposes. Additionally, water consumption and energy consumption were chosen from calculated datasets, meanwhile, detergent consumption was from open resources with statistics [5]. As the result, CO<sup>2</sup> emissions per one hundred washed plates were calculated (fig. 2). In the diagram, it is demonstrated that not always the most powerful and productive dishwashers have a bigger influence on the environment.

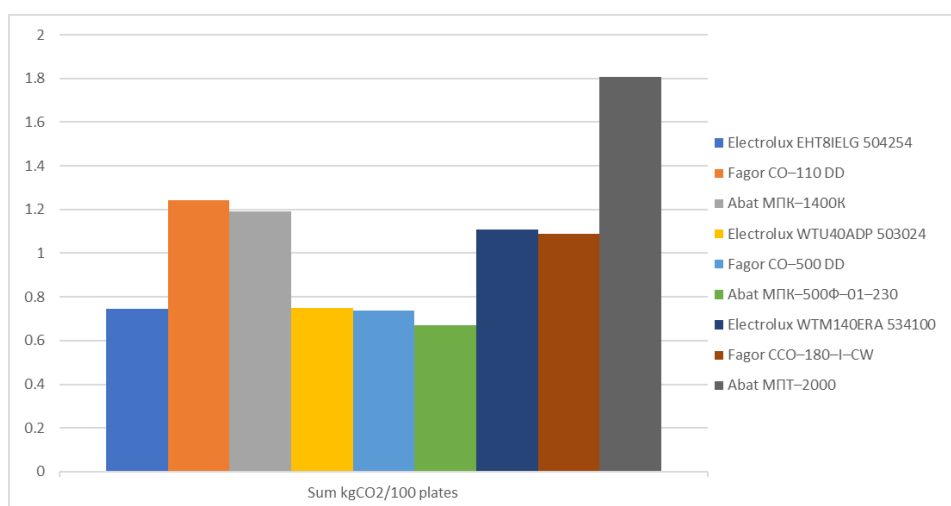


Fig. 2. Emissions of CO<sup>2</sup> per 100 plates [1]

To sum up, electricity use is the largest contributor to climate change. Abat MPT-2000 conveyor dishwasher makes the largest contribution to climate change relative to the other models, and Abat MPK-500F-01-230 has the lowest. Looking at equipment as stated by segment, within the top segment, the Electrolux conveyor model WTM140ERA 534100 has the highest climate impact. In the middle segment, the domed machine has the highest values, and the front-mounted machine has the lowest. The lower segment, represented by Abat, reflects the maximum and minimum values in the whole experiment.

## References

1. ISO 14040:2006/Amd 1:2020. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework – Amendment 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/76121.html> (дата обращения: 23.12.2022).
2. Methodology Report Product Social Impact Assessment. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.social-value-initiative.org/> (дата обращения: 13.12.2022).
3. Dishwashers. Energy labeling. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/dishwashers\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/dishwashers_en) (дата обращения: 06.12.2022).
4. SimaPro education. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://simapro.com/education/> (дата обращения: 09.01.2023).
5. EuP-Netzwerk. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eup-network.de/product-groups/preparatory-studies/completed/> (дата обращения: 16.01.2023).

УДК 502.131.1

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ МЕРОПРЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ РЖД В СООТВЕТСТВИИ С КОНЦЕПЦИЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Некрасова А.С.<sup>1</sup> (студент)Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: 338014@niuitmo.ru

В работе проводится исследование программы мероприятий по повышению квалификации сотрудников РЖД в соответствии с концепцией устойчивого развития на основе анализа годовых отчетов в Компании за 2020-2021 гг. Разработаны программы мероприятий на основании обнаруженных проблемных ситуаций внутри коллектива.

**Ключевые слова**

ОАО «РЖД», ЦУР, программы мероприятий, повышение квалификации, профессиональное обучение.

Российская железная дорога существует 186 лет. С 2003 года она зарегистрирована как открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). Компания предоставляет услуги железнодорожной инфраструктуры в 77 субъектах Российской Федерации и придерживается концепции цели устойчивого развития (ЦУР).

Разработка программы мероприятий по повышению квалификации сотрудников РЖД направлена на обеспечение устойчивого экономического роста, создание условий для того, чтобы у людей была достойная работа, этому соответствует восьмая ЦУР [1]. Такая программа повлечёт за собой снижение уровня безработицы, работодатели не делают акцент на опыт молодого специалиста при трудоустройстве, расширение доступа к финансовым услугам и льготам, увеличение доступа к повышению квалификации за счет курсов и семинаров.

При исследовании ОАО «РЖД» годовых отчетов за 2020–2021 гг., были выявлены программы мероприятий (таблица).

Таблица

Программы мероприятий

Год/N	2020	2021
1.	Обучено более 211 тыс. руководителей и специалистов [2]	Обучено более 228 тыс. руководителей и специалистов [3]
2.	Разработано 250 программ повышения квалификации и профессиональной переподготовки	Внедрен практико-ориентированный подход в организации подготовки и профессионального развития персонала [3]
3.	Функционирует система дистанционного обучения в связи с пандемии COVID-19	Запущено 390 дистанционных курсов [3]
4.	Запущен пробный проект «Час знаний», где создано 200 курсов	Запущен проект «Знания.Live»
5.	Разработано 8 профессиональных стандартов в области железнодорожного транспорта. Всего действует 92 профессиональных стандарта [2]	Разработаны и утверждены 58 единых образовательных программ [3]
6.	Подготовлено 46,6 тыс. рабочих ведущих профессий, в том числе 30 тыс. обучено профессии впервые, 16,4 тыс. человек - по программам переподготовки [2]	Обеспечена подготовка 43 тыс. рабочих ведущих профессий, в том числе 34,5 тыс. человек в учебных центрах профессиональных квалификаций. По программам профессионального развития обучено более 185,7 тыс. рабочих и служащих [3]

Продолжение таблицы

Год/№	2020	2021
7.	Прием женщин на обучение по профессии «помощник машиниста»	
8.	207,3 тыс. человек повысили квалификацию в учебных центрах, техникумах и колледжах	

В результате за период 2020–2021 гг.:

- на 7 % возросло количество обученных руководителей и специалистов;
- увеличивается в два раза количество дистанционных курсы на портале;
- увеличено число участников проекта «Час знаний».;
- увеличилась заработная плата сотрудников;
- проводится мониторинг укомплектованности и текучести кадров каждый месяц;
- за 2020–2021 гг. спикеры провели 73 мастер-класса, которые просмотрели более 85 тыс. сотрудников.

В ходе прохождения практики были выявлены проблемы в Октябрьской железной дороге.

1. Финансовая неграмотность сотрудников:
  - отсутствие на руках при трудоустройстве реквизитов с государственного банка для перечисления заработной платы в связи с неудовлетворительной кредитной историей;
  - задолженность по микрозайму.
2. Нарушение принципов делегирования полномочий:
  - недоработка должностной инструкции;
  - интенсивность и экстенсивность труда.
3. Конфликтные ситуации в коллективе:
  - неточность в распределение задач от руководителя;
  - недостатки в развитие корпоративной культуры и создание комфортной рабочей среды.
4. Текучесть кадров:
  - отсутствие обратной связи от руководителя;
  - недостаточность вовлеченности в помощи нового сотрудника;
  - формальное наставничество во время стажировочных дней.

Таким образом, в ОАО «РЖД» существует ежегодный прогресс в развитии сферы повышения квалификации с небольшими проблемами, которые были найдены вследствие проделанной работы. На основе полученной информации составлена программа мероприятий по повышению квалификации сотрудников ОАО «РЖД», представленная на рисунке.

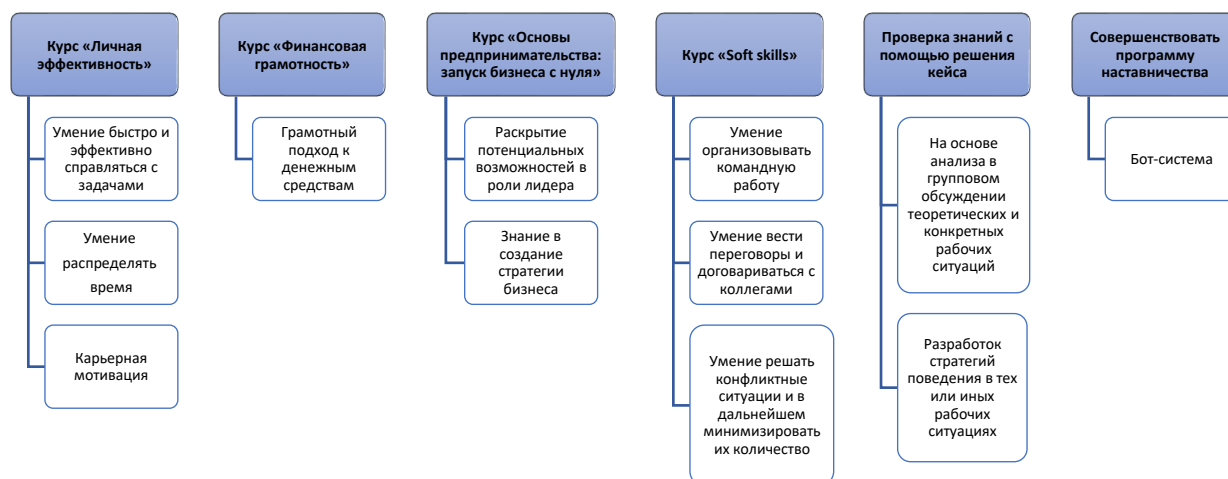


Рисунок. Программа мероприятий



Так, например, бот-система включает в себя ответы на часто задаваемые вопросы и раздел шаблоны (приказы/инструкции/отчеты), что в свою очередь поможет новым сотрудникам в отделе кадров быстрее влиться в рабочую деятельность.

Шесть предложенных программ помогут в совокупности минимизировать выявленные ранее проблемы, эффективно развивать профессиональное мастерство, а также совершенствование у сотрудника теоретические и практические знания.

#### **Список использованных источников**

1. Цели устойчивого развития в Российской Федерации. 2020: Крат. стат. сб./ Росстат – М. 2020. 79 с.
2. Редакция годового отчета ОАО «РЖД» за 2020 год по итогам утверждения Правительством Российской Федерации (распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 июня 2021 г. №1786-р). 2020. 328 с.
3. Редакция годового отчета за 2021 год до утверждения годовым общим собранием акционеров ОАО «РЖД». 2021. 143 с.

УДК 504.062; 678; 67.08; 67.017

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Николаев Е.М.<sup>1</sup> (аспирант), Шанин В.А.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: emnikolaev@itmo.ru*

*Работа выполнена в рамках темы ПО НИОКТР №422062 «Разработка технологии получения биоразлагаемых материалов и изучение свойств биодеградациии»*

---

Статья посвящена изучению и анализу технологических решений для получения биоразлагаемых материалов. В работе рассматриваются различные составы рецептурных смесей, выбор оптимального наполнителя, а также исследуются методологические способы получения и сравнительный анализ прочностных характеристик биоразлагаемых материалов.

### **Ключевые слова**

Биоразлагаемые материалы, биоразлагаемые пластмассы, снижение загрязнения пластиком, биокомпозиты, растениеводческие вторичные материальные ресурсы.

---

Большинство пластмасс на основе нефти обладают высокой устойчивостью к разложению в природе, будучи способными сохраняться в течение сотен лет в окружающей среде и оказывая негативное влияние на нее [1]. 2 марта 2022 года United Nations Environment Assembly adopted Resolution 5/14 entitled “End plastic pollution: Towards an international legally binding instrument”. Главными проблемами, выделенными в резолюции, являются высокий и быстрорастущий уровень пластикового загрязнения в окружающей среде, в водах Мирового океана, а также распространение микропластика. Эти проблемы имеют трансграничный характер и их необходимо решать вместе с их последствиями на основе подхода, учитывающего весь жизненный цикл пластика с учетом национальных условий и возможностей. В этом контексте требуется переход к устойчивому производству полимеров на биологической основе.

В настоящее время пластмассы на биологической основе и биоразлагаемые полимеры являются основными заменителями традиционных пластиков, что подтверждается ежегодно растущим рынком, составляющим сейчас более 1% от общего объема произведенных пластиков в количестве 368 млн тонн [2]. Биоразлагаемые полимеры могут быть переработаны с использованием различных технологий с использованием аэробного компостирования, анаэробного разложения, сельскохозяйственного мульчирования, солюбилизации, все это ведет к уменьшению образования отходов и загрязнению почвы [3].

Основной проблемой получения новых биоразлагаемых полимеров является поиск альтернативного сырья, отвечающего критериям экологической безопасности, возможности для переработки, а также экономической эффективности использования. Наиболее активно сейчас рассматриваются непродовольственные культуры, сельскохозяйственные отходы, лесные остатки, микробиологические полимеры, полимеризованные мономеры, а также агропродовольственные отходы, которые могут быть использованы в качестве источников потенциального сырья.

Одним из видов биопластиков являются биоразлагаемые композиты, представляющие собой полимеризованные полисахариды с возможностью включения в их состав армирующих материалов для улучшения прочностных характеристик. В связи с этим были проведены и проанализированы многочисленные исследования по поиску материалов и технологий их получения. В частности, рассматриваются способы переработки агропромышленных отходов и побочных продуктов для синтеза биопластиков, прямых биополимеров и экстракции активных

---

соединений из агропродовольственных остатков, в качестве армирующих добавок для биоразлагаемых материалов рассматривалась рисовая шелуха и ячменные отруби [4].

Настоящая статья посвящена поиску технологических решений для получения биоразлагаемых материалов. В ходе работы была разработана рецептура создаваемого материала, технология его получения, а также проведены испытания прочности на разрыв и относительного удлинения.

Для получения биоразлагаемых материалов в качестве вторичного сырья растениеводства были использованы рисовая шелуха и ячменные отруби, измельченные до размера частиц не более 0,20–0,25 мм. Для получения рецептурной смеси использовали картофельный крахмал по ГОСТ Р 53876–2010, который подвергали клейстеризации в воде в соотношении 26% и 37,14%, используя непосредственный нагрев на водяной бане, а также была изучена возможность применения СВЧ-печи. Полученной смеси придавали форму плоской пластины толщиной 1 мм методом ручной раскатки с использованием прижимного вала. Процесс высушивания полученной пластины осуществляли методом конвекционной сушки в термостате. Также было проведено исследование прочности получаемого материала на разрыв и величины относительного удлинения согласно ГОСТ 11262–2017 (ISO 527–2:2012). Для изготовления композитной биоразлагаемой смеси в качестве связующих компонентов использовали крахмал и глицерин, и рисовую шелуху в качестве наполнителя. Для улучшения клейстеризации крахмала использовалась лимонная кислота. Разработанная рецептура указана в таблице 1.

Таблица 1

#### Рецептура биоразлагаемого материала, получаемого с использованием водяной бани

Компонент	Количество	
	г	%
Наполнитель	25	25,91
Глицерин	8	8,29
Вода	50	51,81
Лимонная кислота	0,5	0,52
Крахмал	13	13,47
<b>Итого:</b>	<b>96,5</b>	<b>100</b>

Клейстеризацию на водяной бане проводили при постоянном перемешивании при температуре 90°C в течение 15 минут до момента пока смесь не приобретет вязкость. Для приготовления клейстеризуемой смеси к глицерину, взятому в количестве 8,29% от общей массы композиции, добавляли картофельный крахмал (13,47%) и лимонную кислоту (0,52%), заливали водой (51,81%) и смешивали. Сразу после снятия крахмального гидромодуля с водяной бани вносили наполнитель (25,91%), гомогенизировали и придавали форму. Затем полученные образцы помещали в термостат при температуре 65°C на 3 часа. Полученные образцы представлены на рисунке 1. Рецептура полученных материалов представлена в таблице 2.

Таблица 2

#### Рецептурные соотношения компонентов композита, получаемого с использованием водяной бани

№	Крахмал, %	Вода, %	Глицерин, %	Лимонная кислота, %	Наполнитель Р.Ш., %	Наполнитель Ячм., %
	13,47	51,81	8,29	0,52	25,91	
1	13,47	51,81	8,29	0,52	25,91	-
2	13,47	51,81	8,29	0,52	19,43	6,47
3	13,47	51,81	8,29	0,52	12,955	12,955
4	13,47	51,81	8,29	0,52	6,47	19,43
5	13,47	51,81	8,29	0,52	-	25,91
6	14,21	49,18	8,74	0,55	27,32	-
7	15,03	46,24	9,25	0,58	28,90	-
8	15,95	42,96	9,81	0,61	30,67	-

\* Р.Ш. – рисовая шелуха, Ячм. – ячменные отруби



Рис. 1. Компостируемый материал: а) образец рецептуры №8, б) образец рецептуры №5

При получении биоразлагаемого материала было выявлено, что образцы, в которых в качестве основного наполнителя использовались ячменные отруби, были более гигроскопичны, чем при использовании рисовой шелухи.

Материал с использованием ячменных отрубей не поддался вмешиванию, из-за чего его структура осталась неоднородная, а материал не подвергся гомогенизации с компонентами смеси и при отделении остался на подложке. Также было выявлено, что со временем материалы с использованием ячменных отрубей, поддались воздействию грибкового заражения и плесени из-за большого исходного содержания влаги, что отображено на рисунке 1,б. Таким образом, опытным путем было выявлено, что использование рисовой шелухи в качестве основного наполнителя при производстве биоразлагаемого материала наиболее рационально 1,а.

На основании полученных результатов методика получения биоразлагаемых материалов была оптимизирована, и опробован более быстрый и энергоэффективный метод клейстеризации рецептурной смеси с использованием СВЧ-печи. Содержание воды было снижено до оптимального для проведения клейстеризации по причине снижения влажности в процессе испарения в СВЧ-печи. В ходе лабораторных исследований было принято решение также отказаться от использования лимонной кислоты и глицерина в рецептуре для получения смеси в целях достижения ожидаемых физико-механических свойств конечного материала и снижения себестоимости.

Клейстеризация в СВЧ-печи проходила при мощности 800 Вт. В емкость вносили навеску рисовой шелухи 6,9%, добавляли навеску 17,8% крахмала. Затем добавляли воду  $95 \pm 5^\circ\text{C}$  и перемешивали содержимое до гомогенной смеси. Полученную смесь помещали в СВЧ-печь на 30 сек, осуществляя перемешивания каждые 10 сек. После клейстеризации смеси добавляли оставшиеся 27,4% рисовой шелухи и перемешивали до повторной гомогенизации смеси. Полученному материалу вручную придавали шаровидную форму и вручную раскатывали с использованием прижимного вала до образования плоской пластины толщиной 1 мм. В таблице 3 представлена оптимизированная рецептура биоразлагаемого материала, получаемого с использованием СВЧ-печи.

Таблица 3

**Рецептура биоразлагаемого материала, получаемого с использованием СВЧ-печи**

Компонент	Количество	
	г	%
Рисовая шелуха	25	34,25
Вода	35	47,95
Крахмал	13	17,8
<b>Итого:</b>	73	100

Для определения прочности на разрыв и относительного удлинения полученных образцов были проведены испытания в соответствии с методикой ГОСТ 11262–2017 (ISO 527–2:2012). Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 4. Результаты для материалов, образцы из которых не удалось подготовить в соответствии с методикой из-за их разрушения, не отображены.

Таблица 4

**Сравнительные характеристики и показатели прочности на разрыв и относительного удлинения материала**

№	Характеристики материала	Прочность, МПа	Отн. удлинение, %
1	Средняя влажность, хрупкость и эластичность, прилип к бумаге	–	–
2	Средняя влажность, хрупкость и эластичность	0,49	0,60
3		0,32	0,47
4		0,22	0,35
5	Высокая влажность и хрупкость, низкая эластичность	–	–
6	Низкая влажность и хрупкость, высокая эластичность	0,53	0,60
7		0,57	0,63
8		0,62	0,65

\*При значениях «–» не удалось подготовить образец для испытаний из-за его разрушения

\*\*Номера образцов соответствуют составам, представленным в таблице 2

В результате проведенной серии опытов была составлена оптимизированная рецептура смеси для получения биоразлагаемых материалов (табл. 3). После клейстеризации смеси, полученный материал был раскатан ручным методом с использованием прижимного вала до пластины толщиной 1 мм. Затем раскатанному пласти материалу была придана вручную форма конечных продуктов – тарелок с высокими стенками. После этого изделие поместили в сушильный шкаф с конвекцией при температуре 65°C до полного высыхания (рис. 2).



Рис. 2. Тарелка из образца рецептуры №8

В результате проведенных исследований представлен вариант решения проблемы загрязнения пластиком путем разработки рецептуры и подбора технологии получения биоразлагаемых композитных материалов. Рассматривалось использование картофельного крахмала в качестве основного компонента рецептурной смеси и различных наполнителей (рисовой шелухи, ячменных отрубей) в качестве армирующих добавок. Были рассмотрены и проанализированы два метода клейстеризации рецептурной смеси – на водяной бане и в СВЧ-печи, при этом метод получения биоразлагаемых материалов – ручная раскатка прижимным валом.

По результатам испытаний на растяжение и сравнительную оценку физико-механических свойств оптимальной была принята рецептура материала, полученного с использованием клейстеризованного в СВЧ-печи крахмала в качестве связующего компонента (17,8%), рисовой шелухи в качестве армирующего наполнителя (34,25%) и минимально необходимым содержанием воды (42,96 %). В дальнейшем планируются исследования полученного материала для производства биоразлагаемой посуды.

#### **Список использованных источников**

1. Abraham A., Park H., Choi O., Sang B. Anaerobic co-digestion of bioplastics as a sustainable mode of waste management with improved energy production—a review // *Bioresource Technology*. 2021. Т. 322. P. 124537.
2. Undas A., Groenen M., Peters R. & van Leeuwen S. Safety of recycled plastics and textiles: Review on the detection, identification and safety assessment of contaminants // *Chemosphere*. 2022. P. 137175.
3. Razza F., Briani C., Breton T. & Marazza D. Metrics for quantifying the circularity of bioplastics: The case of bio-based and biodegradable mulch films // *Resources, Conservation and Recycling*. 2020. Т. 159. P. 104753.
4. Kargarzadeh H., Johar N., Ahmad I. Starch biocomposite film reinforced by multiscale rice husk fiber // *Composites Science and Technology*. 2017. Т. 151. Pp. 147–155.

УДК 669.711

## АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЛЮМИНИЕВОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДОБЫЧИ И ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Нугуманова А.А.<sup>1</sup> (студент)

Научный руководитель – преподаватель Данилюк М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: anna.nugumanova.1999@mail.ru

---

В работе описывается инвентаризационный анализ данных - этап оценки жизненного цикла. Объектом исследований стал жизненный цикл нефелиновой руды, а именно этапы ее добычи и производства из руды глинозема. Отображены данные по входным и выходным потокам в т/т руды, проведена их нормализация и группировка.

### Ключевые слова

Оценка жизненного цикла, нефелиновая руда, добыча, глинозем, входные потоки, выходные потоки.

---

Нефелиновые руды, как сырье для производства глинозема, получили распространение на территории Российской Федерации, в качестве замены бокситовому сырью. Однако несмотря на высокие ежегодные темпы добычи нефелина, и столь же большие объемы производства глинозема, исследований по оценке жизненного цикла (ОЖЦ) в данной области не проводилось. Это связано с тем, что ОЖЦ в горной отрасли – трудоемкий процесс, требующий большого количества информации и точных данных, собрать которые, зачастую, не представляется возможным.

В работе представлена оценка двух этапов жизненного цикла нефелиновой руды: этап добычи и этап производства глинозема. Главной задачей было проведение инвентаризационного анализа, в результате которого будут выбраны целевые объекты и проведен сбор данных для дальнейших расчетов.

В качестве объектов исследования были выбраны:

1. АО «РУСАЛ Ачинск» «Кия-Шалтырский нефелиновый рудник» - добыча нефелиновой руды.
2. АО «РУСАЛ Ачинск» «Ачинский глиноземный комбинат» - производство глинозема.

### Этап Добыча Руды: Кия-Шалтырский нефелиновый рудник

Кия-Шалтырский нефелиновый рудник АО «РУСАЛ АГК» является действующим предприятием по добыче нефелиновых руд. Руду добывают открытым карьерным способом с применением буровзрывных работ [1]. Первый этап жизненного цикла можно поделить на следующие процессы:

1. Проведение буровзрывных работ.
2. Проведение вскрышных работ.
3. Добыча руды.
4. Дробление руды на дробильно-шихтовочном участке.

Помимо вышеуказанных процессов были учтены входные и выходные потоки, относящиеся к транспортировке сырья, как между объектами месторождения, так и между рудником и глиноземным комбинатом. Результатом стала информация о входных и выходных потоках по каждому процессу (единицы измерения тонна на тонну).

1. Буровзрывные работы (БВР).

Подготовка пород к выемке на предприятии осуществляется буровзрывным способом с применением буровых станков шарошечного бурения СБШ-250 МНА 32. В качестве основного взрывчатого вещества применяется вещество «Риофлекс».

---

Основные входные потоки и их значения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Значение
Расход электричества кВт/т	271,408
Расход «Риофлекса» т/т руды	0,002
Расход дизеля т/т руды	0,00014

Выходными потоками в данном случае будут являться выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, значения по каждому веществу представлены в таблице 2.

Таблица 2

Загрязняющее вещество	Значение на тонну руды, т/т * 10 <sup>8</sup>
Азота оксид	26,2200
Азота диоксид	162,1343
Углерод	2,8429
Сера диоксид	3,8086
Углерода оксид	1031,1686
Пыль неорганическая	1592,3714

## 2. Вскрышные работы.

Этап можно поделить на: непосредственно вскрышные работы, транспортирование вскрышных пород и формирование отвалов. Вскрышные породы разрабатываются и отгружаются экскаваторами ЭЖГ-10, работающими на электричестве, и Liebherr R-9200, работающими на дизеле. Транспортирование горной массы осуществляется дизельными автосамосвалами БелАЗ-7555В, САТ-777. Отвалы также формируются экскаваторами.

Основные входные потоки и их значения представлены в таблице 3.

Таблица 3

Параметр	Значение
Общий расход электричества, кВт/т	2,1190
Общий расход дизеля, т/т	0,0101

Выходными потоками процесса будут выбросы в атмосферный воздух (табл. 4), а также образование отходов пустых пород (табл. 5). Загрязняющие вещества образуются в процессе проведения вскрышных работ, при работе двигателей внутреннего сгорания горно-выемочного и горнотранспортного оборудования.

Таблица 4

Вскрышные работы		Транспортировка и формирование отвалов	
Вещество	Значение на тонну руды, т/т*10 <sup>9</sup>	Вещество	Значение на тонну руды, т/т*10 <sup>9</sup>
Пыль неорганическая	638,663	Пыль неорганическая	3098,144
Азота диоксид	159,191	Азота диоксид	1715,079
Азота оксид	25,866	Азота оксид	287,776
Углерод	8,652	Углерод	72,066
Сера диоксид	9,835	Сера диоксид	29,083
Углерода оксид	2183,177	Углерода оксид	4023,494



Таблица 5

<b>Выходные потоки. Образование отходов</b>	
<b>Наименование отхода</b>	<b>Значение на тонну руды, т/т</b>
Рыхлые породы	1,421
Скальные породы	4,243

## 3. Добыча нефелиновой руды.

Разработка руды в забоях осуществляется дизельными экскаваторами Hitachi EX-1200. Транспортирование горной массы осуществляется дизельными автосамосвалами БелАЗ-7555В, САТ-777. Разубоженную руду со спецотвала отгружают экскаватором Liebherr R-980SHD в автосамосвалы САТ-773, САТ-777 и вывозятся на дробильно-шихтовочный участок.

Значения параметров входных потоков процесса представлены в таблице 6.

Таблица 6

<b>Входные потоки. Добыча руды</b>	
<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Итоговый расход дизеля, т/т	0,0225

Выходными потоками данных процессов являются выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (табл. 7), образующихся в процессе проведения погрузочно-разгрузочных работ, при работе двигателей внутреннего сгорания горнотранспортного оборудования. Также выходным потоком данного этапа жизненного цикла будет считаться сброс воды в ближайший водный объект р. Бердовка (табл. 8) и образование отходов, в основном, при обслуживании и эксплуатации горнотранспортного оборудования (табл. 9).

Таблица 7

<b>Выходные потоки. Выбросы в атмосферный воздух</b>	
<b>Вещество</b>	<b>Значение на тонну руды, т/т</b>
Азота диоксид	0,00002228
Азота оксид	0,00000367
Углерод	0,00000096
Сера диоксид	0,00000036
Углерода оксид	0,00003810
Пыль неорганическая	0,00002836

Таблица 8

<b>Выходные потоки. Сбросы в водные объекты</b>	
<b>Объем сбрасываемой воды, тыс. м<sup>3</sup></b>	<b>Масса сточных вод на тонну руды, т/т</b>
7884	2,2526

Таблица 9

<b>Выходные потоки. Образование отходов</b>	
<b>Наименование отхода</b>	<b>Значение на тонну руды, т/т * 10<sup>7</sup></b>
Фильтры очистки масла автотранспортных средств отработанные	18,026
Отходы минеральных масел промышленных	48,069
Отходы минеральных масел гидравлических, не содержащих галогены	109,674
Отходы минеральных масел трансмиссионных	34,286
Отходы минеральных масел моторных	179,397
Шины пневматические автомобильные отработанные	509,429
Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (<15%)	0,217

## 4. Дробление и транспортировка нефелиновой руды.

Крупное дробление и усреднение руды происходит на дробильно-сортировочном комплексе. Туда руда поставляется автосамосвалами, а затем выгружается в приемный бункер конусной дробилки крупного дробления ККД 1500/180.

Входные потоки процесса представлены в таблице 10.

Таблица 10

<b>Входные потоки. Обогащение и дробление</b>	
<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Расход электричества на тонну руды, кВт/т	4,705
Расход дизеля на тонну руды, т/т	0,0161

Выходными потоками можно считать выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (табл. 11), образующихся в процессе работы дробильно-сортировочного комплекса и при работе двигателей внутреннего сгорания горнотранспортного оборудования.

Таблица 11

<b>Выходные потоки. Выбросы в атмосферный воздух</b>	
<b>Вещество</b>	<b>Значение на тонну руды, т/т * 10<sup>6</sup></b>
Пыль неорганическая	288,365
Азота диоксид	102,248
Азота оксид	16,650
Углерод	4,681
Углерода оксид	196,755

**Этап Производство Глинозема: Ачинский Глиноземный Комбинат**

Акционерное общество «РУСАЛ Ачинский Глиноземный Комбинат» (АО «РУСАЛ Ачинск») образовано на базе Ачинского глинозёмного комбината (АГК).

В настоящее время на АО «РУСАЛ Ачинск» применяется технология производства глинозема из нефелиновой руды. АО «РУСАЛ Ачинск» менее чем на 20% обеспечивает глиноземом алюминиевые заводы, которые сосредоточены в Сибири.

Основное производство АО «РУСАЛ Ачинск» основано на принципе комплексной переработки нефелиновой руды. Глинозём производится с использованием метода спекания во вращающихся печах нефелиновой руды с известняком с последующей гидрохимической переработкой спека [2].

Входные потоки процесса производства глинозема представлены в таблице 12 [3].

Таблица 12

<b>Входные потоки. Производство глинозема</b>		
<b>Параметр</b>	<b>Единицы измерения</b>	<b>Расход на 1 т глинозема</b>
Нефелин	т	5
Известняк	т	8
Технологическое топливо	т у т	1,5
Тепловая энергия	Гкал	1,35
Электроэнергия	тыс кВт*ч	1,1

К входным потокам также следует относить величину объема водозабора на нужды производства. Она составит 110,433 т/т глинозема, при условии производительности Ачинского глинозёмного комбината равной 1000 тыс. т/год.

Выходными потоками процесса можно считать выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (табл. 13) и величину объема сброса сточных вод (составит 0,0044 т/т глинозема), а также образование отходов (табл. 14) [3].

Таблица 13

<b>Выходные потоки. Выбросы в атмосферный воздух</b>	
<b>Вещество</b>	<b>Значение на тонну глинозема, т/т</b>
Пыль	0,014932876
SO <sub>2</sub>	0,003818872
Оксиды азота (NO <sub>2</sub> )	0,007813407
CO	0,003204497

Таблица 14

<b>Выходные потоки. Образование отходов</b>	
<b>Наименование</b>	<b>Значение на тонну глинозема, т/т</b>
Отходы выщелачивания нефелиновых руд при производстве глинозема	7,526
Золошлаковая смесь от сжигания углей практически неопасная (теплоснабжение)	0,196

### Результаты

В результате проведенного анализа документации и выполнения расчетов, были собраны все необходимые данные для оценки жизненного цикла нефелиновой руды на этапах ее добычи и производства из нее глинозема.

Основными входными потоками на всех этапах можно считать: дизельное топливо, электроэнергию и различные реагенты, необходимые для проведения буровзрывных работ или процедур выщелачивания и спекания.

Основными выходными потоками можно назвать: выбросы в атмосферный воздух оксидов азота, серы, углерода и неорганической пыли, а также сбросы сточных карьерных или производственных вод в водные объекты и образование отходов, как вскрышных пород, так и дробления, спекания и электроснабжения.

Полученные результаты будут использоваться для аналитики и анализа ключевых аспектов ОЖЦ в программе SimaPro.

### Список использованных источников

1. Проект рекультивации нарушенных земель Кия-Шалтырского месторождения нефелиновых руд. Материалы оценки воздействия на окружающую среду. Пояснительная записка. Приложения 1–15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hmao.rpn.gov.ru/public/270520220800032/> (дата обращения: 17.11.2022).
2. Оценка воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности АО «РУСАЛ Ачинск». Книга 1 Предварительный вариант материалов ОВОС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [inesa.ru/pdf/?news/510/&4\\_project\\_docs](https://inesa.ru/pdf/?news/510/&4_project_docs) (дата обращения: 25.11.2022).
3. ИТС 11–2019 Производство алюминия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/564068890> (дата обращения: 10.12.2022).

УДК 504.3.054

## ПРОБЛЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ОТ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ПОЛИГОНАХ ТКО

*Подкопаева А.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – преподаватель, преподаватель практики Забелина А.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

---

В работе представлен обзор основных трудностей, которые возникают при осуществлении учета и контроля выбросов от полимерсодержащих отходов на полигоне твердых коммунальных отходов (ТКО), как результат более глобальной работы по сокращению выбросов от полигона ТКО при организации линии сортировки и участка переработки полимерных отходов.

### **Ключевые слова**

Полимеры, твердые коммунальные отходы, полигон ТКО, методика расчета нормативов выбросов от полигона, выбросы парниковых газов.

---

Актуальность работы связана с необходимостью всесторонней оценки воздействия полигона на атмосферный воздух, уточнения компонентного состава выбросов и актуализации методик расчета выбросов для предприятий такого типа.

Полигоны твердых коммунальных отходов являются объектами негативного воздействия на окружающую среду, в том числе, в части загрязнения атмосферного воздуха. Поэтому проблема контроля нормативов выбросов от полигонов ТКО на сегодняшний день является актуальной.

Контроль нормативов выбросов может осуществляться инструментальным или расчетным методом. Как правило, на полигонах ТКО лабораторный метод используется для мониторинга состояния воздуха в районе расположения объекта, а расчетный метод используется для контроля не превышения установленных нормативов на выбросы от объекта.

Выбросы загрязняющих веществ от полигона твердых отходов рассчитываются в соответствии с «Методикой расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов», разработанной в 2004 году [1]. В соответствии с этой методикой от полигона ТКО выделяются: азота диоксид (диоксид азота; пероксид азота), аммиак (азота гидрид), азот (II) оксид (азот монооксид), сера диоксид, дигидросульфид (водород сернистый, дигидросульфид, гидросульфид), углерода оксид, метан, диметилбензол (смесь изомеров о-, м-, п-) (метилтолуол), метилбензол (фенилметан), этилбензол (фенилэтан), формальдегид (муравьиный альдегид, оксометан, метиленоксид). Данная методика ежегодно вносится в перечень утвержденных Министерством природных ресурсов методик расчета выбросов.

При этом в методике приведен усредненный состав ТКО, представленный в таблице. Согласно которой полимерные материалы в составе твердых бытовых и коммунальных отходов, складированных на полигоне, по усредненным данным в процентах по массе составляют 5,5%.

Кроме того, в Российской Федерации отсутствуют утвержденные методики расчета выбросов от разложения пластика в результате его размещения на полигоне ТКО. Неутвержденные методики также не разрабатывались.

За рубежом проводились исследования, которые показали большой потенциал пластиков в процессе разложения и выработки метана и диоксида углерода, которые являются парниковыми газами, следовательно, полигон ТКО может быть источником парникового эффекта и за счет деградации пластиков в том числе. Об этом, в частности пишут авторы исследования – CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> Emissions from the Decomposition of Microplastics in the Bottom Sediment – Preliminary Studies [2].

---

Таблица

**Морфологический состав твердых бытовых и коммунальных отходов, складированных на полигоне**

№	Наименование компонента	Массовая доля (%)
1	Бумага, картон	38,0
2	Пищевые отходы	30,0
3	Дерево	1,5
4	Текстиль	5,5
5	Кожа, резина	1,3
6	Полимерные материалы	5,5
7	Кости	0,7
8	Черный металл	2,5
9	Цветной металл	0,5
10	Стекло	4,3
11	Камни, керамика	1,4
12	Отсев менее 16 мм	8,8

Также по методике расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов рассчитывается удельный выход биогаза за период его активного выделения при метановом брожении. При этом в расчете учитывается только количество биоразлагаемых отходов, которые представлены органической частью ТКО (это преимущественно растительные и пищевые остатки, а также прочая органика) и отсутствуют данные о биополимерах, но ведь обобщение предположения о том, что все пластмассы на биологической основе оказывают меньшее воздействие на окружающую среду, может быть неверным.

Поэтому, проблема использования данной методики состоит в том, что она не учитывает:

- изменение компонентного состава отходов, т. к. процентная доля использования полимеров с 2004 года увеличилась;
- в методике отсутствует указание на новые биоразлагаемые материалы, которые производятся в большом количестве и участвуют в образовании биогаза, однако не относятся к пищевым, растительным остаткам, древесине или целлюлозе;
- также не учитываются выбросы от разложения полимеров. Современные полигоны твердых коммунальных и промышленных отходов содержат большое количество пластиковых отходов, которые уже участвуют в процессе образования свалочного газа, однако объем продуцирования свалочного газа ими не учитывается при нормировании выбросов. Хотя и деградация полимеров происходит крайне медленно, они также вносят свой вклад в загрязнение воздуха.

В связи с невозможностью подсчета эмпирическим путем количества и состава выбросов от разложения полимеров встает необходимость о прогнозировании этих параметров с целью введения поправочного коэффициента к расчету выбросов на весь период эксплуатации и период рекультивации полигона ТКО. Таким образом, необходима актуализация методики расчета выбросов от полигонов с учетом реального компонентного и фракционного состава.

**Список использованных источников**

1. Абрамов Н.Ф., Санников Э.С. Методикой расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов (издание дополненное и переработанное). – М., 2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index1/47/47223.htm> (дата обращения: 01.02.2023).
2. Kida Malgorzata et al., CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> Emissions from the Decomposition of Microplastics in the Bottom Sediment – Preliminary Studies. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3298/9/7/91> (дата обращения: 03.02.2020).

УДК 581.192

**ЗОЛЬНОСТЬ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК»***Подледнева Л.В.<sup>1</sup> (студент), Соколов А.А.<sup>1</sup> (студент)**Научный руководитель – кандидат географических наук, доцент Банарь С.А.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены показатели зольности органов древесных растений заповедника «Бастак». Зольность является важным биогеохимическим параметром, отражающим процесс минерального питания, особенности поглощения и накопления питательных веществ растением. Результаты исследования могут быть использованы в качестве фоновых эталонов.

**Ключевые слова**

Зольность, древесная растительность, фоновое содержание.

В настоящее время установлено, что показатель уровня зольности способствует получению новой информации о биоэкологических особенностях растений. По показателю зольности листьев, корки и хвои деревьев можно оценить степень приспособленности растений к данным конкретным условиям произрастания, а также показатель зольности является важным биогеохимическим параметром, позволяющим проанализировать ряд коэффициентов (например, коэффициент биологического поглощения, коэффициент биологической подвижности) [1]. Помимо этого, зольность может являться косвенным показателем загрязнения теми или иными химическими элементами.

Исходя из вышеперечисленных особенностей, целью данного исследования является определение зольности древесных растений заповедника «Бастак».

Объектом исследования является растительность заповедника «Бастак», расположенный в Еврейской автономной области (ЕАО). Преобладающим типом растительности особо охраняемой природной территории является лесной. Выделено два высотных пояса растительности: широколиственно-хвойно-лесной и темнохвойно-таежный. Следует отметить, что большая часть территории ЕАО является геохимической провинцией.

Благодаря предоставленной возможности мне и моим коллегам удалось стать участниками экспедиции от Университета ИТМО в ранее упомянутый заповедник «Бастак». Целью экспедиции была «Эколого-геохимическая оценка естественных и нарушенных экосистем». Полевые исследования проводились в период с 19.06.2022-27.06.2022.

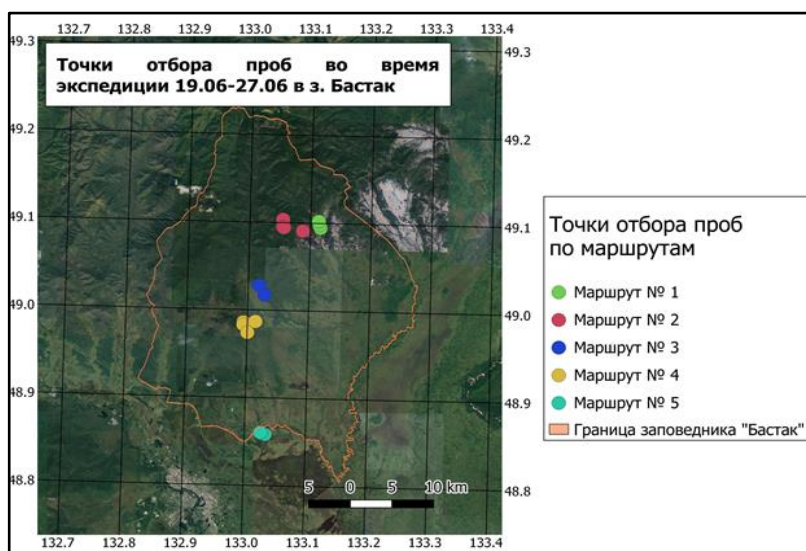


Рис. 1. Точки отбора проб по маршрутам

В ходе экспедиции был произведён отбор проб корки, листьев и хвои эдификаторов и доминантов древесного яруса. Образцы были отобраны на 5 маршрутах. Для наглядности на рисунке 1 представлена карта с точками отбора проб, выполненная в программе QGIS.

Зольность – массовая доля остатка после сухого окисления биомассы при температуре 450°C, выраженной в процентах.

Также зольность является показателем, отражающим процесс минерального питания, особенности поглощения и накопления питательных веществ в тканях органов растения [2].

Зольность растительных образцов определялась с помощью метода сухого озоления. Образцы воздушно-сухого растительного материала измельчают руками и помещают в пронумерованные широкие тигли. Тигли с пробами взвешивают на аналитических весах и помещают в холодную муфельную печь. Озоление при высокой температуре (400–450°) длится около 4–6 часов. После окончания озоления тигли вынимают из печи и помещают в эксикатор, затем их взвешивают [3].

Следуя ранее описанной методике и получив необходимые данные, далее по формуле (1) вычисляется зольность растений, отражающая долю минеральной составляющей в сухом растении.

$$C = \frac{M - m}{P - m} * 100, \quad (1)$$

где  $P$  – вес тигля с навеской сухого растения;

$M$  – вес тигля с золой;

$m$  – вес тигля;

$C$  – зольность, % [3].

Таким образом, было проанализировано 45 образцов различных частей древесных растений: корка, листья, хвоя, собранных с 15 пробных площадок в заповеднике «Бастак». Затем был вычислен показатель величины зольности для каждой пробы и среднее значение зольности органов древесных растений.

Результаты проведенного исследования представлены в таблице.

Таблица

**Показатели величины зольности (%) растений заповедника «Бастак»**

Название растения	Часть растения	Среднее значение зольности, %
Бархат амурский	Корка	5
Береза плосколистная	Ветви	1,08
Береза желтая	корка	1,83
Береза плосколистная	Корка	0,73
Береза овальнолистная	Листья	3,68
Дуб монгольский	Корка	8,1
Ива	Корка	0,88
Клён	Листья	7,31
Кедр корейский	Корка	3,92
Кедр корейский	Хвоя	2,01
Лиственница Каяндера	Корка	4,66
Лиственница Каяндера	Хвоя	2,85
Ольха волосистая	Корка	6,04
Ольха волосистая	Листья	5,34
Пихта белокорая	Ветви	2,68
Пихта белокорая	Корка	5,95
Пихта белокорая	Хвоя	3,29
Рябинник рябинолистный	Листья	5,39

Для наглядности, на рисунке 2 представлена сравнительная характеристика зольности органов (корка, листья, хвоя) исследованных видов древесных растений.

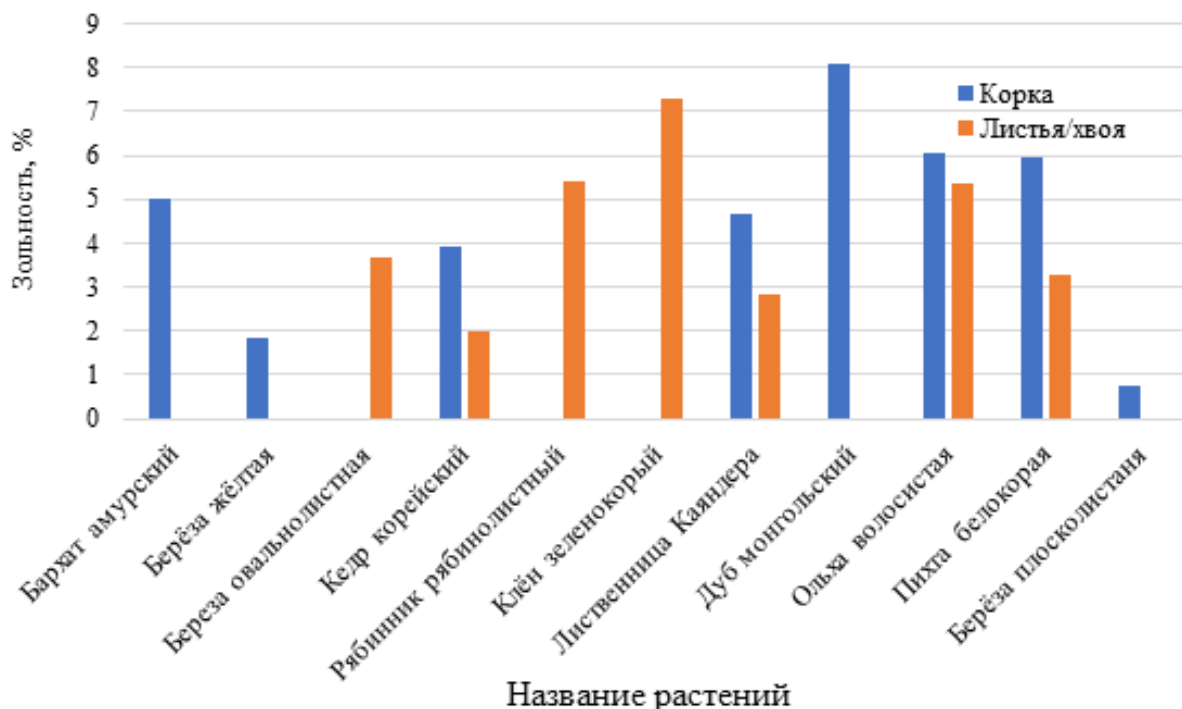


Рис. 2. Зольность корки, листьев и хвои древесных растений

На рисунке 2 видно, что у хвойных пород кедра, пихты и лиственницы показатель зольности корки выше этого значения у хвои.

На рисунке 3 представлена сравнительная характеристика зольности корки исследованных видов древесных растений.

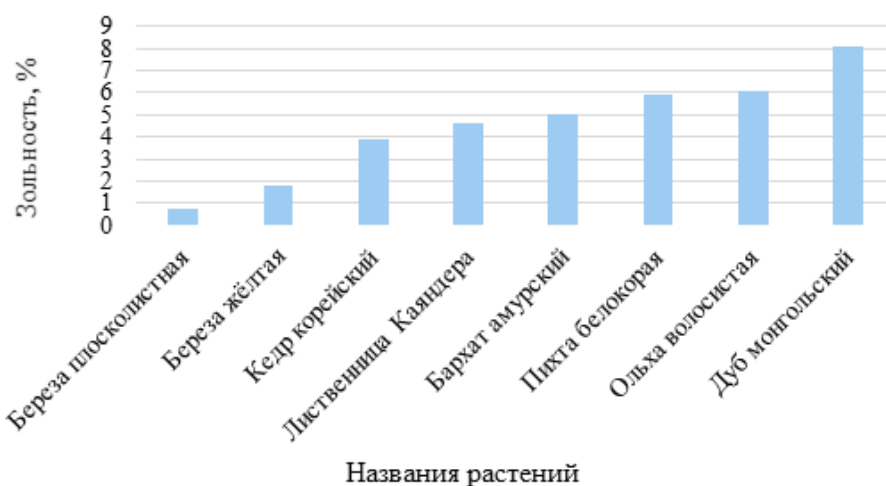


Рис. 3. Зольность корки древесных растений

Зольность корки растительных проб изучаемых видов различна (таблица), по этому показателю растения можно расположить в следующем ряду: дуб — ольха — пихта — бархат — лиственница — кедр — береза.

На рисунке 4 представлена сравнительная характеристика зольности листьев или хвои исследованных видов древесных растений.



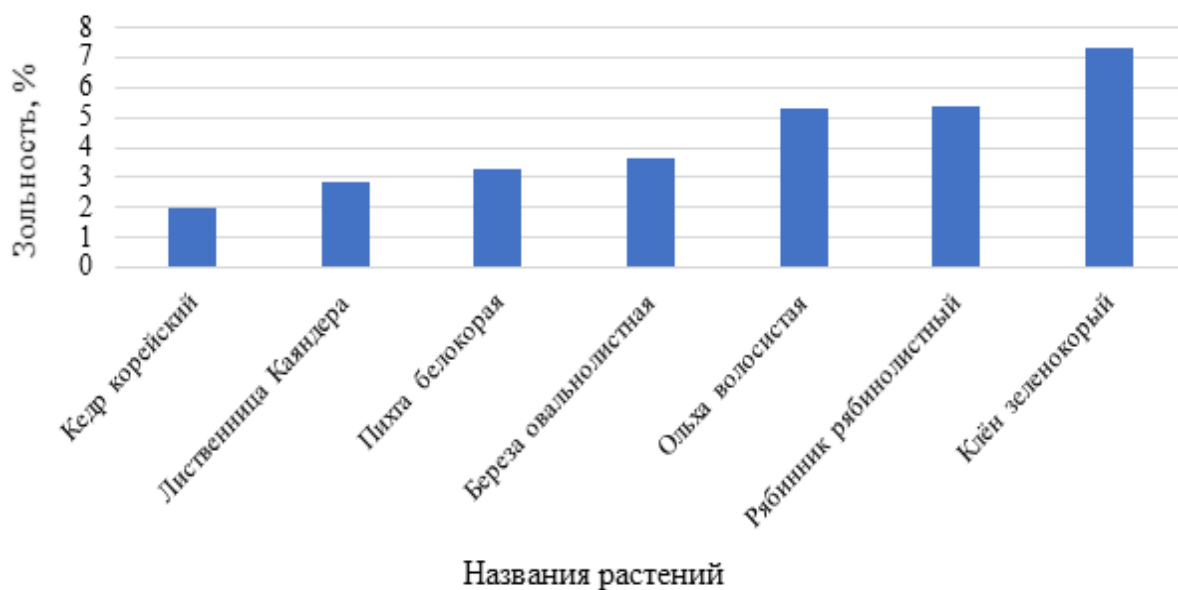


Рис. 4. Зольность листьев или хвои древесных растений

По показателю зольности листьев или хвои растительных проб изучаемых видов растения можно расположить в следующем ряду: клен — рябинник — ольха — береза — пихта — лиственница — кедр.

Показатель содержания золы в листьях, хвое и корке может использоваться в качестве биоиндикатора загрязнения. А значения зольности растений, произрастающих на территории заповедника, являются фоновым эталоном.

Зольность образцов древесных растений в заповеднике Бастак ранее не рассчитывалась. Поэтому результаты данного исследования могут быть использованы в качестве фоновых эталонов другими авторами в своих работах.

В ходе проведенного исследования были получены показатели зольности органов древесных растений заповедника Бастак. В золе растений будет определено содержание химических элементов рентгенофлуоресцентным методом.

#### Список использованных источников

1. Тюлькова Е.Г. Зольность растений в условиях городской среды (на примере города Гомеля) // Естественные и медицинские науки. 2017. №. 1. С. 58–65.
2. Карташева Г.Г. Химический состав деревьев и кустарников, произрастающих на уступах угольного разреза // Растения и промышленная среда. 1984. №. 10. С. 72–77.
3. Терехина Н.В. Методические указания к проведению фитогеохимических исследований: учебно-методическое пособие. СПб. 2010. 25 с.

УДК 574.4

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСЕННЕГО ЛИСТОВОГО ОПАДА, ЗАГРЯЗНЁННОГО ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, ДЛЯ КОМПОСТИРОВАНИЯ**

*Походня Е.И.<sup>1</sup> (студент), Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>, Моисеенко Е.Н.<sup>1</sup> (аспирант), Динкелакер Н.В.<sup>1</sup>  
Научный руководитель – преподаватель Динкелакер Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: elizaveta902@mail.ru*

---

Городские зелёные насаждения, в силу своих экологических и биологических функций, способны к аккумуляции тяжёлых металлов из ряда природных сред, в частности, из почв. В условиях средней полосы России, характеризующейся выраженной сменой сезонов, в период листопада большая часть растений, представленных в городских зелёных насаждениях, теряет свои листья, которые, перегнивая и образуя гумус, возвращают в почву ранее накопленные токсиканты.

В данной работе предложен вариант использования опада листьев для создания искусственных почвогрунтов, что позволит не только полезно и безопасно использовать загрязнённую биомассу, но и покрыть потребность даже таких крупных городских агломераций, как Санкт-Петербург, в почвах газонов, требующих обновления.

**Ключевые слова**

Аккумуляция тяжёлых металлов, экосистемы города, компосты, почвы, городские зелёные насаждения.

---

Вопрос безопасного использования в качестве компоста загрязнённого осеннего листового опада городских зелёных насаждений может рассматриваться как с точки зрения экологии, так и со стороны экономической целесообразности, что может иметь особую актуальность в условиях экономики замкнутого цикла.

В силу своих биоэкологических функций зелёные насаждения городов способны накапливать загрязнители из различных сред: в рассмотренном случае наибольшее влияние оказала аккумуляция токсикантов из почвы. Такое явление зачастую используется для очистки почв и представляет собой фиторемедиационный метод.

Говоря об использовании фиторемедиационной очистки в условиях выраженной смены сезона, характерной для средней полосы, а соответственно и масштабного обновления растительного покрова, следует помнить, что с наступлением осеннего сезона большая часть растений средней полосы России теряет свои зелёные части, которые перегнивают, образуя гумус. Следовательно, на этом этапе важно недопущение возвращения загрязнителей в почву. Этого можно добиться своевременной (до перегнивания) утилизацией опавших листьев с дальнейшей обработкой, которая должна гарантировать в перспективе безопасность окружающей среды от возвращения опасных токсикантов в неё. Для этого могут быть использованы прочие методы борьбы с тяжёлыми металлами, например, перевод их в недоступную нерастворимую форму. Одним из предполагаемых вариантов безопасной утилизации загрязнённых листьев является создание на их основе компоста, затем преобразовываемого в почвы с хорошим минерально-органическим составом, что может быть целесообразным решением для утилизации и повторного применения части этой биомассы, так как в оптимальных количествах тяжёлые металлы нужны растениям в качестве минеральных элементов, способствующих поддержанию их жизнедеятельности, т.к. ряд этих веществ входит в число эссенциальных и условно эссенциальных элементов.

Основными объектами, которые продуцируют поступление токсикантов-тяжёлых металлов в природные среды, являются промышленные предприятия и автотранспорт.

---

Рентген-флуоресцентный анализ растительных проб, принимаемых для исследования, показал, что в них в значительной мере содержатся тяжёлые металлы, такие как свинец, мышьяк, никель и цинк, содержание которых подлежит нормированию.

Рассматриваемые пробы были отобраны в непосредственной близости от оживлённых дорог и котельной, а также вследствие влияния розы ветров (рис. 1), в соответствии с которой в Санкт-Петербурге наибольшая доля приходится на западный ветер, выбросы Адмиралтейских верфей и Красного треугольника затрагивают данный район, из чего можно сделать вывод о высокой степени их влияния на загрязнённость растительных сообществ и почв, которая, по мере удаления от этих загрязнителей, снижается.

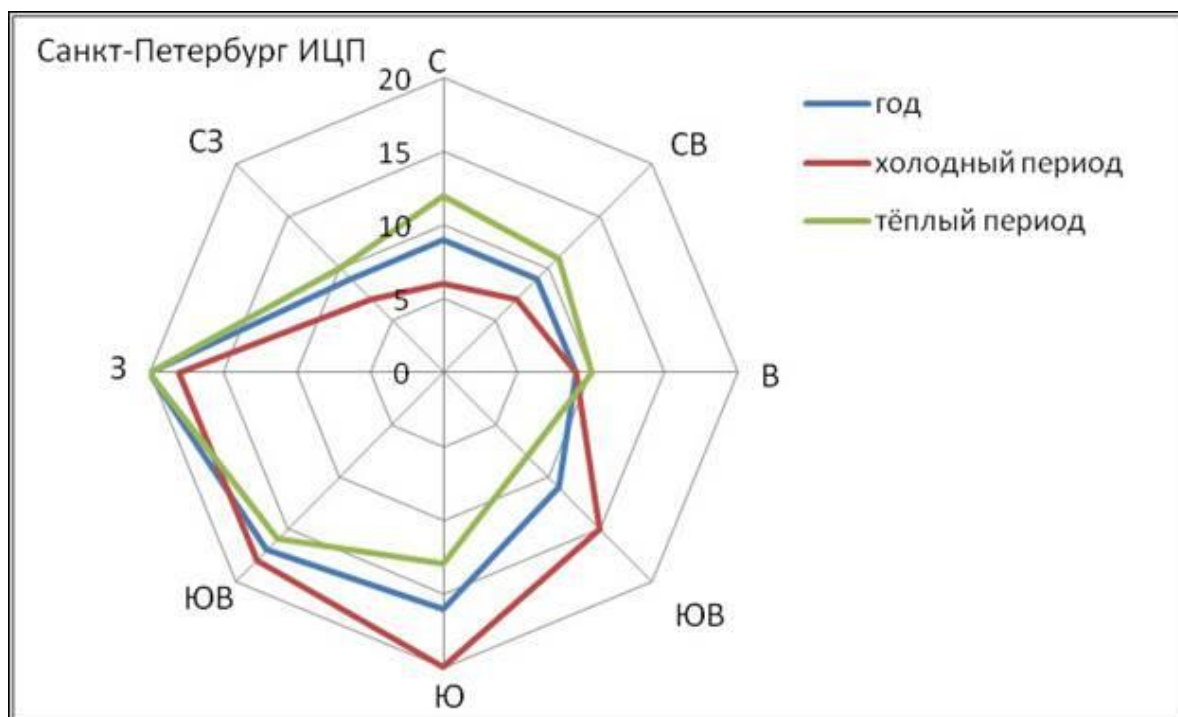


Рисунок. Роза ветров в Санкт-Петербурге [1]

В таблице 1 ниже приведены результаты анализа содержания тяжёлых металлов в проанализированных рентген-флуоресцентным методом пробах, а также их сопоставление с установленными нормативами ПДК.

Таблица 1

**Примеры проб зелёных частей растений, используемых в данном исследовании, проанализированных на содержание тяжёлых металлов и их сопоставление с ПДК**

№ пробы		Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
1	Мятлик луговой <i>Poa pratensis</i>	3	1	26	3	26	0
2	Серебристый тополь <i>Populus alba</i>	5	4	98	2	25	0
3	Мох <i>Barbilophozia barbata</i>	5	3	32	4	25	0
4	Ясенелистный клён <i>Acer negundo</i>	9	4	39	3	20	0
5	Подорожник большой <i>Plantago major</i>	5	3	28	2	29	0
6	Каштан конский <i>Aesculus hippocastanum</i>	6	3	31	3	28	0
7	Одуванчик обыкновенный <i>Taraxacum officinale</i>	0	3	34	2	28	0
8	Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i>	4	4	23	0	24	0
9	Вяз гладкий <i>Ulmaceae laevis</i>	4	5	38	3	28	0
	ПДК, мг/кг	32	2	23	4	6	150

Как представлено в таблице 1, в исследуемом материале превышены нормативы ПДК по содержанию мышьяка, цинка и хрома, что, после разбавления и соответствующей обработки материала будет устранено, и минеральный состав по этим компонентам можно будет назвать благоприятным с учётом параметров нетоксичности концентраций и достаточной обогатённости почв.

Пробы 3, 5 и 7 произрастали на торфяной почве, что было определено по её механическому составу визуально, по типовой растительности, характерной для данного типа почвы и было подтверждено в результате гранулометрического анализа.

В типичном случае минеральный состав этого типа почв имеет концентрации в определённых диапазонах, что представлено в таблице 2 ниже [2, 3, 4].

Таблица 2

**Минеральный состав торфяных почв и сопоставление с нормативами ПДК**

Концентрации	Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
В торфяных почвах	4-20	2-5	17-39,5	40	33-34	7,5-74
ПДК	32	2	23	4	6	150

Пробы 1, 2, 4, 6, 8 и 9 произрастали на суглинистых почвах, что было определено по аналогии с торфяными – по механическому составу визуально, по типовой растительности, характерной для данного типа почвы и было подтверждено в результате гранулометрического анализа.

В таблице 3 представлены типовые диапазоны концентраций минеральных веществ в почвах данного типа, а также приведено их сопоставление с нормативами ПДК.

Таблица 3

**Минеральный состав суглинистых почв и сопоставление с нормативами ПДК**

Концентрации	Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
В суглинистых почвах	9,6	2-5	50-100	24	25-120	34-210
ПДК	32	2	23	4	6	150

В таблицах выше зелёным цветом выделены концентрации, удовлетворяющие ПДК, красным – концентрации, не удовлетворяющие ПДК, жёлтым – промежутки, частично попадающие в границы ПДК.

При приготовлении компоста происходит смешение нескольких субстанций, и исходные концентрации веществ в используемом сырье снижаются примерно в 3 раза, соответственно в исходном неразбавленном сырье концентрации могут превышать рекомендованные для компоста примерно в 3 раза.

В соответствии с рекомендациями по приготовлению компоста, лиственный опад будет составлять от 33 до 45%, что означает разбавление концентраций за счёт добавления песка и торфа. В песке данные элементы содержатся только в связанном безопасном виде. В торфе данные элементы отсутствуют.

В таблицах 4 и 5 ниже приведено сопоставление концентраций, получаемых после разбавления листового опада, с концентрациями в суглинистых и торфяных почвах и ПДК. Данные об элементном составе почв взяты из литературных источников [2, 3, 4].

Анализируя таблицу 4, можно сказать, что концентрации свинца удовлетворяют ПДК, их значения значительно ниже концентраций в суглинистых почвах. Концентрации мышьяка, за исключением Пробы 9, удовлетворяют ПДК и близки к концентрациям в суглинистых почвах. Концентрации цинка, за исключением Пробы 2, удовлетворяют ПДК, их значения значительно ниже концентраций в суглинистых почвах. Концентрации никеля удовлетворяют ПДК, их значения значительно ниже концентраций в суглинистых почвах. Концентрации хрома не удовлетворяют ПДК и ниже концентраций, характерных для суглинистых почв. Концентрации ванадия в листовом опаде во всех пробах, подлежащих анализу, составляют 0 мг/кг.

Таблица 4

**Сопоставление концентраций листового опада после разбавления, концентраций веществ в суглинистых почвах и ПДК**

Концентрации после разбавления до 45% (вариант)							
№ пробы		Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
1	Мятлик луговой <i>Poa pratensis</i>	1,35	0,45	11,7	1,35	11,7	0
2	Серебристый тополь <i>Populus alba</i>	2,25	1,8	44,1	0,9	11,25	0
4	Ясенелистный клён <i>Acer negundo</i>	4,05	1,8	17,55	1,35	9	0
6	Каштан конский <i>Aesculus hippocastanum</i>	2,7	1,35	13,95	1,35	12,6	0
8	Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i>	1,8	1,8	10,35	0	10,8	0
9	Вяз гладкий <i>Ulmaceae laevis</i>	1,8	2,25	17,1	1,35	12,6	0
Состав суглинистых почв							
		Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
	В суглинистых почвах	9,6	2-5	50-100	24	25-120	34-210
	ПДК	32	2	23	4	6	150

Таблица 5

**Сопоставление концентраций листового опада после разбавления, концентраций веществ в торфяных почвах и ПДК**

Концентрации после разбавления до 45% (вариант)							
№ пробы		Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
3	Мох <i>Barbilophozia barbata</i>	2,25	1,35	14,4	1,8	11,25	0
5	Подорожник большой <i>Plantago major</i>	2,25	1,35	12,6	0,9	13,05	0
7	Одуванчик обыкновенный <i>Taraxacum officinale</i>	0	1,35	15,3	0,9	12,6	0
Состав торфяных почв							
		Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
	В торфяных почвах	4-20	2-5	17-39,5	40	33-34	7,5-74
	ПДК	32	2	23	4	6	150

Из таблицы 5 видно, что превышение ПДК в листовом опаде, выделенном для создания искусственной торфяной почвы, наблюдается только по хрому для всех проб. Концентрации прочих минеральных элементов удовлетворяют ПДК или понижены.

Таким образом, при использовании данного листового опада в целях почвообразования, недостаток ряда элементов можно восполнить, внесением в почву минеральных удобрений, например, содержащих ванадий.

Однако, в соответствии с вышеприведёнными таблицами, во всех пробах наблюдается повышенное содержание хрома, который можно извлечь из массы, идущей на компостирование, использованием сорбционных методов. В соответствии с наработками исследователей в этой области, один из наиболее эффективных сорбентов в отношении хрома – кора сосны, внесение которой на сроки, около одного месяца, позволяет добиться снижения концентраций до минимума с эффектом очистки, стремящимся к 99% [5]. Поскольку ПДК по хрому, составляет 6 мг/кг, требуется снижение концентраций примерно на 60%, соответственно, согласно графикам снижения концентраций при использовании этого сорбента, демонстрирующими линейную зависимость снижения концентрации от времени, для достижения допустимых концентраций достаточно примерно 3 недель, поскольку полное удаление этого микроэлемента из будущей почвы также нежелательно.

Исходя из наработанных практических и теоретических данных по снижению цинка в компосте и почвах, а также того факта, что он превышен лишь в одной пробе, имеет практический смысл исключение Пробы 2 из компостирования.

Также требуется некоторое снижение содержания мышьяка в пробе 9. По литературным данным известно, что гуминовые и сульвокислоты сорбируют до 27% мышьяка, соответственно их использованием можно добиться снижения его концентрации в компосте до 1,6 мг/кг, что удовлетворяет ПДК [6].

В результате проведения таких мероприятий будут достигнуты концентрации, удовлетворяющие ПДК, во всех пробах, которые будут использованы в почвообразовании.

Таким образом, после проведения ряда мероприятий и исключения из процесса Пробы 2, весь рассматриваемый листовой опад удовлетворяет требованиям и может использоваться в качестве сырья для компостирования. Сопоставление полученных после обработки концентраций с ПДК приведены в таблице 6 ниже.

Таблица 6

### Сопоставление концентраций листового опада после обработки и ПДК

Концентрации после разбавления и обработки							
№ пробы		Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
1	Мятлик луговой <i>Poa pratensis</i>	1,35	0,45	11,7	1,35	4,68	0
3	Мох <i>Barbilophozia barbata</i>	2,25	1,35	14,4	1,8	4,5	0
4	Ясенелистный клён <i>Acer negundo</i>	4,05	1,8	17,55	1,35	3,6	0
5	Подорожник большой <i>Plantago major</i>	2,25	1,35	12,6	0,9	5,22	0
6	Каштан конский <i>Aesculus hippocastanum</i>	2,7	1,35	13,95	1,35	5,04	0
7	Одуванчик обыкновенный <i>Taraxacum officinale</i>	0	1,35	15,3	0,9	5,04	0
8	Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i>	1,8	1,8	10,35	0	4,32	0
9	Вяз гладкий <i>Ulmaceae laevis</i>	1,8	1,6425	17,1	1,35	5,04	0
	ПДК	32	2	23	4	6	150

Рассматривая литературные данные об элементном составе суглинистых и торфяных почв, можно увидеть, что зачастую в них наблюдается превышение установленных нормативов ПДК, что также наглядно представлено в таблицах 2 и 3 [2, 3, 4]. Однако в почвообразовании за счёт компоста недопустимо превышение ПДК, поэтому, для создания почвы возьмём значения, удовлетворяющие ПДК и максимально приближенные к типичным для конкретного вида почвы, они приведены в таблице 7 ниже.

Таблица 7

### Концентрации элементов для создания почвы из компоста и их сопоставление с ПДК

	Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
В суглинистых почвах	9,6	2-5	100	24	25-120	34-210
ПДК	32	2	23	4	6	150

Все концентрации в модельной почве, которая будет создана с использованием листового опада, будут удовлетворять ПДК.

Для создания суглинистой почвы требуются: гумус (10%), песок (40%), глина (50%), что подтверждается как экспериментальными, так и литературными данными, то есть, в силу нейтральности глины и песка по своим минеральным обогащённостям, исходные концентрации токсикантов в листовом опаде разбавляются в 10 раз. Получаемые при этом данные приведены в таблице 8 ниже [7].

Таблица 8

**Сопоставление концентраций листового опада после разбавления в 10 раз и ПДК**

Концентрации после разбавления до 10% (вариант)							
№ пробы		Pb	As	Zn	Ni	Cr	V
1	Мятлик луговой <i>Poa pratensis</i>	0,3	0,1	2,6	0,3	2,6	0
2	Серебристый тополь <i>Populus alba</i>	0,5	0,4	9,8	0,2	2,5	0
4	Ясенелистный клён <i>Acer negundo</i>	0,9	0,4	3,9	0,3	2	0
6	Каштан конский <i>Aesculus hippocastanum</i>	0,6	0,3	3,1	0,3	2,8	0
8	Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i>	0,4	0,4	2,3	0	2,4	0
9	Вяз гладкий <i>Ulmaceae laevis</i>	0,4	0,5	3,8	0,3	2,8	0
	ПДК	32	2	23	4	6	150

В результате разбавления в 10 раз, в создании модельной суглинистой почвы может участвовать даже исключаемая при меньших разбавлениях проба 2. Таким образом, проведённое исследование позволяет сделать вывод о допустимости использования рассмотренного листового опада в создании модельной суглинистой почвы. Почва данного вида будет в некоторой степени обеднена определёнными минеральными компонентами, что можно компенсировать внесением удобрений.

Для создания торфяной почвы требуется 50% торфа, 45% дополнительно вносимого гумуса (из листового опада), а также 5% песка. То есть здесь применяются ранее рассмотренные пробы 3, 5 и 7 с разбавлением до 45%, что удовлетворяет ПДК и типовому составу торфяной почвы.

Таким образом, в результате проведения ряда манипуляций, подбора конкретных условий и оптимальных соотношений компонентов для приготовления почв двух различных видов: торфяных и суглинистых - можно сделать вывод о пригодности использования осеннего листового опада в компостировании с целью получения искусственных почв.

Таким образом, установлено, что осенний лиственный опад высших растений, загрязнённых в результате антропогенного воздействия на окружающую среду и аккумуляции токсикантов из других природных сред, может быть успешно использован в качестве субстрата-компоста для создания искусственных почв. Для безопасности его применения необходимо проведение ряда манипуляций, подбора конкретных условий и оптимальных соотношений компонентов для приготовления почв двух различных видов: торфяных и суглинистых.

Это может быть практически использовано с особой актуальностью в условиях России по причине выраженной смены сезона и осеннего листопада. Такой метод перспективен в условиях экономики замкнутого цикла с упором на тенденцию, направленную на повышение экологичности.

**Список использованных источников**

1. Роза ветров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://salesnip.ru/%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%BD-%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B0-%D0%B2%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2-%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82/> (дата обращения: 21.11.2022).
2. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород [Текст]: учебное пособие. И. А. Самофалова, М-во с.-х. РФ, ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». 2009. 132 с.

3. Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М. А. Глазовской). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 4–6 апреля 2012 г., М.: Географический факультет МГУ. 2012. 368 с.
4. Содержание ванадия и цинка в почве // Всё о горном деле. Добывающая промышленность. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://industry-portal24.ru/tyazhelye-metally/4424-soderzhanie-vanadiya-i-cinka-v-pochve.html> (дата обращения: 21.12.2022).
5. Веприкова Е.В., Дубов А.В., Королькова И.В., Чесноков Н.В. Очистка почвы от загрязнения хромом сорбентами из коры сосны // Красноярск: Journal of Siberian Federal University. Chemistry 2. 2014. №. 2. С. 252–263.
6. Кирейчева Л.В., Хохлова О.Б. Изучение эффективности природных сорбентов для иммобилизации мышьяка в почве // Агрехимический вестник. 2009. №. 2. С. 16–18.
7. Рекомендации по учёту органических веществ в глинистых грунтах при проектировании оснований. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200085570?ysclid=lficqqd1gi837648908> (дата обращения: 21.12.2022).



УДК 504.064.2

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ «БАЛТИЙСКИЙ БЕРЕГ» НА СМОЛЯЧКОВ РУЧЕЙ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ

Пузырева Д.И.<sup>1</sup> (студент), Строганова М.С.<sup>2</sup>Научный руководитель – кандидат технических наук, преподаватель Строганова М.С.<sup>2</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

e-mail: 370034@edu.utmo.ru, masha199407@list.ru

В ходе работы проведено исследование природного водотока – Смолячкова ручья, который является приёмником хозяйственно-бытовых сточных вод и инфильтрационного стока с прилегающих территорий. Отобраны и проанализированы пробы воды и донных отложений с целью определения количественного и качественного состава зоопланктонных и зообентосных сообществ. Рассчитаны гидробиологические индексы Вудивисса, Майера, олигохетный индекс Гуднайт-Уотлея, а также индексы Шеннона и сапробности с целью установления класса качества воды в ручье с мая по ноябрь 2021 года.

**Ключевые слова**

Биоиндикация, зоопланктон, зообентос, гидробиологический анализ, индекс Шеннона, индекс сапробности, Олигохетный индекс Гуднайт-Уотлея, индекс Майера, индекс Вудивисса, хозяйственно-бытовые сточные воды.

Ручей Смолячков относится к неизученным водотокам, протекает в Курортном районе Санкт-Петербурга и в Выборгском районе Ленинградской области. Водоток берет начало в болоте в трёх километрах к северо-западу от пос. Приветнинское и впадает в Финский залив. На исследуемом участке ручей становится приёмником хозяйственно-бытовых сточных вод от канализационных очистных сооружений (далее КОС) «Балтийский берег» и инфильтрационного стока с прилегающих территорий детских оздоровительных лагерей.

Низкая информированность о пресноводной фауне малых водотоков затрудняет проведение не только гидробиологической, но и комплексной оценки состояния водного объекта. Для определения уровня накопленного ущерба и класса качества водного объекта необходимо было провести гидрохимический и гидробиологический анализ воды. Последний позволяет оценить ответную реакцию биоты на воздействие различных антропогенных факторов, в том числе залповый сброс или повышенную нагрузку на очистные сооружения на протяжении длительного периода.

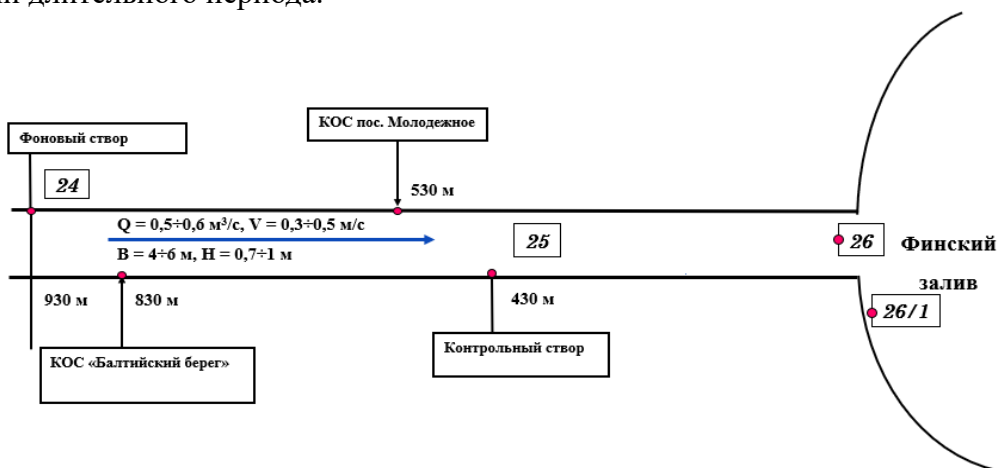


Рис. 1. Линейная схема Смолячкова ручья с нанесением точек отбора проб

На участке ручья протяжённостью 930 м от устья, а также в акватории Финского залива были намечены четыре точки контроля: 24, 25, 26, 26/1 – до сброса, после сброса, в устье ручья, в акватории Финского залива соответственно. Рассмотренный участок ручья представлен на рисунке 1.

Для получения данных в период с мая по ноябрь 2021 года было отобрано и проанализировано более 60 проб воды и донных отложений. Проведён анализ двух групп индикаторных организмов: зоопланктона, обитающего в толще воды и зообентоса, населяющего донные отложения. Организмы зообентоса в виду своей длительной локализации на участках дна используются для мониторинга антропогенных сукцессий и процессов самоочищения водных экосистем [1]. Зоопланктон является наиболее многочисленной группой гидробионтов, участвующих в процессе преобразования органических соединений и биогенных элементов [2].

На основе полученных данных рассчитаны гидробиологические индексы оценки качества водного объекта. Индекс Шеннона и индекс сапробности учитывают видовую структуру зоопланктонных сообществ, а олигохетный индекс Гуднайт-Уотлея, индексы Майера и Вудивисса – зообентосных сообществ [3, 4].

Межсезонная и пространственная динамика значений биотических индексов прослеживается на рисунках 2 и 3.



Рис. 2. Изменение значений зообентосных индексов по сезонам

Наиболее интенсивное изменение олигохетного индекса отмечено в летний период. Повышение загрязнения ежесезонно происходит вниз по течению от фоновой точки 24 к точкам контроля 25 и 26. Значения гидробиологических индексов в точке 24, полученные в летний период 2021 года, свидетельствуют о значительном ухудшении качества воды ещё до КОС, в этом месте периодически образуется заводь – застойная зона.

Как следствие, аналогичная межсезонная динамика характерна и для точки 26 в устье ручья. Летний период характеризуется активизацией хозяйственно-бытовой деятельности на территории детских оздоровительных лагерей и увеличением числа водопользователей, и как следствие, изменение экологической ситуации водотока.

Данные гидрохимического анализа согласуются с полученными результатами гидробиологического мониторинга. Отмечается многократное превышение железа общего, а также превышение установленных нормативов по фосфат- и нитрит ионам в 2–3 раза. Общее ухудшение качества воды наступает в присутствии большого количества органических соединений с биогенными элементами или их производными.

Значения индексов Вудивисса и Майера незначительно изменяются на участке ручья от 24 точки до 26 точки в весенний и летний периоды. По результатам наблюдений за бентосными организмами вода в большинстве точек является «грязной» или «очень грязной» согласно Классификатору качества вод Гидромета [5], за исключением результатов, полученных при расчете олигохетного индекса. Наиболее противоречивым в отношении прочих показателей

является отнесение воды к категории «чистой» в точке 25 после сброса сточных вод. Таксономическая структура и уровень развития зообентоса свидетельствуют о довольно неблагоприятных условиях обитания гидробионтов в исследованном водотоке.



Рис. 3. Изменение значений зоопланктонных индексов по сезонам

Ежесезонной закономерностью для индексов Шеннона и сапробности является снижение численных значений, и как следствие улучшение качества воды вниз по течению ручья в точке 26. Большинство значений в точках анализа соответствуют  $\beta$ -мезосапробному статусу по индексу сапробности и эвтрофному статусу по индексу Шеннона, за исключением двух значений в точках 25 и 26/1 в весенний период.

В ходе проведенных исследований по оценке воздействия хозяйственно-бытовых сточных вод от КОС «Балтийский берег» на Смолячков ручей методом биоиндикации, получено, что данные гидробиологического мониторинга в неполной степени, но согласуются с данными гидрохимического анализа по отдельным компонентам. Многократные превышения предельно допустимых значений концентраций, в особенности ионов железа, фосфат- и нитрит ионов, указывают не только на повышенное природное содержание данных компонентов в почвах, но и на длительную антропогенную нагрузку на ручей от расположенных рядом источников загрязнения. Таким образом, обоснована необходимость проведения сезонной комплексной оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям и гидробиологическим индексам и дополнительной инвентаризации источников загрязнения с целью разработки плана мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки на ручей Смолячков, который впадает в Финский залив.

#### Список использованных источников

1. Губанова Л.В. Использование олигохетных индексов для оценки качества воды реки Ишим в южной части Тюменской области // Современные проблемы науки и образования. №. 2. 2012. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=5644> (дата обращения: 19.03.2023).
2. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод по Европейской России. Т.1. Зоопланктон / под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. – М.: Товарищество научных изданий КМК. 2010. 495 с.
3. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие / СПб: СПб ГТУРП. 2012. 67 с.
4. Кушнеров А.И. Определение качества природных и сточных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям: учебно-методические указания / под ред. И.В. Антонова. – СПб: Любавич. 2021. 114 с.
5. Левич А.П., Булгаков Н.Г. Классификатор качества вод Гидромета // Информационно-аналитическая система Экологический контроль природной среды по данным биологического и физико-химического мониторинга. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ecograde.bio.msu.ru/classification.html> (дата обращения: 19.03.2023).

УДК 504.062

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗООЧИСТКИ НА АНОДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Редько А.С.<sup>1</sup> (студент), Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: 11\_nastya\_11@mail.ru*

---

Показана возможность повышения эффективности систем газоочистки на анодном производстве алюминиевого завода, за счет внедрения наилучших доступных технологий. Рассмотрены две технологии очистки вредных выбросов анодного производства, отвечающие принципам НДТ – технология очистки по схеме «Электрофильтр» + «Мокрый скруббер» и технология «сухой» газоочистки «Реактор» + «Рукавный фильтр», соответствующие НДТ 3, 4 согласно справочнику по наилучшим доступным технологиям ИТС 11-2019 «Производство алюминия». Выполненное технико-экономическое обоснование вышеупомянутых технологий позволяет сделать вывод, что проект НДТ «сухой» газоочистки является рентабельным, способствующим снижению вредных выбросов в атмосферу и может быть рекомендован к внедрению для газоочистных сооружений анодного производства.

### **Ключевые слова**

Газоочистные технологии, анодное производство, наилучшие доступные технологии (НДТ), ESG-повестка, сокращение выбросов, «сухая» газоочистка.

---

Российская Федерация занимает одну из ключевых позиций на мировом рынке производства металлургической продукции, для сохранения которой необходимо учитывать тенденции повышения ресурсной и экологической эффективности [1].

На сегодняшний день в России действуют 12 алюминиевых заводов. Ведущими производителями первичного алюминия являются: Новокузнецкий, Братский, Красноярский, Саяногорский алюминиевые заводы, которые входят в состав объединенной компании «Российский алюминий» [2].

Поскольку производство алюминия сопровождается эмиссиями парниковых газов и других загрязняющих веществ, а также принимая во внимание влияние на другие отрасли промышленности, следует комплексно подходить к вопросу модернизации и дальнейшего развития отрасли.

Так, основой развития алюминиевой промышленности является поиск высокоэффективных технологий, способных обеспечить баланс между экономическими аспектами внедрения технологий и поддержанием конкурентоспособности отрасли за счет повышения эффективности использования ресурсов и охраны окружающей среды. Концепция наилучших доступных технологий (НДТ) – всемирно признанный и целостный инструмент, предназначенный для решения подобных отраслевых задач [3].

Определение НДТ для производства анодов осуществляется путем выбора газоочистного оборудования, обеспечивающего наименьшие удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Рассмотренные в данном исследовании технологии полностью соответствуют требованиям к НДТ для производства анодов, согласно отраслевому информационно-технологическому справочнику ИТС 11–2016 «Производство алюминия» [4].

### **Наилучшие доступные технологии – универсальный инструмент экологической модернизации производства**

В связи со значительным влиянием предприятий цветной металлургии на состояние природной окружающей среды, в условиях динамично развивающегося промышленного

---

производства одной из главных задач является защита окружающей среды от загрязнения.

Объектом исследования является анодное производство алюминиевого завода, как один из ключевых элементов в технологии электролитического производства алюминия и значительный источник вредных выбросов в атмосферный воздух.

Предмет исследования – наилучшие доступные технологии (НДТ), направленные на снижение негативного воздействия анодного производства на атмосферный воздух.

НДТ – современный инструмент, интегрированный в систему государственного регулирования устойчивого развития, который используется для разработки и внедрения мер стимулирования ответственных предприятий-инвесторов, зеленых проектов, природоохранных требований.

На сегодняшний день значительная часть ESG-инфраструктуры в РФ представлена разработанной системой НДТ [5]. Для определения проекта как перспективного, отвечающего природоохранным требованиям, необходимым минимумом считается его соответствие наилучшим доступным технологиям, как они установлены показателями в ИТС НДТ.

Наша страна – это один из мировых лидеров в производстве алюминия. Крупные алюминиевые компании развиваются и активно работают по направлениям минимизации негативного воздействия на окружающую среду и реализации ESG-повестки. Экологическое, социальное и корпоративное управление (англ. Environmental, Social, and Corporate Governance), или кратко ESG – три основы современного бизнеса в любой передовой стране мира. Реализация указанных принципов несёт существенный вклад в сохранение окружающей среды для будущих поколений, совершенствование корпоративного управления и социальной ответственности крупного бизнеса.

Пересмотр подходов к используемым технологиям, вклад в проекты снижения энерго- и водопотребления, сбережения ресурсов, минимизации негативного воздействия на окружающую среду, может приносить, в том числе, и прямые материальные выгоды.

Согласно статье 17 Федерального закона № 7-ФЗ [6] компании, участвующие в реализации НДТ, имеют право на государственную поддержку в виде налоговых льгот либо освобождения от налогов, льгот по плате за НВОС, финансирования из федерального бюджета и бюджетов субъектов РФ.

Кроме того, дополнительные преимущества можно получить при включении проектной разработки по внедрению НДТ в один из федеральных проектов в рамках национального проекта «Экология» в соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [7].

Динамичным ростом характеризуется и сегмент «зеленых» облигаций, емкость мирового рынка «зеленых» облигаций сейчас оценивается почти в 1 трлн долларов. «Зеленые» облигации – это инновационный финансовый инструмент, направленный на стимулирование инвестиций в «зеленые» проекты, связанные с сохранением и улучшением экологической среды, в частности, в сферах возобновляемой энергетики, энергоэффективности, устойчивой утилизации отходов, применения НДТ.

По сравнению с обычными облигациями преимущество «зеленых» облигаций заключается в более низкой стоимости привлечения инвестиций, так как проценты по ним всегда ниже.

Исходя из вышеизложенного становится видно, что внедрение наилучших доступных технологий служит важной частью экологической и экономической политики страны и активно поддерживается правительством.

#### **Краткое описание предлагаемых НДТ**

При разработке проекта были рассмотрены две технологии очистки вредных выбросов анодного производства предприятия, отвечающие принципам НДТ – технология очистки по схеме «Электрофильтр» + «Мокрый скруббер» (НДТ1) и технология «сухой» газоочистки («Реактор» + «Рукавный фильтр») (НДТ2).

1. В качестве НДТ1 рассматривается технология очистки выбросов 3В анодного производства – «Электрофильтр» + «Мокрый скруббер», соответствующая НДТ 3, 4 согласно справочнику по НДТ ИТС 11–2019 «Производство алюминия» [4].

Технологический процесс состоит из следующих этапов:

- 1) улавливание отходящих газов с участка производства анодной массы и анодов;
  - 2) электроочистка, для которой используется сухой электрофильтр УГТ1–40–3, производитель – ООО «Финго-Комплекс», г. Ярославль;
  - 3) вытяжной вентилятор (ВР 140–40 №8, производитель – ООО «Производственная компания «ФАКЕЛ», г. Самара), который предотвращает утечку неочищенных дымовых газов в окружающую среду и его диффузного распространения.
  - 4) неочищенный газ через воздухопровод заходит внутрь корпуса скруббера «Самум» – мокрый пылеуловитель (скруббер), производитель – ООО «Производственная компания «ФАКЕЛ», г. Самара, где производится очистка водой.
2. Для реализации технологии НДТ2 на анодном производстве предлагается установка системы «сухой» газоочистки по схеме «Реактор» + «Рукавный фильтр», соответствующая НДТ 3, 4 согласно справочнику по НДТ ИТС 11–2019 «Производство алюминия» [4].

Технологический процесс состоит из следующих этапов:

- 1) улавливание отходящих газов с участка производства анодной массы и анодов;
- 2) вытяжной вентилятор (ВР 140–40 №8, производитель – ООО «Производственная компания «ФАКЕЛ», г. Самара) предотвращает утечку неочищенных дымовых газов в окружающую среду и его диффузного распространения;
- 3) реактор-адсорбер (производитель – ООО «Производственная компания «ФАКЕЛ», г. Самара). В этой системе очищаемый газ вступает в контакт с глиноземом, пропуская восходящий поток газа через расширяющийся слой глинозема. Для улавливания частиц глинозема, переносимых газовым потоком, используется рукавный фильтр.
- 4) «налипание» вредных веществ, адсорбированных глиноземом на рукавных фильтрах (фильтр рукавный с импульсной продувкой и бункером-накопителем серии УВП-СЦ-4-ФРИ-34-15-БК, производитель – ООО «Производственная компания «ФАКЕЛ», г. Самара). Часть глинозема, задержанного в рукавном фильтре, направляется из бункера рукавного фильтра в реактор рециркуляции по системе воздушных желобов, а остальная часть сбрасывается в бункер фторированного глинозема, откуда в качестве сырья направляется в электролизеры.

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика экономических показателей рассматриваемых систем газоочистки, где НДТ2 – «Сухая» газоочистка («Реактор» + «Рукавный фильтр») характеризуется наименьшим периодом окупаемости и большей чистой годовой экономией при меньших инвестиционных затратах.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика экономических показателей рассматриваемых систем газоочистки**

Показатель	Ед. измерения	«Электрофильтр» + «Мокрый скруббер»	«Реактор» + «Рукавный фильтр»
Общие инвестиции ( $I_0$ )	тыс. руб.	7641,5	4929,8
Чистая годовая экономия ( $B$ )	тыс. руб.	634,3	7243,8
Простой период окупаемости ( $PB$ )	год	12	0,7

**Результаты исследования**

Согласно проведенной технико-экономической оценке, при внедрении НДТ1 «Электрофильтр» + «Мокрый скруббер», положительный экологический эффект связан с

сокращением количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от первоначальной массы выбросов, с учетом эффективности очистки – 96%, по следующим загрязняющим веществам: пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20%, диоксид серы, смолистые вещества (возгоны пека), бензапирен (табл. 2).

Таблица 2

**Количественная и стоимостная оценка экологических сбережений НДТ1**

Наименование проекта	Вид воздействия	Характеристика воздействия, т/год	Процент сокращения, %	Экономия, тыс. руб./год
Установка системы газоочистки «Электрофильтр +скруббер»	Сокращение количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, всего	5403,6	96	11253,39
	в т.ч.: Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20%	2721,6		
	Смолистые вещества (возгоны пека)	1371,4		
	Бенз(а)пирен	0,0009		
	Диоксид серы	1310,7		

При внедрении НДТ2 «Сухая» газоочистка («Реактор» + «Рукавный фильтр»), положительный экологический эффект связан с сокращением количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от первоначальной массы выбросов, с учетом эффективности очистки – 99,8%, по следующим загрязняющим веществам: пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20%, диоксид серы, смолистые вещества (возгоны пека), бензапирен, фториды газообразные (табл. 3).

Таблица 3

**Количественная и стоимостная оценка экологических сбережений НДТ2**

Наименование проекта	Вид воздействия	Характеристика воздействия, т/год	Процент сокращения, %	Экономия, тыс. руб./год
Установка системы газоочистки «Реактор+рукавный фильтр»	Сокращение количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, всего	5732,2	99,8	11412,94
	в т.ч.: Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20%	2829,3		
	Смолистые вещества (возгоны пека)	1425,6		
	Бенз(а)пирен	0,0009		
	Диоксид серы	1362,6		
	Фториды газообразные	114,7		

Таким образом, в качестве лучшего решения была выбрана технология «сухой» газоочистки («Реактор» + «Рукавный фильтр») соответствующая НДТ 3, 4 согласно справочнику по НДТ ИТС 11–2019 «Производство алюминия» [4].

В таблице 4 приведены основные показатели рентабельности, исходя из которых, проект НДТ2 – «Сухая» газоочистка («Реактор» + «Рукавный фильтр») для анодного производства является рентабельным и рекомендуется к внедрению.

Таблица 4

**Показатели рентабельности проекта НДТ2**

Наименование	Обозначение	Ед. измерения	Величина
Общие инвестиции	$I_0$	тыс. руб.	4930
Чистая экономия	$B$	тыс. руб./год	7243,8
Период окупаемости	$PB$	год	0,7
Динамический период окупаемости	$DPB$	год	0,6
Чистый дисконтированный доход	$NPV$	тыс. руб.	19968,7
Индекс доходности	$PI$	-	4,05
Внутренняя норма рентабельности	$IRR$	%	32

Для анализа сильных и слабых сторон внедрения описываемой технологии НДТ2 на предприятии, его благоприятных возможностей и угроз проведен анализ рисков по предлагаемому проекту внедрения НДТ2 – «Сухая» газоочистка («Реактор» + «Рукавный фильтр») и представлен в виде SWOT-анализа (табл. 5).

Таблица 5

**SWOT-анализ**

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> <li>– обеспеченность необходимыми производственными площадями;</li> <li>– непрерывность работы оборудования;</li> <li>– небольшое количество необходимого персонала;</li> <li>– сокращение негативного воздействия на атмосферный воздух;</li> <li>– сокращение платы за НВОС;</li> <li>– отсутствие штрафных санкций за превышение нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;</li> <li>– быстрая окупаемость проекта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– дополнительный объект контроля и мониторинга на предприятии;</li> <li>– коррозионный износ оборудования;</li> <li>– недостаток аналитической информации о состоянии и перспективах рынка;</li> <li>– отсутствие крупных производственных кластеров</li> </ul>
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> <li>– продвижение «зеленого» имиджа предприятия;</li> <li>– льготное кредитование;</li> <li>– получение государственной поддержки;</li> <li>– повышение конкурентоспособности предприятия вследствие технологической модернизации в рамках перехода на принципы НДТ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– срывы поставок оборудования;</li> <li>– сложности с финансированием на фоне экономической нестабильности;</li> <li>– недобросовестные поставщики (оборудование не соответствует заявленным характеристикам)</li> </ul>

В качестве мероприятий по снижению рисков предлагается ведение на предприятиях производства алюминия системы планирования, позволяющей учесть все необходимые мероприятия для дальнейшего обслуживания нового оборудования, а также установить тщательный контроль и проверку поставщиков на всех этапах внедрения. Таким образом, оперативное руководство и стратегическое планирование позволят избежать возникающих угроз и использовать все имеющиеся возможности.

Были рассмотрены две технологии очистки вредных выбросов анодного производства предприятия, отвечающие принципам НДТ – технология очистки по схеме «Электрофильтр» + «Мокрый скруббер» и технология «сухой» газоочистки («Реактор» + «Рукавный фильтр»), однако, на основе проведенного технико-экономического обоснования в качестве лучшего решения была выбрана технология «сухой» газоочистки («Реактор» + «Рукавный фильтр») соответствующая НДТ 3, 4 согласно справочнику по НДТ ИТС 11-2019 «Производство алюминия».



По проведенным в ходе работы расчетам сделан обоснованный вывод, что проект НДТ «сухой» газоочистки («Реактор» + «Рукавный фильтр») является рентабельным и может быть рекомендован к внедрению на анодном производстве.

Применение данной наилучшей доступной технологии на предприятии позволит использовать новое технологическое оборудование при финансовой поддержке государства, оптимизировать деятельность предприятия за счет перехода к выполнимым требованиям и нормативным показателям, которые установлены регулируемыми органами, значительно сократить негативное воздействие на окружающую среду и получить внушительные экономические выгоды.

#### Список использованных источников

1. Рахманов М.Л., Курошев И.С., Курчакова А.С. Показатели ресурсной и энергетической эффективности в информационнотехнических справочниках по наилучшим доступным технологиям в области черной металлургии // Стандарты и качество. 2021. №. 10. С. 88–101.
2. Бородкина В.В., Рыжкова О.В., Улас Ю.В. Перспективы развития алюминиевого производства в России // Фундаментальные исследования. 2018. №. 12–1. С. 35–48.
3. Волосатова А.А., Пятница А.А., Гусева Т.В. Наилучшие доступные технологии как универсальный инструмент совершенствования государственных политик // Экономика устойчивого развития. 2021. №. 4(48). С. 150–162.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 11–2019. Производство алюминия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=616&etkstructure\\_id=1872/](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=616&etkstructure_id=1872/) (дата обращения: 07.12.2022).
5. Второй конгресс ответственного бизнеса ESG–(P)Эволюция, РБК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energiavita.ru/2022/10/27/merkoj-kachestva-zelenyh-proektov-v-rossii-dolzhno-stat-sootvetstvie-ndt/> (дата обращения: 18.12.2022).
6. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/) (дата обращения: 18.12.2022).
7. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. No 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027/> (дата обращения: 25.12.2022).

УДК 658.567.1

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В ПОЛИОЛЫ

*Рыженкова А.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: ryzhik129@yandex.ru*

---

В данной работе рассмотрен процесс получения и образования отходов полиэтилентерефталата на производстве ПЭТ гранул, а также их переработка с получением нового продукта – полиолов. Приведен материальный баланс процесса и проведен эколого-экономический анализ.

### **Ключевые слова**

Полиэтилентерефталат, полиолы, отходы производства, переработка пластика, химический рециклинг.

---

На любом промышленном предприятии необратимо образуются отходы различного происхождения. Помимо твердых-бытовых отходов, которые так или иначе появляются в процессе жизнедеятельности, в промышленном масштабе образуются специфические для конкретного производства отходы. Не составляет исключение и производство пластика, в частности получение гранул полиэтилентерефталата.

На данный момент в России производится 642 тыс. т. ПЭТ гранул в год. При таком объеме образуется 15,8 тыс. т. отходов ежегодно. Существует несколько видов утилизации отходов данного типа: механический рециклинг, термический рециклинг и химический рециклинг. Наиболее распространен механический рециклинг, он позволяет получать вторичные гранулы. Однако, таким способом возможно переработать только бракованную продукцию, не учитывая предыдущие стадии производства. Крупным недостатком термического рециклинга является образование токсичных отходов.

Химический способ переработки наиболее дорогостоящ и сложен, однако, многие компании заинтересованы в нем. С помощью такой утилизации можно получать новые продукты, которые можно пустить обратно в процесс производства или выгодно продать.

В России 4 крупных производителя ПЭТ гранул. В качестве примера была выбрана АО «СИБУР-ПЭТФ». Основным продуктом производственной деятельности является производство ПЭТ под маркой «ТВЕРПЭТ». На предприятии действуют современные технологические установки по производству полиэтилентерефталата мощностью до 75,250 тыс. тонн в год. Количество отходов предприятия соответственно 1838 т в год. В компании действует система экологического менеджмента, являющаяся частью Интегрированной системы менеджмента [1].

На рисунке 1 представлена блок-схема производства ПЭТ гранул и обозначены стадии образования различных производственных отходов.

Олигомеры ПЭТ – тестообразная масса низкомолекулярного полимера, пропитанная частицами непрореагировавшей терефталевой кислоты и гликолем. Обнаруживается при чистках фильтров насосов и сеток барометрических емкостей.

Слитки ПЭТ представляют собой застывшие куски расплава. Этот тип отходов образуется при остановках грануляторов, а также при переходах с одного на другой. Их вес может достигать 10–30 кг. Пыль полимера собирается на стадии твердофазной поликонденсации с циклонов и фильтров [2].

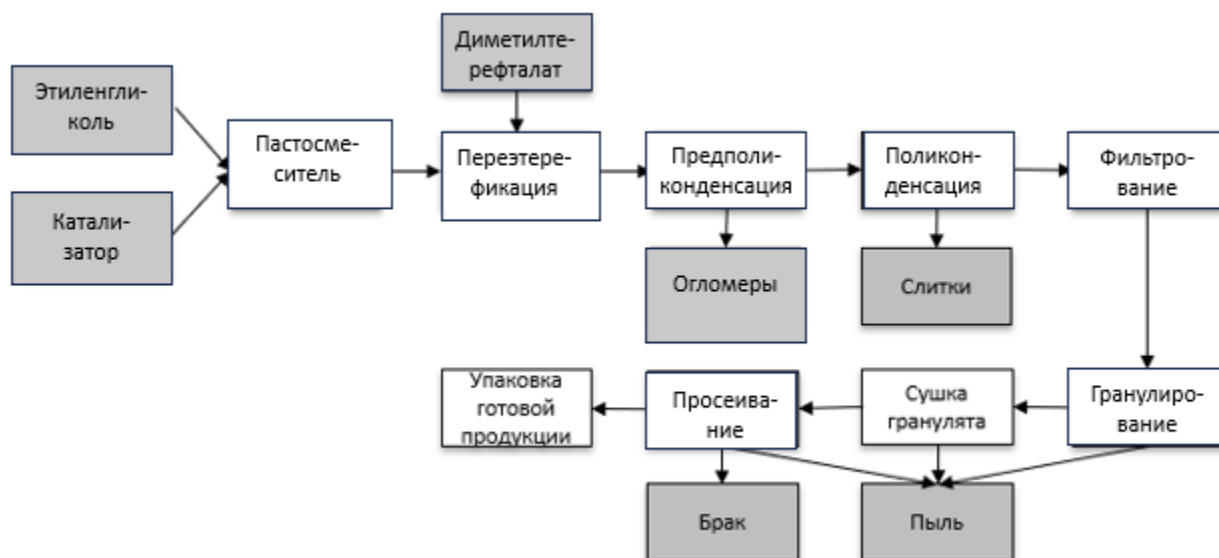


Рис. 1. Схема производства ПЭТ гранул

Полиолы – высокомолекулярные спирты или полиспирты, состоящие из макромолекул, которые ложатся в основу производства различных полимеров. Преимуществом полиолов, полученных из ПЭТ отходов является пониженная горючесть за счет содержания ароматических групп [3]. Такое сырье получило распространение в строительной промышленности, где из него изготавливают жесткие пеноблоки, изоляционные плиты, лакокрасочные материалы, клеи, эластомеры и т.д. [4].

Основные стадии процесса изображены на блок-схеме (рис. 2). Наглядно представлено еще одно преимущество данного метода – получение моноэтиленгликоля, который на данный момент поставляют из-за рубежа, в качестве побочного продукта.

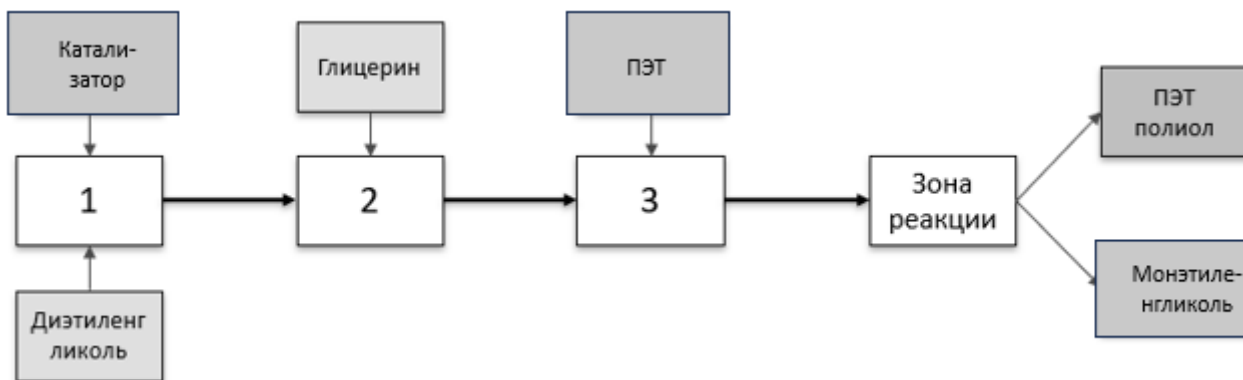


Рис. 2. Схема производства полиолов

Материальный баланс процесса представлен в таблице 1.

Таблица 1

Материальный баланс процесса			
Сырье	% масс / тонн	Продукты переработки	% масс / тонн
Диэтиленгликоль (DEG), 1-я добавка	26,83% / 548,13	ПЭТ полиол	86,55% / 1 768,17
Дилаурат дибутилолова (DBTL)	0,00181% / 0,037	Моноэтиленгликоль (MEG)	12,19% / 249,12
Глицерин	2,02% / 41,26	Потери	1,25% / 25,58
Отходы ПЭТ	48,95% / 1 000,00		
Диэтиленгликоль (DEG), 2-я добавка	22,20% / 453,44		
Итого	100,00% / 2 042,87	Итого	100,00% / 2 042,86

Источником сырья для производства новой продукции являются отходы производства ПЭТ – олигомеры, слитки, пыль. Также необходима закупка стороннего сырья – этиленгликоль, катализатор, глицерин. Общая стоимость – 60 руб. за 1 кг отходов.

Основой инвестиционных затрат является стоимость оборудования для получения полиолов. Общий список представлен в таблице 2.

Таблица 2

**Структура инвестиционных затрат**

№ п/п	Наименование статьи затрат	Стоимость, млн. руб.
1	Приобретение оборудования	100
2	Разработка проекта	10
3	Монтажные и пусконаладочные работы	10
4	Транспортно-заготовительные расходы	5
5	Обучение	4
6	Прочие расходы	2
	ИТОГО: I <sub>0</sub>	131

Эксплуатация системы автоматического регулирования процесса потребует дополнительных затрат на потребление электрической энергии. Примем их равными 100000 руб. в год.

Необходимо постоянно пополнять сырьевые запасы. Стоимость сырья 60 руб. килограмм. Следовательно, при расходе 1800 т за один год, общая стоимость сырья – 108 млн. руб. в год.

Кроме того, для обслуживания установки необходимо 2–3 рабочих с посменным графиком 2/2 по 12 часов. Средняя заработная плата – 25000 руб. в месяц.

Структура инвестиционных затрат приведена в таблице 3.

Таблица 3

**Структура эксплуатационных затрат (на годовой выпуск)**

№ п/п	Наименование статьи затрат	Единица измерения	Цена за ед., руб.	Стоимость, млн. руб.
1	Электроэнергия	кВт-ч/год	4,8	0,1
2	Сырье	млн. руб.	60	108
5	Техническое обслуживание и ремонт	млн. руб.	5–10% от стоимости оборудования	5
6	Оплата труда	млн. руб.	50000	1,2
	ИТОГО:			114,3

Суммарные эксплуатационные расходы составят 186 млн. руб. в год. Стоимость полиолов на рынке варьируется от 140 до 250 руб. за 1 кг. При переработке 1838 т отходов получается 3404 т полиолов. Годовой доход при цене 210 руб. за килограмм – 510,6 млн. руб. в год.

Экологическая оценка проводится в сравнении со способом захоронения отходов на полигоне. Плата за размещение данного количества отходов составляет 40 тыс. руб. в год. Плата за транспортировку от 6730 тыс. руб. в год. Соответственно, сумма годовой экономии составит 6770 тыс. руб. в год. С учетом эксплуатационных затрат сумма чистой годовой экономии составит 331,1 млн. руб. Период окупаемости составит пять месяцев. Итоговые данные представлены в таблице 4.

Предлагаемый метод решает полностью проблему отходов ПЭТ на производстве и закрывает потребность компании в новом продукте за короткие сроки. Предложенные расчеты наглядно демонстрируют что проект быстро окупается. Активную продажу продукта гарантируют известность и доверие к компании, а также постоянная потребность полиолов в строительной сфере.

Таблица 4

<b>Рентабельность</b>			
<b>Наименование</b>	<b>Обозначение</b>	<b>Ед. измерения</b>	<b>Величина</b>
Общие инвестиции	$I_0$	млн руб.	131
Чистая экономия	$B$	млн руб./год	331
Период окупаемости	$PB$	год	0,39
Динамический период окупаемости	$DPB$	год	0,42
Чистый дисконтированный доход	$NPV$	млн руб.	946
Индекс доходности	$PI$	-	7,22
Внутренняя норма рентабельности	$IRR$	%	32

**Список использованных источников**

1. ПАО «СИБУР Холдинг» Единый отчет за 2020 год. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/cyber/cyber-kill-chain.html> (дата обращения: 01.02.2021).
2. Производство ароматических полиэфирных полиолов на основе отходов полиэтилентерефталата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://view.publitas.com/home-31/17-\\_\\_proizvodstvo\\_poliolov\\_agadetskiy\\_-\\_copy-pdf/page/1](https://view.publitas.com/home-31/17-__proizvodstvo_poliolov_agadetskiy_-_copy-pdf/page/1) (дата обращения: 20.12.2022).
3. Экологическое производство химического сырья. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.products.pcc.eu/ru/экологическое-производство-химическ/#:~:text=Полиолы%2C%20изготовленные%20на%20основе%20переработанного,материалов%20\(OCF\)%2C%20эластомеров%20и%20клеев](https://www.products.pcc.eu/ru/экологическое-производство-химическ/#:~:text=Полиолы%2C%20изготовленные%20на%20основе%20переработанного,материалов%20(OCF)%2C%20эластомеров%20и%20клеев) (дата обращения: 10.12.2022).
4. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы, СПб, НОТ. 2009. 660 с.

UDK 502.36

**TECHNO-ECONOMIC COMPARISON OF OPTIONS FOR BIOGAS UPGRADING  
FROM BIOGAS PLANTS**

*Riabkova I.I.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – PhD Sergienko O.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ITMO University*

*e-mail: irene.riabkova@gmail.com*

---

Biogas, as a source of renewable energy, can play a crucial role in achieving sustainable development of the world. Biogas contains mostly methane (55-65%) and carbon dioxide (30-40%), and some impurities, such as water vapor, hydrogen sulphide, oxygen, nitrogen, ammonia and siloxanes. Removal of those contaminants is important because they degrade the quality of biogas, especially carbon dioxide. Biogas upgrade is needed to meet standards for pipeline injection and vehicle fuel markets. Biogas upgrading into biomethane and its utilization could help in decarbonizing the transport sector. Similarly, the injection of biomethane into the gas grid might enhance energy security, reduce fossil energy consumption, and contribute to economic development.

**Keywords**

Biogas, biomethane, biogas upgrading technology, pressure swing adsorption, physical scrubbing, chemical scrubbing, membrane separation, cryogenic separation.

---

Vast majority of energy in the world came from fossil sources [1]. Still the renewable energy sources are on a percentage basis. To the contrast of fossil fuels, it is not so easy to produce high amounts of renewable energy fuels with proper quality. There should be implement systems that allow to produce high quality renewable energy fuels fairly quickly and in large quantities. Production of biogas, which is a mixture of methane and carbon dioxide, could be a solution for transferring a world to renewable energy. Biogas is also interesting because it helps to reduce uncontrollable emissions and improve waste treatment. Biogas plant could work on different sources of biomass, such as organic fraction of municipal solid waste, sewage sludge, agro-industry waste. Usage of biogas upgraded to biomethane could be one of many solutions for transferring a world to renewable energy. Received biomethane could be used as a transport fuel or injected directly into the natural gas pipeline.

The present study aims at presenting a review of biogas upgrading technologies, taking into account and comparing relevant upgrading methods by presenting their advantages and shortcomings. Each technology is described in detail, including a technical walk-through, a description of different conditions influencing energy consumption, methane loss, investment costs, etc. The report focuses on the upgrading technologies which are commonly used today, i.e. pressure swing adsorption (PSA), chemical scrubbing, physical scrubbing, membrane and cryogenic separation. The aim is to evaluate biogas upgrading technology, place themselves in the right context and identify optimization possibilities.

As each biogas project is unique, it can be a challenge to determine the best gas upgrading technology for the given situation. Digester biogas can have varying levels of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and elevated hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) to address. Landfill gas and gas from covered lagoon digesters can have elevated nitrogen (N<sub>2</sub>) and oxygen (O<sub>2</sub>) levels and landfills and municipal wastewater treatment plant (WWTP) digesters have siloxanes that need to be handled.

According to the information published by IEA Bioenergy Task 37 in 2021 China is the world leader in biogas production with more than 100000 biogas plants through the members countries [2]. The second place goes to Germany with 10971 biogas plants [3, 4]. There also should be mentioned Italy that is not member of IEA Bioenergy Task 37 but this country has the second place through the EU countries with 1665 biogas plants according to European Biogas Association [5].

---

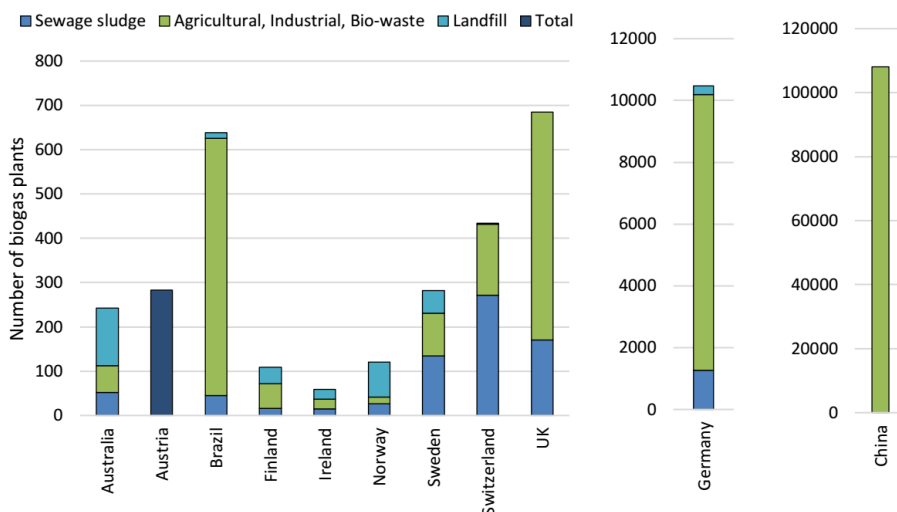


Fig. 1. Number of biogas plants in operation in selected IEA Bioenergy Task 37 member countries

According to IEA Bioenergy Task 37 there are 606 biogas upgrading units today. Although this is the most updated available list, information about some units may be missing. The number of manufacturer of biogas upgrading plants is increasing every year and it is shows by statistical reports [6]. The upgrading unit to make biomethane from biogas could be different. It could be divided in two main areas – sorption and separation. The gas absorption is divided into two categories – physical (water and organic) and chemical scrubbing [7]. The absorption method is presented by pressure swing absorption. The term separation is applied to membrane and cryogenic separation. The most widely used technologies for biogas upgrading are physical scrubbing (first place and as 2019, 181 units were operated), membrane separation (second place and as 2019, 173 plants were operated), chemical scrubbing (third place and as 2019, 103 units were operated) and pressure swing adsorption (fourth place and as 2019, 81 units were operated) [6].

Physical absorption methods are presented by water and organic scrubbing. The principle of work are similar, but they have different working solutions: water and polyethylene glycol. The principal behind the physical absorption technique is that carbon dioxide is more soluble than methane. The liquid leaving the column will thus contain increased concentration of carbon dioxide, while the gas leaving the column will have an increased concentration of methane (96-98 %) [8]. Chemical scrubbing working principle base on principle that  $\text{CO}_2$  is more reactive that  $\text{CH}_4$ . Raw biogas is coming through a counter flow of a chemical solution in a column. Reaction rate between  $\text{CO}_2$  chemical solution is proportional to the temperature. Liquid absorbs  $\text{CO}_2$  leaving biogas with high content of  $\text{CH}_4$  (99 %) [9]. Pressure swing adsorption (PSA) works thanks  $\text{CO}_2$  is adsorbed on a surface of adsorbent by Van der Waals force. Pressure increase quantity of adsorbed  $\text{CO}_2$ . Methane content in upgraded gas is about 96-98 % [10]. By the membrane separation the gas is separated by means of an imposed pressure difference over the membrane.  $\text{CO}_2$  pass easier and quicker through a membrane than methane. Usually membranes are in the form of hollow fibers bundled together. Methane content in upgraded gas is about 99 % [10]. Cryogenic upgrading makes use of the distinct boiling/sublimation points of the different gases particularly for the separation of carbon dioxide and methane. The raw biogas is cooled down to the temperatures where the carbon dioxide in the gas condenses or sublimates and can be separated as a liquid or a solid fraction, while methane accumulates in the gas phase. Water and siloxanes are also removed during cooling of the gas [8].

The characteristics of each method are summarized in Table. Pre-treatment of  $\text{H}_2\text{S}$  is needed to eliminate pipe corrosion. Should be mentioned that pre-treatment is needed for all technologies when  $\text{H}_2\text{S}$  higher than 500 Parts per million. Removal of  $\text{N}_2$  and  $\text{O}_2$  is needed for landfill gas upgrading. PSA is the only one technology, that could do it without additional nitrogen removal unit, so it will be hybrid technology. Those kind of technologies are presented in the world, but not widely used by 2019 on a hybrid and other technologies 42 units were operated [7]. Also  $\text{N}_2$  and  $\text{O}_2$  is crucial for chemical scrubbing and is not used in landfill gas upgrading. Methane loss for all technologies is less than 5%.

Methane content in upgraded gas for all technologies is higher than 95%. Electricity consumption, heat requirements and working pressure are parameters that influence on operational costs. The more high parameter – the higher operational costs. Also it is important to remember that the choice of best technology should be based on parameters at the plant that are unique at each case. Must be noted such parameters as the availability of water resources, heating and electricity, and surely their price. There is often a possibility to lower the loss of methane in produced biomethane, but at the end it is always need for upgrading system a higher energy consumption.

Table

**Comparison between selected parameters for common upgrading processes**

Parameter	PSA	Water scrubbing	Organic physical scrubbing	Chemical scrubbing	Membranes	Cryogenic separation
Pre-cleaning of H <sub>2</sub> S needed	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
Removal of O <sub>2</sub> and N <sub>2</sub>	Yes	No	No	No	No	No
Methane loss	< 4 %	< 3 %	< 4 %	< 1 %	< 0,2 %	< 0,5 %
Methane content in upgraded gas	> 96 %	> 97 %	> 96 %	> 99 %	> 99,5 %	> 99 %
Electricity consumption (kWh/m <sup>3</sup> )	0,25	< 0,25	0,24-0,33	< 0,15	0,34	< 0,25
Heat requirement (°C)	No	No	55-80	160	20-40	No
Working pressure (bar)	4-7	4-7	4-7	No pressure	12-16	No pressure

The production costs of biomethane vary significantly according to the size of the plant and not from upgrading technology (fig. 2). Today, there are commercially available plants with variety capacities – < 250 m<sup>3</sup>/h to > 2000 m<sup>3</sup>/h. In this comparison, small biogas plants with a capacity of 50 to 200 m<sup>3</sup>/h produce biogas with more cost – ~9 €-cent/kWh (7 rub/kWh) in 2020 versus biogas plants with a 200 to 500 m<sup>3</sup>/h capacity (~7 €-cent/kWh (5 rub/kWh) in 2020) and integrated multifeedstock plants with a capacity of 500 to 1000 m<sup>3</sup>/h (~6 €-cent/kWh (4,5 rub/kWh) in 2020). The biggest part of the costs comes from building the biogas plant itself (62% to 64%). Another major cost component is the biogas processing to CH<sub>4</sub> (25% to 27%, other score – 41 %). These costs are expected to decrease to 5-6 €-cent/kWh (4-4,5 rub/kWh) by 2050 thanks to further developments of upgrading units [11, 12].

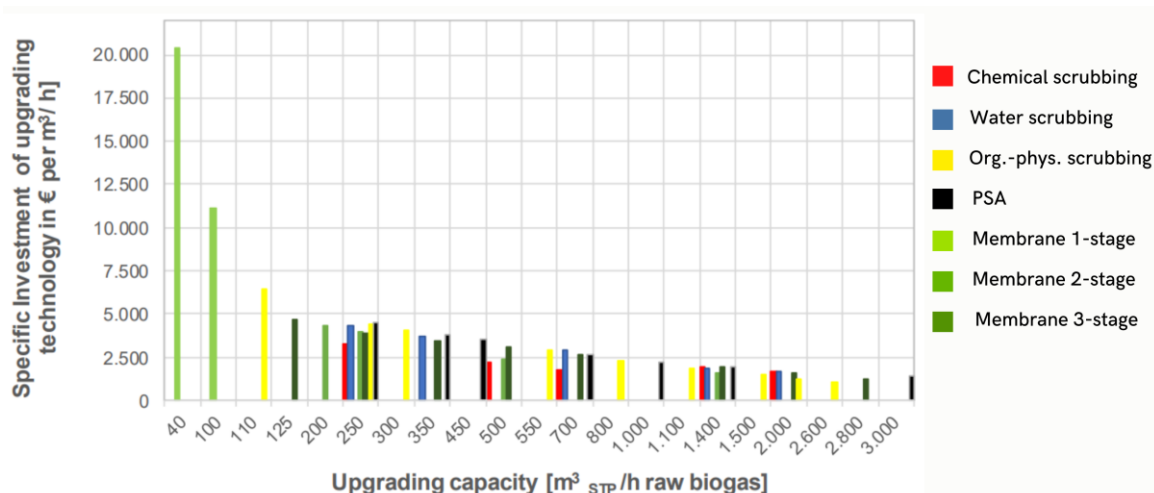


Fig. 2. Specific investment into upgrading technology per m<sup>3</sup>/h raw biogas depend on the capacity and kind of technology



After analyzing the all collected results, several conclusions were made. First of all, the choose of upgrading system should be based on raw materials, that are used to produce biogas, so it will be possible to understand which impurities it contains and which one of upgrading methods will work better on this biogas plant. The second is that small biogas plants produce more costly biomethane in comparison to biogas plants with high capacity which can be tied with the cost of building a biogas plant. All presented upgrading technologies have their advantages and disadvantages that could be showed in different situations but they should be compared in each case to get the most satisfied results. For biogas produced from municipal solid waste and sewage sludge the chemical scrubbing is the most suitable technology because it can handle VOCs, siloxanes and H<sub>2</sub>S. Membrane separation is good when it is needed to have biomethane of extremely high quality very quickly. PSA is the only gas upgrading technology that can separate oxygen and nitrogen from methane, so this technology is also good for biogas produced from municipal solid waste. Physical scrubbing is a proven technology with years of run time in full-scale applications and modest operating costs. Each upgrading system is capable to meet the standards of pipeline gas. It means that the needs of each case should be analyzed to make a long-term success upgrade project.

## References

1. Dyl K. Annual energy outlook 2018 with projections to 2050 // Annual Energy Outlook. 2018. №. 44.8. Pp. 1–64.
2. IEA Bioenergy Task 37. «Country reports». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html> (дата обращения: 21.12.2022).
3. DESTATIS. «Gigawattstunden Strom aus Klärgas im Jahr 2019 erzeugt». [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20\\_310\\_433.htm](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20_310_433.htm) (дата обращения: 21.01.2023).
4. IEA Bioenergy Task 37. «Germany Country Report». [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/12/Germany\\_Country\\_Report\\_05\\_2022.pdf](https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/12/Germany_Country_Report_05_2022.pdf) (дата обращения: 21.01.2023).
5. EBA 2018 Statistical Report of the European Biogas Association 2018 // Brussels, Belgium, December. 2018. Pp. 3–5.
6. IEA Bioenergy Task 37. «Plant lists». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://task37.ieabioenergy.com/plant-lists/> (дата обращения: 21.12.2022).
7. Kapoor R., Ghosh P., Kumar M. et al. Evaluation of biogas upgrading technologies and future perspectives: a review // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. №. 12. Pp. 11631–11661.
8. Iglesias R., Muñoz R., Polanco M. et al. Biogas from Anaerobic Digestion as an Energy Vector: Current Upgrading Development // Energies. 2021. Vol. 14. №. 10. Pp. 2741–2742.
9. Reddikh I. Quotation Biogas-to-methane upgrading plant 900 m<sup>3</sup> biogas per hour // Zorg Biogas. 2022. Vol. 1. №. 1. Pp. 1–14.
10. Eyl-Mazzega M.-A., Mathieu C. Biogas and Biomethane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy // Études de l’Ifri. 2019. Vol. 1. №. 1. Pp. 46–47.
11. Rosenfeld D.C., Lindorfer J., Böhm H., Zauner A., Fazeni-Fraisl K. Potentials and Costs of various Renewable Gases: A Case Study for the Austrian Energy System by 2050 // Detritus Volume. 2021. Vol. 16. №. 1. Pp. 106–120.

UDK 504.06

## APPLICATION OF PYROLYSIS TECHNOLOGIES FOR RECYCLING SOLID MUNICIPAL WASTE IN MEGACITIES

*Samoylova A.S.<sup>1</sup> (student), Mesropyan E.R.<sup>1</sup> (student), Nikitina E.V.<sup>1</sup> (student,) Sergienko O.I.<sup>1</sup>, Rakhmanov Y.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ITMO University*

---

When determining whether the pyrolysis process can be applied to waste management and waste treatment, it is crucial to consider its foundations, most recent advances, various conditions of the process, and its leftovers. Particularly, the many forms of residue and how they may be utilized further or treated are quite interesting since they might be employed as a source of secondary raw materials or as a way to generate energy during the processing of trash. The research of the relationship between the pyrolysis circumstances, the chemical and mineralogical makeup of their products, and the advantages of pyrolysis in the waste management industry is the primary area of focus of this paper.

### **Keywords**

Pyrolysis, household waste, MSW, alternative energy, paper, plastics.

---

Human activities generate waste, and the methods of handling, storage, collection and disposal of this waste can pose risks to the environment and public health. In urban areas, especially in rapidly urbanizing developing countries, the issue of solid waste management (SWM) has become a pressing concern. The discussion of some of these issues and potential solutions are provided in this essay.

Pyrolysis is the thermochemical decomposition of organic material at high temperature and in the absence of oxygen or in an atmosphere of inert gases. Compared to combustion, pyrolysis has a lower process temperature and lower emissions of air pollutants such as polybrominated diphenylethers (PBDEs).

Nowadays, pyrolysis is getting attention for its flexibility to generate a combination of solid, liquid and gaseous products in different proportions just by the variation of operating parameters such as temperature or heating rate. One of the great advantages of this process is that many types of raw material can be used, including industrial and domestic residues [1].

The fractions of MSW subjected to pyrolysis mainly consist of paper, cloth, plastics, food waste and yard waste. Prerequisite for the successful application of pyrolysis is the appropriate choice of input materials and the setting of optimal process conditions. For these reasons, the suitability or unsuitability of selected types of waste and their mixtures for the pyrolysis process has been verified many times by laboratory experiments with subsequent assessment of the quantity and quality of the individual products of pyrolysis.

Therefore, one of the main goals of the waste management policy of industrialized countries is «Waste recycling for energy purposes». In the EU and Japan, municipal waste, left over after sorting and separation of materials intended for recycling, is sent to enterprises specializing in the production of fuel from waste. And although, in Russia, this type of recycling has not yet gained much popularity. But every year the industry develops. New production facilities are appearing, and up to 3,000 tons of usable gas for the energy industry are being produced. This leads to comprehensive detailed research in the field of pyrolysis with detailed calculations. The more research will be carried out, and subsequently tested, the greater the chances for mass waste disposal processes in this way at enterprises to become more efficient.

### **Materials and methods**

The municipal solid waste compositions typical for the North-Western Federal District were selected for the study. During the study, the following indicators were determined: the elemental composition of the components of solid municipal waste, their working and dry mass; the specific lower working calorific value of MSW.

---

The morphological compositions of MSW taken for the study are shown in Figure 1.

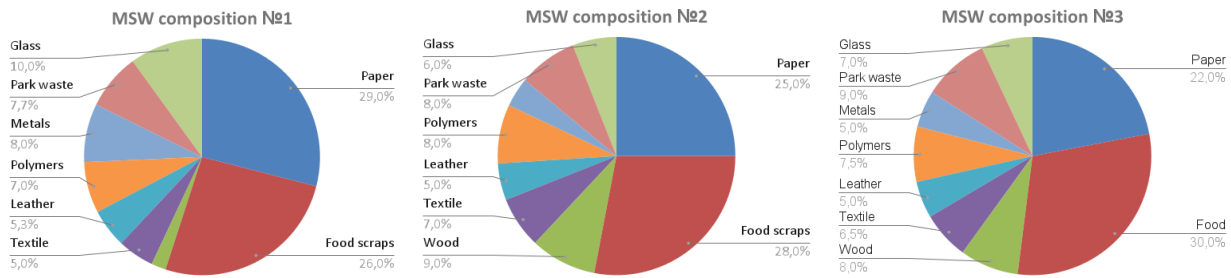


Fig. 1. Morphological compositions of MSW

The calculation was carried out according to the elemental composition of the working mass of MSW components ( $C_i$ ), %. Dry MSW mass percentage of each element  $E$  was calculated with following formula:

$$E^d = 0.01 \cdot \sum(g_i \cdot m_i). \quad (1)$$

Then, the water content in the working MSW mass ( $W^w$ , %) and the percentage of elements in the working MSW mass (%) were determined.

Specific lower working calorific value  $Q_l^w$  is the amount of heat released during the complete combustion of 1 kg of MSW, kJ/kg. It was calculated using the following formula:

$$Q_l^w = 339.4 \cdot C^w + 1257 \cdot H^w - 108.9 \cdot (O^w - S^w) - 25.1 \cdot (9 \cdot H^w + W^w). \quad (2)$$

In the course of the study, two methods for the disposal of MSW were considered: incineration and pyrolysis.

#### Incineration technology

The calculation of the incineration process consisted in determining the incinerator discharge characteristics. It was carried out for the most commonly used type of incinerators in industry - a layer furnace. The excess air coefficient  $\alpha$  was assumed to be  $\alpha = 1,6$ . MSW consumption was 300 kg/h, 350 kg/h and 400 kg/h, respectively, for the incineration of three considered MSW compositions.

The theoretical air volume  $V^0, m^3/kg$  required for complete combustion of the MSW and the resulting combustion products was determined, using the following formula:

$$V^0 = 0.0889 \cdot (C^w + 0.375 \cdot S^w) + 0.265 \cdot H^w - 0.033 \cdot O^w. \quad (3)$$

Useful heat release on MSW thermal oxidation  $Q_{MSW}^{use} kJ/kg$  was calculated using formula:

$$Q_{MSW}^{use} = Q_l^w \cdot (1 - q_{los}), \quad (4)$$

where losses in the reaction volume  $q_{los}$  are already taken into account as 3 %

The main incinerator consumption characteristics: air consumption ( $\bar{V}$ )  $m^3/h$ , flue gas consumption ( $\bar{V}_g$ )  $m^3/h$ , burning capacity ( $Q$ ) and specific amount of cooling water ( $g$ ) were calculated by the following formulas:

$$\bar{V} = G \cdot \alpha \cdot V^0, \quad (5)$$

$$\bar{V}_g = G \cdot \sum V_g, \quad (6)$$

where  $\sum V_g$   $kW$  is summarised flue volume;

$$Q = G \cdot Q_l^w. \quad (7)$$

#### Pyrolysis technology

The calculation of the process of pyrolysis of MSW was carried out on the basis of studies conducted by specialists of NIISTROMCOMPOSITE (Krasnoyarsk). The initial data for calculation included: the given MSW consumption ( $G_1= 300$  kg/h,  $G_2= 350$  kg/h and  $G_3= 400$  kg/h, respectively, for the considered three MSW compositions), determined mass content of moisture ( $W^w$ ) and ash ( $A^w$ )

in the working mass of MSW. Referring to this data, the process and energetic characteristics of the pyrolysis process and its individual products were calculated.

During the calculation, the following process parameters were determined:

- ash content of the working and dry MSW basis:

$$A^{tw} = A \cdot (1 - 0,01 \cdot W^w), \quad (8)$$

$$A^d = \frac{A^w}{1 - W^w/100}, \quad (9)$$

where  $A$  is the ash content of the dry mass of the averaged composition of MSW, %;

- estimated discharge ( $G_{X'}$ ) kg/h of volatile substances, solid residue, resinous substances, non-condensing gas and water condensate:

$$G_{X'} = 0,01 \cdot G \cdot X \cdot CM, \quad (10)$$

where  $X$  is the specific yield of the corresponding pyrolysis products in 1 kg of the dry mass of MSW (NIISK research),  $CM$  is the combustible mass of real MSW [2].

Specific heat generation during combustion of 1 kg of real MSW:

$$Q'_{msw} = 0.01 \cdot Q_{msw} \cdot CM, \quad (11)$$

where  $Q_{msw}$  - specific calorific value of MSW ( $kJ/kg$ ).

The approximate specific heat ( $kW$ ) input and burning capacity of the real MSW pyrolysis at  $600^\circ C$ :

$$Q_{gi'} = 300 + 47.05 \cdot W^w + 3,52 \cdot \Delta A^d, \quad (12)$$

$$Q'_{gi} = G \cdot Q_{gi'} / 3600; \quad (13)$$

- estimated available burning capacity  $Q'_x$  ( $kW$ ) of MSW, tarry matter, solid residue, and noncondensable gas:

$$Q'_x = G_{x'} \cdot Q_{x'} / 3600, \quad (14)$$

where  $Q_{x'}$  is the specific calorific value, respectively, of MSW, solid residue, resinous substances and non-condensing gas,  $kJ/kg$ .

### Results and discussion

The results of calculation of chemical elements percentage in the working MSW mass of the considered MSW compositions (which were shown in Figure 1) are demonstrated in the diagram in Figure 2.

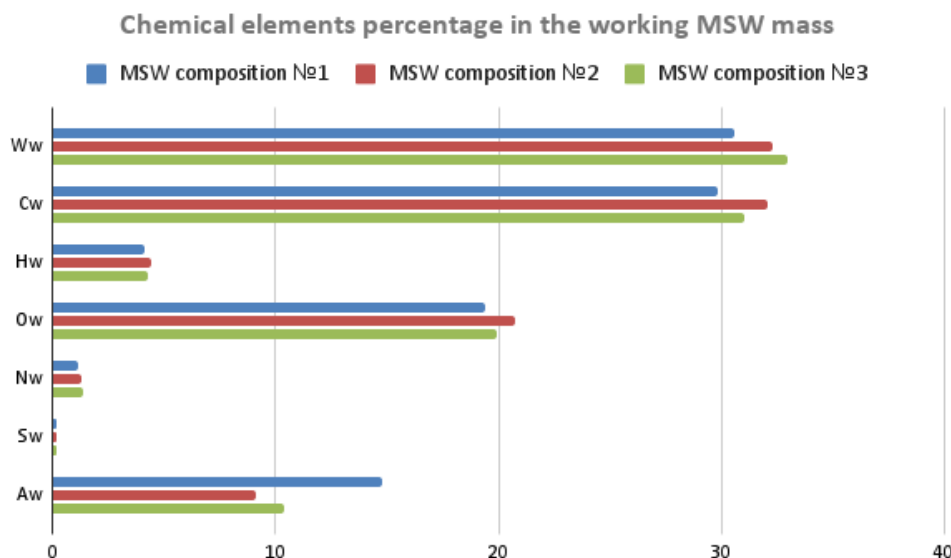


Fig. 2. Percentage of elements for different MSW compositions

The table 1 consists the main estimated parameters for different MSW compositions.

Table 1

**Estimated values for different MSW compositions**

Name of the value	MSW composition №1	MSW composition №2	MSW composition №3
$W^w, \%$	30,577	32,261	32,941
$A^w, \%$	14,811	9,103	10,396
$Q_l^w, \text{kJ/kg}$	11490,170	12379,581	11948,684

From the data given in the table 1 it can be seen that the MSW composition №2 has the largest specific lower working calorific value, which is contingent on its composition.

During the determination of the main parameters of the incinerator (layer furnace), the following results were obtained (table 2).

Table 2

**Parameters of the incinerator**

Name of the value	MSW composition №1	MSW composition №2	MSW composition №3
MSW consumption, kg/h	300	350	400
$V^0, \text{m}^3/\text{kg}$	3,104	3,341	3,237
$Q_{MSW}^{use}, \text{kJ/kg}$	11145,469	12008,194	11590,224
$\bar{V}, \text{m}^3/\text{h}$	1489,8	1870,73	2071,6
$\bar{V}_g, \text{m}^3/\text{h}$	1729,92	2161,716	2409,52
$Q, \text{kW}$	957,51	1203,57	1327,632

The correlation of changes in the main incinerator consumption characteristics is shown in Figure 3.

**The main incinerator consumption characteristics  
(in specific terms per kg of MSW)**

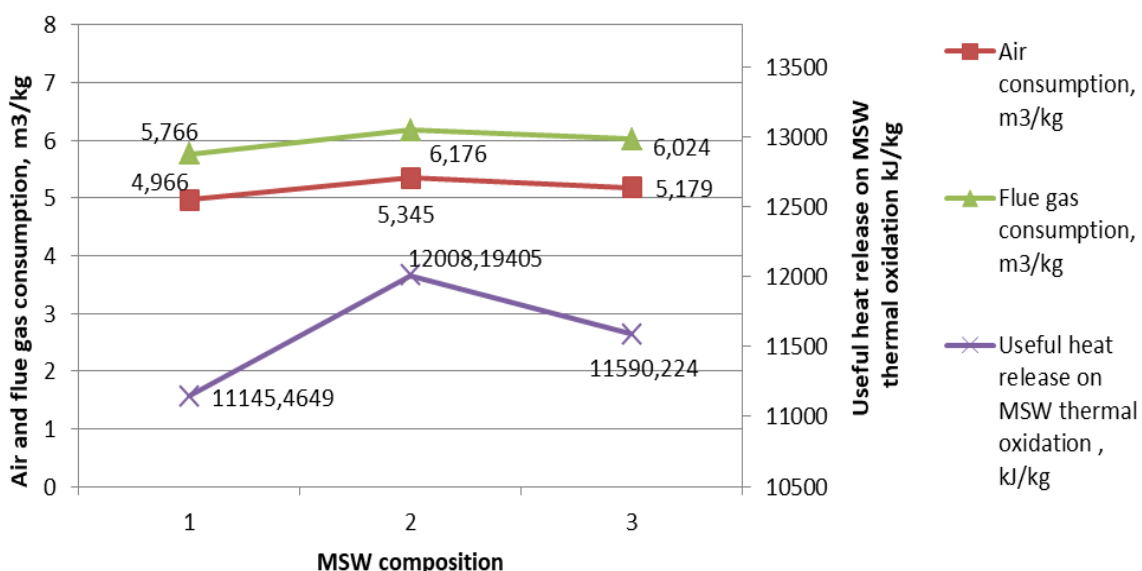


Fig. 3. The main incinerator consumption characteristics

It is important to note, that one method of recovering heat from the stack gases in the temperature range from  $t_{ac}=1200^{\circ}\text{C}$  to the flue gas temperature recommended for the cleaning system is the use of a utilising boiler to produce additional water vapour and hot water from the utilised heat which can then be used for heating, ventilation, air conditioning, electricity and refrigeration purposes.

In addition, the approximate technological calculation of MSW pyrolysis was performed using the given MSW consumption ( $G$ ), determined mass content of moisture ( $W^w$ ) and ash ( $A^w$ ) in the working mass of MSW. The results of the calculations are presented in the table 3.

Table 3

**The approximate technological calculation of MSW pyrolysis**

Name of the value	MSW composition №1	MSW composition №2	MSW composition №3
MSW consumption, kg/h	300	350	400
$A^w$ , %	4,51	4,403	4,359
$CM$ , %	59,125	63,039	61,022
$Q'_{msw}$ , kJ/kg	10801,215	11516,22	11147,7129
$Q_{gi'}$ , kg/h	1851,378	1865,183	1904,4438
$Q_{gi}$ , kW	151,144	181,3372	211,6049

Estimated discharges of pyrolysis products of the combustible mass of real MSW are demonstrated in Figure 4.

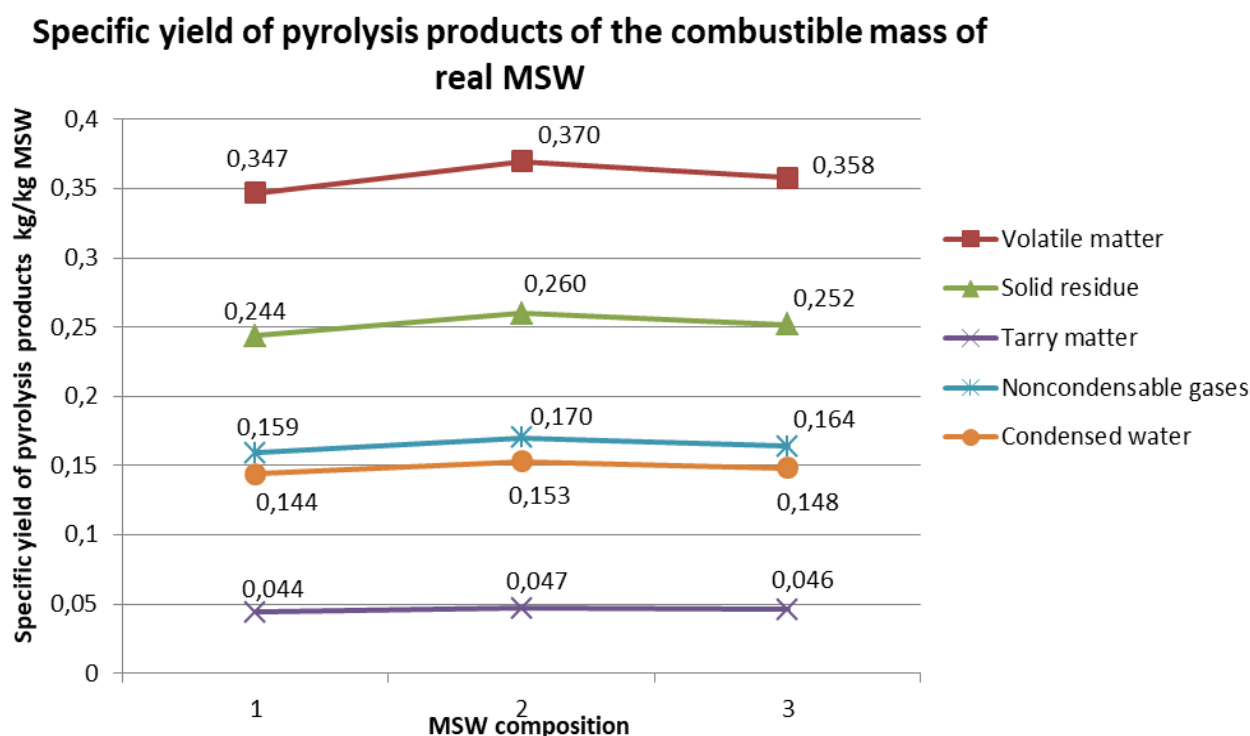


Fig. 4. Estimated discharge of pyrolysis products of the combustible mass of real MSW

The solid residue obtained in the process can be used as a fuel and adsorbent, the pyrolysis gas after purification directly as a gaseous fuel in the combustion equipment heating devices, as well as in internal combustion engines or after cooling accompanied by condensation to obtain a liquid fuel similar to furnace fuel, non-condensing combustible gas and water condensate suitable after neutralization as service water.

In this paper, two technologies for the processing of MSW were considered - pyrolysis and incineration. Both methods have their advantages and disadvantages.

The pyrolysis process proceeds at lower temperatures compared to the incineration. Pyrolysis has the following advantages in comparison with incineration:

- 1) decreased production of toxic substances in waste gases;
- 2) lack of the entrainment of solid particulates in a gaseous phase;
- 3) the possibility of recovery secondary raw materials from post-pyrolysis solid products;

- 4) high flexibility of the composition of the fuel subjected to pyrolysis;
- 5) storage and usage of pyrolysis products at a later date for energy purposes [3].

On the other hand, thanks to the automation of almost all processes, a convenient control panel, control over the disposal process in the incinerator can be carried out by ordinary workers after instruction. The cost of equipment, maintenance, preparatory work before installation - all this will cost several times cheaper than when using pyrolysis furnaces.

In the future, the use of alternative biofuels from agricultural and forestry waste, as well as MSW, will create an environmentally friendly, waste-free production, reduce product costs, use plant waste economically, economically spend budget funds allocated for the purchase of fuel, as well as develop small businesses and create additional jobs.

The main issue in this case remains the question of the reasonable use of all the energy released during the pyrolysis process. It is not enough to say that the use of additional heat generated during pyrolysis increases the efficiency of the procedure, or that the process is less harmful to the environment than conventional combustion [4]. Investments are required in the research of possible variations and the development of appropriate apparatus and structures that would not only save the planet in the future, but also be economically beneficial for commercial organizations. Only this, together with proper legislative regulation, will allow the development of technology.

**Acknowledgement** The work was carried out within the framework of the course "New Energy and Resource-saving Processes in a Circular Economy" with the support of the Vladimir Potanin Charitable Foundation.

## References

1. Waste-to-Energy: Can It Be the Answer to Our Waste Problem? [Electronic resource]. – Access mode: <https://waste4change.com/blog/waste-to-energy-can-it-be-the-answer-to-our-waste-problem/> (date of access: 30.01.2023).
2. Mini-zavod termicheskoy utilizatsii tvordykh kommunal'nykh otkhodov (TKO) OOO «NII STROMKOMPOZIT» – Access mode: <https://www.stromkomposit.ru/29.html> (date of access: 22.02.2023).
3. Ławińska O. Pyrolysis-Based Municipal Solid Waste Management in Poland—SWOT Analysis / O. Ławińska, A. Korombel, M. Zajemska // *Energies*. 2022. №. 15 Pp. 1-29.
4. Waste to Energy: Incineration, gasification and pyrolysis [Electronic resource]. – Access mode: [http://sustainable.org.za/userfiles/incineration\(1\).pdf](http://sustainable.org.za/userfiles/incineration(1).pdf) (date of access: 01.02.2023).

УДК 631.96

## СОЗДАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

*Туганова Р.С.<sup>1</sup> (студент), Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: tuganovaregina@yandex.ru, liya974@mail.ru*

---

Современное сельское хозяйство ежедневно сталкивается с множеством проблем, включая увеличение численности населения на Земле и изменение климата, а также истощение природных ресурсов и полезных ископаемых. Основным способом решения этих проблем является непрерывное внедрение инноваций, основанных на применении современных информационных технологий, с целью повышения производительности сельского хозяйства. Для достижения этой цели предлагается создание нейронной сети для автоматического мониторинга состояния сельскохозяйственных земель с помощью спутниковых снимков. В процессе исследования будет разработана методология для определения местоположения деградированных участков почвенного покрова на сельскохозяйственных землях.

### **Ключевые слова**

Точное земледелие, сельское хозяйство, автоматический мониторинг, нейронные сети, машинное обучение.

---

Сельское хозяйство в современном мире сталкивается с рядом проблем, связанных с растущим спросом на продукты питания вследствие увеличения численности населения Земли, неизбежными климатическими изменениями, а также истощением полезных ископаемых и природных ресурсов. Решение этих проблем возможно через внедрение инноваций и применение современных информационных технологий для повышения производительности сельского хозяйства. Стремительное развитие технологий ведет к созданию новых инструментов и методов точного земледелия, которые смогут помочь удовлетворить растущий спрос на продукты питания, что станет важным шагом в обеспечении устойчивого развития нашей планеты.

Сельское хозяйство представлено двумя подотраслями: животноводством и растениеводством. Согласно данным ведомственного проекта “Цифровое сельское хозяйство”, показатели производительности растениеводства продемонстрировали положительную динамику в период с 2011 по 2020 год и составили 54%, в то время как процент животноводства снизился до 46,4%. Соответственно, в последние годы большое внимание уделяется сбору данных в растениеводстве, однако, улучшение производительности системы будет доступно при эффективном использовании полученных данных [1]. Таким образом, мы переходим к понятию точного земледелия, которое является инновационным инструментом для достижения целей в области устойчивого развития сельского хозяйства.

Точное земледелие является принципом управления технологиями выращивания сельскохозяйственных культур, а также ресурсами предприятий агропромышленного комплекса для получения урожая высокого качества. Концепция точного земледелия получила свое развитие в 1980-х годах и до сих пор продолжает совершенствоваться, превращаясь в настоящую революцию в сельском хозяйстве.

Однако для того, чтобы точное земледелие было эффективным, необходимо надежное описание местного состояния сельскохозяйственных земель при использовании автоматического оборудования и робототехники [2]. В этой связи актуальность дистанционного зондирования была широко продемонстрирована для расширения полевых исследований на целые участки или даже регионы. Дистанционным зондированием является получение информации об

---



интересующем объекте без непосредственного контакта с ним. Популярными формами дистанционного зондирования, используемыми в науках об окружающей среде, являются изображения земной поверхности, получаемые с датчиков, установленных на бортовых и космических платформах. Изображения дистанционного зондирования обеспечивают представление о поверхности Земли таким образом, что позволяет идентифицировать, локализовать и охарактеризовать ее особенности. Наконец дистанционное зондирование применяется в самых разных областях экологии и управления лесами, от картирования инвазивных видов до мониторинга изменений земного покрова.

Развитие современного сельского хозяйства напрямую зависит от эффективного использования земли, что требует достоверной и своевременной информации о состоянии земель. Точная и актуальная информация о сельскохозяйственных землях, такая как их состояние, площадь, владение и тип культур, позволяет заинтересованным сторонам разрабатывать эффективную сельскохозяйственную политику, а также обновлять сельскохозяйственные географические базы данных, среди прочих важных задач. Для того чтобы иметь актуальную информацию о сельскохозяйственных землях, важно, чтобы контуры участков были правильными и могли быстро обновляться. Одним из источников информации о сельскохозяйственных землях являются кадастровые карты, на которых зафиксированы границы полей. Эта информация нуждается в регулярном пересмотре и обновлении, что актуализирует проблему распознавания границ сельскохозяйственных полей. Хотя обычно используется ручная разметка полей по спутниковым снимкам, этот процесс имеет ряд недостатков. Он чрезвычайно трудоемок и неэффективен для аннотирования больших территорий, таких как округа или регионы.

Применение инструментов информационных технологий в форме дистанционного зондирования и географических информационных систем повышает эффективность в сельскохозяйственном секторе, позволяя планировать и принимать решения на основе пространственно и временно распределенных данных, предоставляемых этими инструментами [3]. Новое поколение оптических дистанционных датчиков, размещаемых на самолетах, спутниковых платформах и дронах, предлагает доступные и полезные данные очень высокого разрешения для мониторинга сельскохозяйственных полей на уровне участка [4].

Точное земледелие основано на использовании точных данных дистанционного зондирования, таких как спутниковые снимки или видеоизображения, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов либо спутников. Эти снимки позволяют увидеть поверхность Земли с высоким разрешением, а также идентифицировать, локализовать и охарактеризовать ее особенности. В данной работе были использованы спутниковые снимки, так как они охватывают большие площади сельскохозяйственных полей в отличие от беспилотных летательных аппаратов. Ключевым механизмом, который обеспечивает передовые технологии точного земледелия, является машинное обучение. Оно помогает повысить урожайность, составить карту полей, осуществлять интеллектуальный мониторинг посевов и культур. Поэтому для обучения моделей будет создана нейронная сеть, представляющая собой подмножество машинного обучения. Машинным обучением (англ. Machine Learning, ML) является отрасль искусственного интеллекта, которая фокусируется на использовании данных и алгоритмов для имитации обучения, постепенно повышая их точность.

Существует множество приложений нейронных сетей в области компьютерного зрения. А с небольшими изменениями одни и те же инструменты и методы можно эффективно применять для решения широкого круга задач. Четыре самые распространенные задачи, решаемые с помощью нейронных сетей: семантическая сегментация (semantic segmentation), классификация и локализация (classification and localization), обнаружение объекта (object detection), сегментация экземпляра (instance segmentation).

В данной работе рассматривается проблема автоматизации картографирования сельскохозяйственных полей с использованием спутниковых данных. Эта задача актуальна как для кадастрового учета, так и для мониторинга сельского хозяйства. Высокоточное ручное картографирование участков – трудоемкий процесс, а знание границ участков является

необходимым элементом для решения других задач сельскохозяйственного мониторинга, в частности оценки различных показателей продуктивности и состояния земель при использовании подходов точного земледелия. На рисунке 1 представлен пример сегментации полей с помощью нейронных сетей.

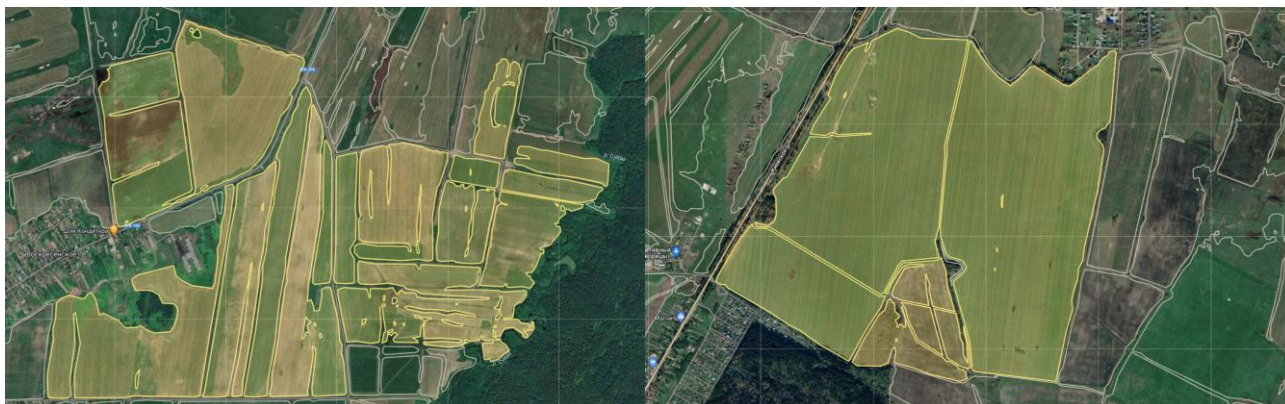


Рис. 1. Размеченные поля на территории Ленинградской области

В терминах машинного обучения определение культур является задачей классификации. Основная цель классификации типов культур – создать карту, на которой будут размечены сельскохозяйственные поля с указанием произрастающих культур так, как показано на изображении ниже (рис. 2).

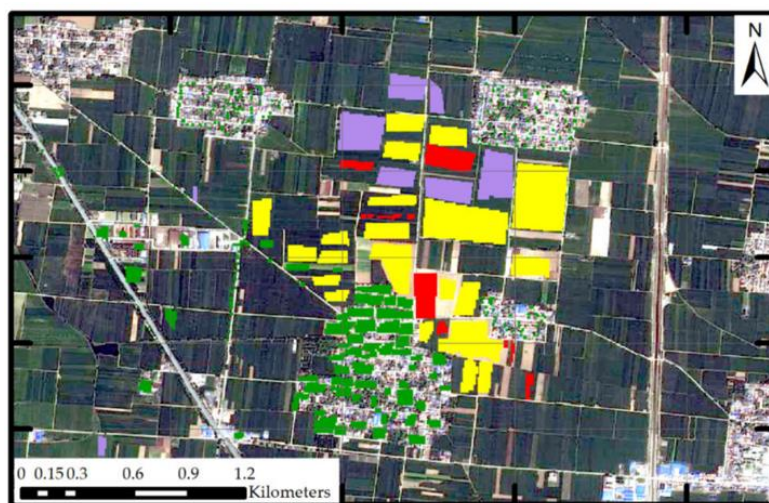


Рис. 2. Классификация сельскохозяйственных культур [5]

Основой для отделения одной культуры от другой является предположение что каждый вид культуры имеет уникальный внешний вид или спектральную характеристику на изображении, но разделение этих видов может быть несколько затруднено из-за различий в свойствах почвы, внесении удобрений, вредителей, орошения, сроков посадки, совмещение культур и методы обработки почвы. Основные ограничения идентификации культур с помощью спутниковых изображений связаны со сходством отражательной способности растений разных культур, изменчивостью отражательной способности растений одних и тех же культур от поля к полю, конкретной комбинацией культур, выращиваемых в данном регионе. В качестве основного метода для классификации данных дистанционного зондирования используются нейронные сети.

Таким образом, в ходе исследовательской работы была обучена нейронная сеть для сегментации сельскохозяйственных полей для дальнейшей классификации культур и определения степени деградации земли. Набор данных содержит разметку сельскохозяйственных участков для четырех регионов России. Участки выбирались таким

образом, чтобы на каждом из них помимо полей были и другие типы местности: городская местность, водная гладь, болота и леса. После сегментации земель будет совершен переход на следующий этап – разработка алгоритма для распознавания степени деградации сельскохозяйственных полей.

#### **Список использованных источников**

1. Basso B., Antle J. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems // *Nature Sustainability*. 2020. V. 3. №. 4. Pp. 254–256.
2. Ferrer M. et al. Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions // *Precision Agriculture*. 2020. V. 21. №1. Pp. 178–197.
3. Shelestov A.Y. et al. Geospatial information system for agricultural monitoring // *Cybern. Syst. Anal.* 2013. V. 49. Pp. 124–132.
4. Waldner F., Canto G.S., Defourny P. Automated annual cropland mapping using knowledge-based temporal features // *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2015. V. 110. Pp. 1–13.
5. Zhang H. et al. Crop Identification Based on Multi-Temporal Active and Passive Remote Sensing Images // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022. V. 11. №. 7. 388 p.

УДК 504.064

## МЕСТО ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ В ИТС НДТ

*Фахртдинова С.З.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: sabinafaxry@itmo.ru*

---

В работе рассмотрено применение предиктивных систем контроля выбросов (ПСКВ) загрязняющих веществ в атмосферу в информационно-технических справочниках наилучших доступных технологий РФ, США и ЕС. Представлены возможные сдерживающие факторы развития предиктивной аналитики в области контроля выбросов в РФ. Выделены сферы применения предиктивных систем контроля и определяемые ими показатели выбросов.

### **Ключевые слова**

Предиктивная система контроля выбросов загрязняющих веществ, наилучшая доступная технология, информационно-технический справочник, стандартизация, метрология.

---

В соответствии с Федеральным законом РФ от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» на объектах первой категории стационарные источники выбросов загрязняющих веществ должны быть оснащены автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов [1]. К объектам первой категории, оказывающим значительное негативное воздействие на окружающую среду, относятся предприятия, занимающиеся производством кокса, добычей нефти и природного газа, производством нефтепродуктов, добычей и обогащением железных руд, обеспечением электрической энергией, газом и паром, металлургическим производством, производством химических веществ и химических продуктов и др.

Под автоматическими средствами измерения выбросов подразумевается оборудование, необходимое для определения концентрации газа, твердых частиц или уровня выбросов с использованием измерений анализаторов загрязняющих веществ и уравнения преобразования, графиков или компьютерной программы для получения результатов в необходимых оператору единицах. Подобные системы требуют высоких капитальных и эксплуатационных затрат [2]. В качестве альтернативы автоматическим системам непрерывного контроля в США и странах ЕС используются предиктивные системы контроля выбросов (ПСКВ) загрязняющих веществ — это инновационный подход к непрерывному мониторингу выбросов. Система прогнозирующего мониторинга выбросов использует математическую модель для создания прогноза выбросов на основании имеющихся данных от существующих контрольно-измерительных приборов и датчиков и данных процесса в реальном времени.

ПСКВ обычно используются для прогнозирования выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{HC}$ . Данная система одобрена в США и в большинстве международных регулирующих органов. С 1993 года ПСКВ была установлена на сотнях объектах, включая котлы, установки риформинга и газовые турбины в США, отвечающие требованиям Агентства по охране окружающей среды США. ПСКВ также сертифицирована в Великобритании, Саудовской Аравии, Нидерландах, Дании, Швеции, Малайзии и ОАЭ [2]. Однако, на территории России ПСКВ не получили широкого распространения. К возможным сдерживающим факторам развития предиктивных систем на территории РФ можно отнести:

- отсутствие нормативной базы, регламентирующей сферу применения ПСКВ;
- отсутствие нормативной базы, регламентирующей правила создания, эксплуатации и требования к ПСКВ;

- отсутствие требований к метрологическому обеспечению ПСКВ;
- отсутствие опыта эксплуатации ПСКВ.

К области применения наилучших доступных технологий (НДТ) также относятся оказывающие значительное негативное воздействие на окружающую среду объекты. Наилучшие доступные методы – это экономически и технически реализуемые методы и технологии, которые могут быть применены для предотвращения или сведения к минимуму выбросов и воздействия на окружающую среду в целом. Эта концепция разработана и совершенствуется мировым сообществом с 1970-х годов. НДТ основаны на внедрении в производствах более качественных и экономически эффективных технологий, применимых для конкретной отрасли промышленности, с целью повышения уровня защиты окружающей среды [3].

Информационно-технический справочник НДТ (ИТС НДТ) – это справочный документ по НДТ, являющийся результатом консенсуса между несколькими заинтересованными сторонами, включая регулирующие органы, промышленные и экологические неправительственные организации. ИТС НДТ составляются для определенных видов деятельности (например, молочной и пищевой промышленности), подробно описывая применяемые технологии, текущие выбросы, уровни потребления и НДТ в каждой сфере.

Концепция НДТ на разных стадиях развития существует в 9 странах. В данной работе рассмотрены ИТС НДТ РФ, США и ЕС на предмет эксплуатации ПСКВ в качестве НДТ в разных сферах деятельности.

**РФ.** Понятие «НДТ» было внедрено на территории РФ Федеральным законом от 21 июля 2014 г. N 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Этот ФЗ определяет нормативную базу в области НДТ [3]. В России на сегодняшний день действуют 54 ИТС НДТ.

В области экологического мониторинга используется ИТС НДТ 22.1–2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». В данном ИТС предиктивный метод рассматривается как один из основных методов контроля промышленных выбросов наряду с прямыми измерениями, косвенными параметрами, коэффициентами выбросов и методом материального баланса. ПСКВ определяются как разновидность косвенных методов определения концентраций загрязняющих веществ. Также в справочнике указано, что ПСКВ могут быть использованы для определения показателей выбросов NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, углеводородов, пыли и других загрязняющих веществ. В качестве сферы и объектов применения указаны газотурбинные и угольные электростанции, установки каталитического крекинга, синтеза метанола, установки производства серы, печи пиролиза и стекловаренные печи [4].

ПСКВ, согласно данному ИТС НДТ, могут применяться как альтернатива автоматическим инструментальным системам, но только в обоснованных случаях. Из преимуществ отмечено, что предиктивный метод менее затратен и наименее точен по сравнению с прямыми измерениями и не имеют в настоящий момент метрологической базы в РФ, а также легче подвержены манипуляциям с данными [4].

На ИТС НДТ 22.1–2021 ссылаются пять ИТС НДТ, область которых затрагивает производство стекла, цемента, извести, чугуна, стали и ферросплавов, а также сжигания топлива.

**ЕС.** Справочные документы Европы по НДТ (BREF) представляют собой результат «Севильского процесса» – обмена информацией о характеристиках (технологических параметрах) решений, направленных на защиту окружающей среды.

В справочнике BREF EUR 28836 EN:2017 «Reference Document for Large Combustion Plants» по работе крупных установок сжигания ПСКВ предлагается использовать как косвенный метод мониторинга эмиссий с использованием косвенных измерений. Косвенные измерения — это измеряемые или вычисляемые значения параметров, которые могут использоваться вместо прямых измерений конкретных значений загрязняющих веществ.

Использование таких параметров как по отдельности, так и в сочетании может обеспечить достаточно надежную картину характера и пропорций эмиссий.

В крупных установках сжигания ПСКВ может быть использована для прогнозирования выбросов таких соединений, как  $SO_2$  или  $CO_2$ . Определение присутствия определенных элементов в топливе, таких как сера и металлы, может быть использовано для расчета их присутствия в потоке дымовых газов. Предполагая полную конверсию серы, выбросы  $SO_2$ , например, при сжигании нефти, могут быть рассчитаны на основе содержания серы, присутствующей в нефти. Справочник также допускает возможность использования ПСКВ для мониторинга выбросов  $NO_x$  и  $CO$  в процессе сжигания газа на оффшорных платформах. При анализе методов для предотвращения и/или сокращения выбросов  $NO_x$  и  $CO$  для оффшорных установок ПСКВ рассматривается как лучшая система для мониторинга эмиссий, требующая высокого опыта работы с данными у оператора. В этом анализе ПСКВ признаны применимыми для новых и существующих оффшорных установок. Для будущей работы в этой сфере создатели справочника рекомендуют рассмотреть и другие области применения ПСКВ, помимо газовой установки открытого цикла, а также следить за изменениями европейских стандартов, связанных с ПСКВ.

В справочнике BREF EUR 27140 EN:2015 «Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas» по переработке минеральной нефти и газа ПСКВ рекомендуется к использованию для непрерывного мониторинга таких технологических параметров, как расход топливного газа, соотношение воздух/топливо, а также для получения данных о качестве топлива или сырья источника выбросов.

Для мониторинга эмиссий ПСКВ рекомендована к применению в следующих документах:

- справочнике BREF EUR 29362-EN:2018 по обработке отходов;
- справочнике BREF EUR 29971 EN:2019 по сжиганию отходов;
- справочном отчете EUR 29261 EN:2018 Объединенного исследовательского центра о мониторинге выбросов в атмосферу и воду от установок по Директиве о промышленных выбросах.

В последнем документе указана необходимость оператора или владельца источника выбросов доказать применимость ПСКВ для определенного процесса.

**США.** В США отсутствует концепция НДТ. Однако при проектировании стандартов собираются и анализируются применяемые в различных областях технологии, также рассматривается и документируется их результативность [5]. ПСКВ могут быть применены в качестве средства контроля выбросов стационарных источников в соответствии со Сводом федеральных нормативных актов (Code of Federal Regulations, CFR) – это сборник основных постановлений и приказов органов федеральной исполнительной власти США. В разделе 40 «Охрана окружающей среды» данного документа в части 60, имеющей название «Стандарты функциональной способности для новых стационарных источников», и части 75 с названием «Непрерывный мониторинг выбросов» содержится информация о требованиях к ПСКВ. В частности, в Приложении В части 60 содержатся техническая спецификация PS-16 «Технические характеристики и процедуры испытаний для систем предиктивного мониторинга выбросов в стационарных источниках» (Performance Specification 16, PS-16).

Данные технические требования предназначены для демонстрации соответствия ПСКВ требованиям частей 60, 61 и 63 раздела 40 CFR. PS-16 рекомендуется использовать для сертификации ПСКВ после первоначальной установки системы и периодически после установки для обеспечения качества ее результатов.

В PS-16 ПСКВ представляет собой систему, состоящую из оборудования, необходимого для прогнозирования концентрации, скорости выбросов загрязняющих веществ и других параметров. Обучение ПСКВ означает процесс разработки ПСКВ на основе данных, полученных с помощью эталонных методов (Reference Method, RM).

В данной работе рассмотрены ИТС НДТ РФ, США и ЕС на предмет эксплуатации ПСКВ в качестве НДТ в разных сферах деятельности. В ИТС НДТ РФ предиктивный метод рассматривается как один из основных методов контроля промышленных выбросов. Однако, в

справочнике указано, что ПСКВ могут применяться в качестве альтернативы инструментальному контролю, но только в обоснованных случаях, когда применение автоматической инструментальной системы контроля невозможно. В пяти ИТС НДТ стран ЕС в качестве системы контроля выбросов в атмосферу упоминается ПСКВ, также описаны способы и нюансы ее эксплуатации. В США применение ПСКВ регламентирует спецификация PS-16, содержащая информацию о производстве, метрологическом обеспечении и эксплуатации ПСКВ. Исходя из вышперечисленного можно сказать, что развитие нормативной базы, регламентирующей сферу применения ПСКВ в РФ, является актуальной задачей.

#### **Список использованных источников**

1. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Собрание законодательства РФ.
2. PEMS – Predictive Emissions Monitoring System. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.technologyedge.biz/pems-predictive-emissions-monitoring-system/> (дата обращения: 09.03.2023).
3. Наилучшие доступные технологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rostest.ru/nailuchshie-dostupnye-tekhnologii/nailuchshie-dostupnye-tekhnologii.php> (дата обращения: 09.03.2023).
4. ИТС НДТ 22.1–2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1647&etkstructure\\_id=1872](http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1647&etkstructure_id=1872) (дата обращения: 09.03.2023).
5. Наилучшие доступные технологии (НДТ). Предотвращение и контроль промышленного загрязнения. Этап 3: Оценка действенности политик в сфере НДТ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/measuring-the-effectiveness-of-best-available-techniques-policies-russian.pdf> (дата обращения: 09.03.2023).

УДК 543.424.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТИ И ГАЗА

*Хованская Ю.С.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: uliya.hovanskaya@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов»*

---

В данной работе рассматривается актуальность применения рамановской спектроскопии, ее достоинства и недостатки, выбор длины волны источника излучения (лазера), а также процесс проведения исследований свойств нефти или газа с помощью рамановской спектроскопии. Были проанализированы патенты, а также нормативная база РФ.

### **Ключевые слова**

Рамановская спектроскопия, нефть, газ, спектроскопия комбинационного рассеяния, спектр комбинационного рассеяния.

---

Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния) — это спектроскопический метод исследования, основанный на взаимодействии света с веществом. Он позволяет получить представление о структуре материала или его характеристиках. Процесс комбинационного рассеяния заключается в том, что молекула при взаимодействии с фотоном может перейти в состояние с более высокой энергией. Рамановским сдвигом называют разницу между энергией падающего фотона и энергией рассеянного фотона. Рамановская спектроскопия перспективное направление при исследовании свойств различных веществ. Она имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами исследований: не разрушает исследуемое вещество во время его анализа, не требует предварительной подготовки пробы, применима ко всем видам агрегатного состояния вещества, имеет сравнительно низкую стоимость аналитических исследований, не требует продолжительного времени для проведения анализа.

Выбор источника лазерного возбуждения является важной частью исследования, поскольку оно влияет на интенсивность рассеяния, пространственное разрешение, время и стоимость анализа. Для анализа некоторых материалов не требуется тщательный выбор источника излучения, однако для большинства образцов крайне важно подобрать длину волны, чтобы обеспечить эффективный результат анализа, избежать появления флуоресценции. В рамановской спектроскопии в основном используют длины волн до 800 нм, т. к. сигнал комбинационного рассеяния уменьшается с увеличением длины волны. В данный момент наиболее эффективной длиной волны является 785 нм, однако для ряда задач используются 1064, 830 и 532 нм.

Выбор источника не ограничивается только длиной волны, ведь важно учитывать также мощность излучения, которая варьируется и зависит от типа диапазона (ультрафиолетовый или инфракрасный), стабильность частоты нужна для поддержания спектрального разрешения на одном и том же уровне и, наконец, отсутствие помех, т.е. подавление побочных спектров и шумов, которая происходит в микро- или даже пико-диапазонах.

Анализ состава нефти и природного газа предложенным методом имеют огромные преимущества, среди которых выделяется непродолжительное время исследования свойств

---



вещества, возможность автоматизации и дистанционного контроля за ходом эксперимента, одновременное изучение каждого по отдельности компонента вещества и отсутствие необходимости «идеальных» лабораторных условий. Однако существуют и недостатки, обусловленные режимами работы ламп накачки при различных способах охлаждения.

Выбор длины волны для исследования характеристик нефти и нефтепродуктов достаточно сложен. Ультрафиолетовая область спектра поглощает ароматические соединения нефти, а интервалы спектра 400–420 и 510–600 нм содержат полосы порфиринов, поэтому тоже не являются пригодными для анализа. Сюда же относятся интервалы 420–480 и 650–800 нм в связи с поглощением периленов и неидентифицированных соединений, которые присутствуют в нефти. Исходя из вышесказанного, наиболее удачным лазерным возбуждением является излучение с длиной волны около 500 нм [1]. Длина волны при анализе природного газа выбирается исходя из таких же параметров, т.е. устраняют интервалы, поглощающие соединения вещества. Для газа приемлемыми являются длины волн 514 и 532 нм.

В данный момент наиболее интересной и актуальной разработкой является патент США №US6490029B1 «Автоматический метод анализа сырых нефтяных масел с использованием спектроскопии», который исследует принцип добавления дополнительного аппарата для анализа отдельных компонентов нефти. Данный принцип предложили ученые из Кореи Cho In-Но, Choi Jin-Кун, Chung Ное-II.

Данный патент описывает автоматический способ анализа сырой нефти с использованием спектроскопии. Анализ физических свойств происходит после отделения нефтяного дистиллята от сырой нефти. Данный процесс осуществляется с помощью устройства для спектроскопического анализа в ближнем инфракрасном диапазоне, объединенного с дистилляционным аппаратом. Данная система является экономически и эффективно выгодной, т.к. приводит к значительному повышению точности и удешевлению анализа. Также данная разработка уменьшает время исследования, благодаря чему один оператор может получить полную информацию о свойствах и характеристиках проанализированной сырой нефти в течение двух дней.

Патент Китая №CN103399001A «Способ идентификации сырой нефти на основе микроскопического конфокального спектра комбинационного рассеяния» от Univ Dalian Maritime, изобретателями которого являлись Yu Yingtao, Qu Peiling, Wang Jinzhi, Liu Hongya, раскрывает способ идентификации сырой нефти, основанный на микроскопическом конфокальном спектре комбинационного рассеяния света. Способ включает в себя несколько этапов: с помощью изменения параметров спектрометра комбинационного рассеяния получают три различных типа дактилоскопических данных образца сырой нефти и проводят кластерный анализ дактилоскопических данных с целью получения результатов кластеризации сырой нефти. Типы дактилоскопических данных отличаются по выраженности характеристик рассеяния и влиянию флуоресценции. Данные со значительными характеристиками комбинационного рассеяния и слабыми характеристиками флуоресценции, дактилоскопические данные со значительными характеристиками флуоресценции и слабыми характеристиками комбинационного рассеяния и дактилоскопические данные со значительными характеристиками комбинационного рассеяния и флуоресценцией характеристики. Благодаря данному изобретению можно устранить неопределенные факторы и ошибки, вызванные вычитанием базовой линии традиционным программным обеспечением для обработки комбинационных данных в режиме полиномиальной подгонки. С помощью взаимного дополнения и проверки результатов кластеризации трех типов дактилоскопических данных точность и достоверность результатов идентификации сырой нефти могут быть значительно улучшены, может быть обеспечена важная основа для определения ответственности и экономической компенсации случаев разлива нефти, а также может быть обеспечена теоретическая основа для изучения механизма миграции и трансформации разливов нефти в процессах борьбы с загрязнением окружающей среды.

Нормативная база рамановской спектроскопии/спектроскопии комбинационного рассеяния недостаточно развита в Российской Федерации, поэтому она, как метод анализа,

указана только в ГОСТ ISO/TS 80004-6–2016. «Нанотехнологии. Характеристики нанообъектов и методы их определения». КР спектроскопию отнесли к методам химического анализа, она приведена только как термин и не имеет описания в данном ГОСТе.

Данный стандарт является основополагающим для разработки других стандартов на термины и определения в области нанотехнологий, затрагивающих вопросы определения характеристик нанообъектов.

Измеряемые вещества нефть и газ имеют свои ГОСТы: ГОСТ Р 51858–2020. «Нефть. Общие технические условия» распространяется на нефть, подготовленную к транспортировке и/или использованию, выпускаемую в обращение и находящуюся в эксплуатации, а также поставляемую на экспорт», ГОСТ 1510–84. «Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение», устанавливающий виды тары, хранилищ и транспортных средств для нефти и нефтепродуктов, требования к их подготовке, заполнению и маркировке, условия перевозки и хранения, а также требования безопасности при упаковывании, перемещении и хранении нефти и нефтепродуктов [2].

Одним из основных свойств нефти является плотность. ГОСТ 3900–85. «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» регламентирует подходы к определению плотности нефти и нефтепродуктов ареометром. (Ареометр – это прибор, применяемый для измерения плотности жидкости и удельного веса разведенных в ней веществ. Принцип работы прибора основан на законе Архимеда — сила, действующая на погруженное в жидкость тело, численно равна его объему (или погруженной части). В связи с тем, что каждое вещество имеет собственную, отличающуюся от других, плотность погружаемых в них прибор опустится на определенную глубину, соответствующую аналогичной плотности вещества). Принцип работы данного метода заключается в погружении ареометра в испытуемое вещество, далее снимаются показания по шкале ареометра при температуре определения и в пересчете результатов на плотность при температуре 20°C [3].

Что касается газа, одним из основных стандартов является ГОСТ 31370–2008 (ISO 10715:1997) «Газ природный. Руководство по отбору проб». Данный стандарт относится ко всем методам отбора проб предварительно обработанного природного газа.

Результаты определения состава и свойств газа в большой степени зависят от метода отбора проб. Немаловажными факторами являются: назначение исследуемых веществ, конструкция систем отбора проб, монтаж и техническое обслуживание систем, а также условия передачи и перевозки образцов.

Главным приоритетом стандарта являются системы и методы отбора проб. Результаты анализа образцов, отобранных с помощью описанных систем и методик, могут использоваться для различных целей, включая вычисления для определения теплоты сгорания природного газа и плотности, идентификации примесей, содержащихся в потоке газа, и информацию о составе для выяснения вопроса, соответствует ли данный поток требованиям договора о поставке (контракта) [4].

ГОСТ 5542–2022. «Газ природный промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия» охватывает природный газ, который используется в качестве сырья и/или топлива промышленного и коммунально-бытового назначения, в том числе получаемый при регазификации сжиженного природного газа.

В ГОСТ 34770–2021. «Газ природный. Стандартные условия измерения и вычисления физико-химических свойств» установлены стандартные условия определения, к которым приводят измеренные или вычисленные значения объемного расхода, объема, плотности, относительной плотности, коэффициента сжимаемости, объемной теплоты сгорания, числа Воббе природного газа, массовых концентраций компонентов и примесей, содержащихся в природном газе, а также стандартные условия сгорания природного газа.

ГОСТ 22387.2–2021. «Газ природный. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы» определяет методы определения сероводорода и меркаптановой серы в природном газе. Массовая концентрация сероводорода и меркаптановой серы в природном газе является одним из важнейших показателей качества. Присутствие серосодержащих соединений

в природном газе негативно сказывается на внутреннюю поверхность газопроводов, аппаратуры и арматуры, а также вызывает коррозию. К тому же серосодержащие соединения отравляют катализаторы на перерабатывающих заводах, в автомобилях, работающих на природном газе, и тем самым снижают эффективность производства, что негативно сказывается на уровне загрязнения окружающей среды [5].

Спектроскопия комбинационного рассеяния нефти или газа активно применяется при экспериментальных исследованиях, однако не имеет широкого распространения. Ограниченность применения данного метода связана прежде всего с отсутствием необходимых ГОСТов и нормативных документов, регламентирующих применение как рамановского спектрометра, так и саму процедуру проведения исследований.

#### **Список использованных источников**

1. Антипенко В.Р., Лукьянов В.И. Определение удельного показателя поглощения нефтей и нефтяных фракций в видимой области спектра // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315. №. 3. С. 92–96.
2. ГОСТ 51858–2020. Нефть. Общие технические условия. – Введен 01.10.2020. – М: Стандартинформ. 2021. 14 с.
3. ГОСТ 3900–85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. – Введен 01.01.1987. 1987. 36 с.
4. ГОСТ 31370–2008. Газ природный. Руководство по отбору проб. – Введен 01.01.2010. – М: Стандартинформ. 2009. 46 с.
5. ГОСТ 22387.2–2021. Газ природный. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы. – Введен 01.07.2022. – М: Российский институт стандартизации. 2021. 56 с.

УДК 53.59

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГИДРОЛИЗА ПЕРО-ПУХОВОГО СЫРЬЯ

*Шанин В.А.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Алексеев Г.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: shanin.vyacheslav@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620147. «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики»*

---

В настоящей работе описана методика гидролиза кератинсодержащего сырья (пух, перо) при использовании обработки ультразвуком. Были определены оптимальные режимы работы оборудования, при которых достигается высокая растворимость получаемого белка. Выполнены измерения скорости растворения перопухового сырья при обработке УЗ и без нее и определено содержание протеина в готовом гидролизате.

### **Ключевые слова**

Ультразвуковое экстрагирование, биологически активные вещества, сырье животного происхождения, утилизация пухо-перьевых отходов, щелочной гидролиз кератина, сохранение полимерной структуры.

---

В настоящее время в пищевой промышленности одной из самых важных задач является разработка высокоэффективного оборудования для решения проблем современного производства. Использование ультразвука в производстве значительно ускоряет процесс гидролиза, увеличивает выход целевых компонентов в раствор и снижает себестоимость гидролизата [1]. Научная новизна исследования заключается в создании новой высокоэффективной методикой обработки перопухового сырья, позволяющее значительно повысить эффективность процесса гидролиза и подобрать оптимальных методов оценки качества получаемого продукта [2, 3].

В статье рассматривается возможность применения ультразвуковой обработки для получения белкового продукта высокой растворимости из перопухового сырья. Была разработана конструкция ультразвукового гидролизатора, который позволяет получать высокоусвояемый белок из побочного продукта птицефабрик с высоким массовым выходом при минимальных временных и энергетических затратах.

Особенностью исследования является разработка новой высокоэффективной методики обработки перопухового сырья, которая значительно повышает эффективность процесса гидролиза веществ, обладающих высокой биологической и пищевой ценностью из животного сырья.

Кератин, который представляет собой молекулы белка, скрученного в двойную спираль и связанные друг с другом водородными и дисульфидными связями, играет важную роль в процессе переработки перопухового сырья. Он формирует протофиламенты, протофибриллы и промежуточные филаменты, которые образуют нитевидные структуры, являющиеся частью цитоскелета клеток.

Переработка птицы на птицефабриках приводит к образованию большого количества перьевых отходов. Некоторые предприятия просто утилизируют эти отходы, некоторые же перерабатывают их в перьевую муку, которая используется в качестве удобрения или кормовой добавки для животных. Однако, использование ультразвуковой обработки позволяет получать

высокоусвояемый белок из перопухового сырья с высоким массовым выходом, что делает его более ценным и экономически выгодным сырьевым продуктом.

Переработка перопуховых отходов представляет собой сложный процесс, который включает несколько стадий. Необходимо провести очистку сырья от помета, песка и других примесей, после чего произвести высушивание. Затем следует гидролиз - наиболее трудоемкий и энергоемкий процесс. Для разрыва водородных и дисульфидных связей в молекулах кератина, который является основным компонентом пера и пуха, требуется нагревание сырья до 150–180 °С и давление 5.0–15.0 мПа. Таким образом, можно получить легкоусвояемый кератин первичной структуры, который готов к использованию.

Исследования показали, что использование ультразвука в процессе гидролиза может значительно ускорить процесс. Ультразвук способствует разрушению дисульфидных связей, так как молекулы воды и реагентов под воздействием кавитации активно проникают между молекулами-мономерами кератина. Это позволяет значительно сократить время гидролиза и повысить его эффективность [4].

Для подтверждения эффективности использования ультразвука в процессе гидролиза кератина в перопуховом сырье была проведена серия лабораторных испытаний для сравнения скорости растворения сырья при традиционном гидролизе и в поле ультразвукового излучения.

Гидролиз проводился в кислой среде (HCl 1÷9%). Для обеспечения ультразвуковой обработки использовалась колебательная система в виде электроакустического преобразователя, генератора ультразвуковых колебаний – И10-840, от производителя ИНЛАБ номинальной мощностью 1 кВт, с возможностью работы на частотах 22кГц и 44кГц. Результаты измерений приведены на рисунке.

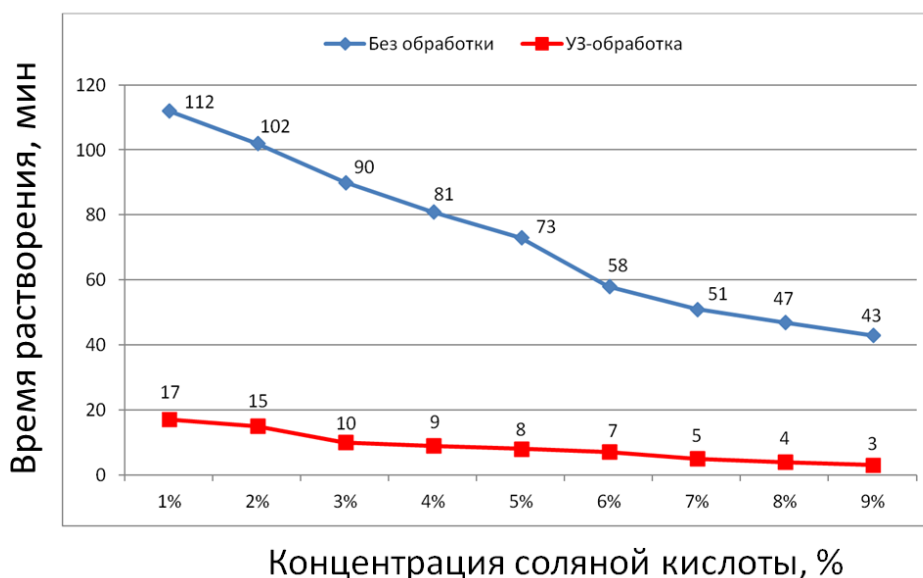


Рисунок. Сравнение скорости растворения пера при обработке УЗ и без обработки

Основным показателем качества перьевой муки является содержание протеина, согласно ГОСТ 17536–82 «Мука кормовая животного происхождения» содержание сырого протеина должно быть не менее 75%. Определение протеина в составе полученной муки определяют согласно ГОСТ 17681–82. В таблице приведены результаты измерений.

По полученным данным заметно, что наибольшее содержание протеина в гидролизате находится в образцах, обработанных 1% раствором соляной кислоты и ультразвуковым излучением частотой 22 кГц сужающимся волноводом. Наиболее оптимальные значения гидромодуля – 1:10 и 1:20. Предполагается, что низкая эффективность гидролиза при высоких концентрациях кислоты связана с деструкцией аминокислот из-за жестких условий обработки. Для проверки гипотезы необходимо провести исследования количественного аминокислотного состава готового гидролизата.

**Определение содержание протеина в готовом гидролизате**

Образец	Протеин, %			
	Гидро модуль			
	1:10	1:20	1:30	1:40
1%(22кГц) сужающийся	89	89	87	86
3%(22кГц) сужающийся	85	85	84	83
6%(22кГц) сужающийся	82	80	79	79
9%(22кГц) сужающийся	80	79	78	77
1%(44кГц) сужающийся	85	84	83	82
3%(44кГц) сужающийся	84	83	82	81
6%(44кГц) сужающийся	82	81	80	79
9%(44кГц) сужающийся	81	80	79	78
1%(22кГц) расширяющийся	82	82	81	80
3%(22кГц) расширяющийся	85	84	83	82
6%(22кГц) расширяющийся	84	83	82	81
9%(22кГц) расширяющийся	80	79	78	77
1%(44кГц) расширяющийся	78	78	77	76
3%(44кГц) расширяющийся	81	80	79	78
6%(44кГц) расширяющийся	80	79	78	78
9%(44кГц) расширяющийся	76	75	74	73

Результаты экспериментов подтверждают эффективность методов оптимизации технологического процесса переработки кератинсодержащего сырья. На основании результатов экспериментального исследования были определены скорость растворения перопухового сырья при ультразвуковой обработке и проведено сравнение со скоростью традиционного гидролиза, определен показатель содержания протеина в сухом гидролизате и подобраны оптимальные параметры процесса гидролиза кератинсодержащего сырья.

**Список использованных источников**

1. Краткое описание применений звука и вибрации в приборах и технологиях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.dynatecs.ru/02.0](http://www.dynatecs.ru/02.0) (дата обращения: 03.03.2023).
2. Хмелев В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алтайский государственный технический университет. БТИ. – Бийск: Изд-во Алтайского государственного технического университета. 2010. 203 с.
3. Акопян В.Б. Основы взаимодействия ультразвука с «биологическими объектами» (ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии) / В.Б. Акопян, Ю.А. Ершов. М.: Изд-во РГТУ им. Н. Э. Баумана. 2005. 300 с.
4. Балдаев Радж Применения ультразвука / Р. Балдаев, В. Раджен-дран. М.: Техносфера. 2006. 576 с.

УДК 621.8.036

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЫНКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Шевченко А.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: Nastyatimoshevskaya@mail.ru*

*Работа выполнена по заданию органов государственной власти 2022/2023 учебном году «Оценка экономической и социальной эффективности рынка тепловой энергии на территории Санкт-Петербурга»*

---

В работе рассмотрен современный рынок тепловой энергии в Санкт-Петербурге. Представлена нормативно-правовая база, которая регулирует отношения участников в сфере теплоснабжения. Федеральные законы, Постановления Правительства, Приказы формируют надзор и контроль на рынке теплоснабжения в Санкт-Петербурге. Позиционированы крупнейшие поставщики тепла, а также источники теплоснабжения. Явным образом обозначены существенные проблемы, с которыми сталкивается рынок тепловой энергии из года в год. Отсутствие конкуренции, задолженность за тепловую энергию у конечных потребителей, устаревание оборудования и материалов. Необходима разработка эффективных технологий для оптимального решения поставленных задач. Чётко обозначены пути решения проблем – создание единой теплораспределяющей организации, которая будет являться единым центром ответственности по вопросам тепловой энергии перед государством и населением. Единая теплораспределяющая организация будет целостной структурой, которая образует связь между поставщиками и конечными потребителями тепловой энергии на рынке.

### **Ключевые слова**

Рынок тепловой энергии, тепловая энергия в Санкт-Петербурге, единая теплораспределяющая организация, ресурсоснабжающая организация, теплоснабжение, энергоснабжающая организация, тариф на тепловую энергию.

---

Современная система теплоснабжения в Санкт-Петербурге является основой жизнеобеспечения, от состояния которой напрямую зависят условия выживания населения. Сферу рынка тепловой энергии регулирует власть Российской Федерации на законодательном основании. В Федеральном законе № 190 «О теплоснабжении» приведены термины и определения, касающиеся сферы тепловой энергии. Закон обозначает принципы экономических взаимоотношений, которые возникают в связи с выработкой, транспортировкой и потреблением тепловой энергии. Важно, что закон устанавливает полномочия органов власти Российской Федерации по управлению и контролю рынка тепловой энергии. Права и обязанности участников сферы теплоснабжения также прописаны в Федеральном законе «О теплоснабжении». Доступно обозначены разграничения потребители тепловой энергии и теплоснабжающие организации [1]. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 августа 2012 года под номером 808 информирует об организации теплоснабжения в Российской Федерации. Также данное Постановление утверждает прилагаемые правила организации теплоснабжения. Правила обозначают обязательный порядок организации тепловой энергии потребителей, требования договоров теплоснабжения и оказания услуг по получению теплоэнергии. Чётко прописаны условия ограничения и прекращения передачи тепловой энергии в ситуации пренебрежения требованиями подписанных договоров [2]. Рынок тепловой энергии в Санкт-Петербурге весьма разнообразен. Перечень компаний, в отношении которых в 2023 году осуществляется тарифное регулирование, представлен 52 организациями. Стоит

отметить, что данные организации используют в качестве источников теплоснабжения котельные и теплоэлектроцентрали. Для анализа эффективной работы энергоснабжающих организаций выбраны те компании, у которых полезный отпуск тепловой энергии за год превышает один миллион гигакалорий. Крупнейшими компаниями, которые участвуют в отоплении объектов инфраструктуры города представлены в таблице.

Таблица

Организация	Крупнейшие энергоснабжающие организации Санкт-Петербурга	
	Полезный отпуск, Гкал	
	2022 год	2023 год
ГУП «ТЭК СПб»	18 279 507,00	18 407 569,00
ПАО «ТГК-1» филиал Невский	18 779 251,49	18 778 962,40
ООО «Петербургтеплоэнерго»	2 972 957,60	2 977 442,77

По данным таблицы можно сделать вывод, что ГУП «ТЭК СПб» и ПАО «ТГК-1» филиал Невский выпускают схожее количество тепловой энергии, чего нельзя сказать о ООО «Петербургтеплоэнерго». Однако, именно эти энергоснабжающие организации составляют основную структуру рынка тепловой энергии Санкт-Петербурга в 2023 году [3].

Рынок тепловой энергии представляет собой транспортирование энергии от источника к потребителю. Энергоснабжающие компании эксплуатируют различные источники теплоснабжения. Котельные и теплоэлектроцентрали, которые вырабатывают тепловую и электрическую энергии. Тепловые сети являются важным элементом технического обеспечения рынка тепловой энергии. От состояния теплосетей существенно зависит качество теплоэнергии для потребителя. В Санкт-Петербурге на данный момент функционирует около 9000 км тепловых сетей. В это число входят теплосети, которые в эксплуатации свыше 30 лет. Срок службы тепловых сетей нормирован в СП 123.13330.2012 Свод правил тепловые сети. В данном Своде Правил указан срок службы трубопровода при проектировании сетей – не менее 30 лет. Стоит заметить, что срок службы тепловой сети изначально обозначается заводом-изготовителем трубопроводной продукции и строго прописывается в паспорте трубопровода. Однако, если изготовитель не определяет срок, то в зависимости от предела срок определяется Сводом Правил. Во всяком случае, трубопроводы подвержены многим факторам, которые значительно уменьшают их срок эксплуатации. Срок службы тепловой сети зависит от ряда факторов. Неисправности тепловых сетей возможны из-за течи в сварных соединениях, из-за трещин в трубопроводах, из-за недостаточного затягивания болтов, либо вследствие низкого качества сварочных работ. Очевидно, что замена теплосети, которой более 30 лет, является первоочередной. Острой проблемой современного рынка теплоснабжения представлен износ оборудования. Износ оборудования может возникнуть из-за увеличения срока его службы изделия, из-за неправильной эксплуатации оборудования, либо из-за технологических и производственных дефектов. Увеличение срока службы оборудования – это использование трубопровода после окончания рекомендуемого срока службы. Неправильная эксплуатация оборудования – нарушения в результате использования трубопровода. Сюда относятся любые работы, которые происходят с трубопроводом в течение его эксплуатации. Отсутствие плотности в сварных соединениях при установке трубопровода, нарушение в обязательном графике температуры воды, либо неисправность изоляционных материалов теплосети. Производственные дефекты образуются ещё на предприятии-изготовителе теплосети. Производственные дефекты могут быть скрытыми, их присутствие может быть замечено только в результате эксплуатации. Распространённым производственным дефектом является не качественное применяемое сырьё. Вследствие этого трубопровод на выходе получается низкого качества и уже не сможет оправдать заявленный срок службы. Потери тепловой энергии негативно сказываются на эффективности теплоснабжения. Чаще всего потери зависят от неисправности теплоизоляционного материала. Изоляция тоже формируется с учётом срока эксплуатации материала. Теплоизоляционный материал должен соответствовать всем стандартам Российской Федерации. Теплоизоляция трубопровода в первую очередь должна



интересовать владельца тепловых сетей. Изоляция помогает минимизировать потери тепловой энергии, а соответственно и ресурсы теплоснабжающей организации. В совокупности эти проблемы повышают аварийную ситуацию на тепловых сетях. Из-за аварий страдает не только тепловая сеть, но и конечный потребитель. В список проблем рынка тепловой энергии входит и задолженность населения за пользование теплоснабжением. Фактически доходы населения падают, а постоянное повышение тарифов на тепловую энергию только усугубляет социальное положение в Санкт-Петербурге. У населения возникают вопросы о росте счетов и снижении качества предоставляемых услуг в сфере теплоснабжения. Для эффективного решения этих насущных проблем необходим комплексный подход. Важна разработка эффективных мер для решения совокупности задач. Важно не решать каждую проблему последовательно, а параллельно взять во внимание несколько задач. Социальная и экономическая эффективность будет намного выше. В 2023 году рынок тепловой энергии в Санкт-Петербурге представлен 52 энергоснабжающими организациями. За каждой компанией закреплён участок, который необходимо снабдить тепловой энергией. При существующем положении дел на рынке реализуется два возможных варианта развития событий. Первый вариант – это энергоснабжающая компания напрямую сбывает произведённую тепловую энергию потребителям по собственным сетям. Второй возможный вариант – организация производит теплоэнергию и продаёт тепловую энергию другой энергоснабжающей компании посредством заключения договора. Таким образом, увеличивается себестоимость теплоснабжения, обусловленная экономически неоптимальной загрузкой генерирующих мощностей. Вследствие этого возникает необходимость контроля процесса теплоснабжения, проведение анализа показателей, используемых для оценки качества и надёжности систем тепловой энергии. К актуальным и первоочерёдным задачам сегодняшнего дня относится разработка перспективных энергоснабжающих технологий, которые позволят увеличить экономический и социальный эффект в сфере теплоснабжения.

Разработка модели единой теплораспределяющей организации (ЕТРО) подразумевает под собой единый центр управления теплоснабжением в Санкт-Петербурге. Высока целесообразность организации единой теплораспределяющей площадки - организации, которая будет выполнять функции контроля и являться единым центром ответственности за процесс транспортировки тепла [4]. Создание единой теплораспределяющей организации возможно на базе крупной теплосетевой компании с возможным участием организаций-поставщиков тепла. Планируется на базе одного из крупнейших источников тепла открыть ЕТРО. Важной особенностью существования ЕТРО является кольцевая схема теплоснабжения. При кольцевой схеме участки трубопроводов соединяются между собой, образуя непрерывный цикл. Данный факт является основным при разработке единой организации. ЕТРО должна получить доступ ко всем источникам тепловой энергии в Санкт-Петербурге. Вся теплоэнергия от источников будет проходить через ЕТРО к конечному потребителю. ЕТРО будет осведомлён о каждом транспортировании энергии. ЕТРО создаст на рынке тепловой энергии естественную монополию. Между этим конкуренция среди нынешних участников производства тепловой энергии будет расти. ЕТРО утвердит стандарты качества тепловой энергии, которые будет приобретать у энергоснабжающих организаций. Получается, что источник тепловой энергии будет заинтересован, чтобы именно у него ЕТРО приобретала энергию для потребителей. Конкуренция также затронет стоимость тепловой энергии. ЕТРО будет покупать тепловую энергию у поставщиков, чья цена будет интереснее на рынке. Прежде всего ЕТРО разработает рекомендации для повышения энергоэффективности, которые можно будет применить к любому источнику теплоэнергии. Естественная монополия позволит оптимизировать затраты. Также появится возможность следовать единым стандартам на предоставляемые услуги в сфере теплоснабжения. Кроме того, наличие внутренней иерархии и системы договорных отношений сократит потери, связанные с возможным риском и неопределённостями. Система единого центра позволит наделить ЕТРО ответственностью перед конечными потребителями, снизить стоимость производства и транспортировки тепловой энергии путём исключения из тарифа условно-постоянных затрат по передаче тепловой энергии. ЕТРО выступает в роли посредника

между энергоснабжающей организацией и потребителями. Модель «единого центра» для конечных потребителей. ЕТРО будет заниматься естественной монополией по транспортированию и передаче тепловой энергии по тепловым сетям. Так как производство тепла на теплоисточниках относится к конкурентной сфере деятельности, то тепловая энергия будет приобретаться у независимых тепловых источников посредством свободного ценообразования. Однако, теплоэнергия поставляемая конечным потребителям, будет под контролем государственного регулирования. Планируется создать ЕТРО на базе крупного предприятия и тепловых сетей. В ЕТРО предполагается присутствие контролирующего органа, цель которого надзор за соблюдением регламентов реализуемой модели рынка. Также необходим регулятор, который будет влиять на взаимоотношения участников теплоснабжения. С помощью данной модели рынка в Санкт-Петербурге в полной мере будет реализован метод «альтернативная котельная». Альтернативная котельная подразумевает под собой покупку тепла у готового источника тепловой энергии. ЕТРО и энергоснабжающие компании договариваются о цене на тепловую энергию. Тариф, который формируется по цене «альтернативной котельной», должен приниматься в качестве предельного уровня, выше которого тариф не может подняться. Тарифы на теплоснабжение должны формироваться с учётом мнения поставщиков и потребителей тепловой энергии. Рынок тепловой энергии должен быть эффективным для всех участников сферы теплоснабжения. В ЕТРО будет существовать схема общего регламента. Единые стандарты будут разработаны как для ЭСО, так и для конечного потребителя. ЕТРО решит часть задач по коммуникации между государством – источников теплоэнергии – потребителем. В итоге каждая сторона выиграет от этого взаимодействия. Единая база данных поможет сохранить такой ресурс, как время. ЕТРО будет брать на себя роль обеспечения единства измерений в сфере теплоснабжения. Приборы учёта тепловой энергии и их обслуживание возьмёт на себя ЕТРО. Таким образом решится часто встречающаяся проблема жильцов – поверка приборов. Для этого нужно будет создать базы данных и разработать автоматическую систему оповещений о состояниях приборов учёта. Она сможет организовать сотрудничество между энергоснабжающими компаниями и потребителями тепловой энергии, разработать рекомендации для энергоснабжающих компаний, которые помогут сохранить ресурсы и улучшить производство. С помощью данной организации произойдёт разделение потенциально конкурентных и монопольных видов деятельности. Создание стимулов по сокращению сетевых ограничений и пересмотр тарифной системы для населения [5].

Теплоснабжение Санкт-Петербурга требует комплексного преобразования. На рынке тепловой энергии Санкт-Петербурга накоплены многие проблемы, которые не сможет в одночасье решить одна из энергоснабжающих организаций. Необходимо сплотить силы всех производителей тепла для улучшения ситуации на рынке тепловой энергии в Санкт-Петербурге. Для повышения социальной эффективности нужно наладить сотрудничество между энергоснабжающими предприятиями и населением. Потребители должны понимать за что они платят. Для населения важно получать качественную и бесперебойную тепловую энергию. Сюда входит износ оборудования, возможность аварийных ситуаций, постоянное повышение тарифа на тепловую энергию. Для роста экономической эффективности необходимо организовать работу качественно, но с минимальными затратами. Основные источники затрат для энергоснабжающих предприятий — это износ оборудования. Износ оборудования приводит к аварийным ситуациям, куда подключаются и человеческие ресурсы для устранения аварии. Необходимы эффективные меры по оптимизации рынка теплоснабжения. Следует создать единый центр управления и ответственности тепловой энергией в Санкт-Петербурге. В работе обоснована целесообразность создания единой теплораспределяющей организации, которая будет нести ответственность как за теплоснабжение города, так и за деятельность теплоснабжающих организаций в целом (ремонтные работы, ценовые изменения, методические разработки). Представляется, что ЕТРО станет единым центром развития теплоснабжения в Санкт-Петербурге.

**Список использованных источников**

1. Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» - Введён 30.07.2010 - Официальное издание. М.: Стандартинформ. 2010. 95 с.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 08.08.2012 № 808 «Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» - Введён 08.08.2012 - Официальное издание. М.: Стандартинформ. 2012. 62 с.
3. НП "РосТепло". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rosteplo.ru/> (дата обращения: 26.02.2023).
4. ГОСТ Р 56828.24–2017 Энергосбережение. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности - Введён 02.01.2018 - Официальное издание. М.: Стандартинформ. 2019. 9 с.
5. ИТС 48–2017 Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности - Введён 01.03.2018 – Росстандарт. 2018. 162 с.

УДК 664. 83

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ФРИ ИЗ СВЕЖЕГО И ЗАМОРОЖЕННОГО СЫРЬЯ

*Юплова В.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Румянцева О.Н.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: valentina.yuplova@gmail.com*

---

В работе рассматривается возможность уменьшения углеродного следа цепочки производства замороженного полуфабриката «Картофель фри». Рассматриваются два варианта схемы производства картофеля фри, где первый вариант содержит длительное низкотемпературное хранение замороженного полуфабриката, тогда как второй вариант содержит длительный этап хранения свежего картофеля. Произведен расчет отходов и потерь обоих вариантов производства, а также расчет сырья, используемого для конкретных процессов. Определены процессы, для которых в дальнейшем будет проведен расчет углеродного следа.

### **Ключевые слова**

Картофель фри, углеродный след, замороженные овощные полуфабрикаты, хранение картофеля, хранение замороженных полуфабрикатов.

---

Актуальность темы исследования обуславливается активным ростом российского рынка замороженных овощных полуфабрикатов и повышением внимания общества к проблемам глобального изменения климата. Данное исследование позволит сформировать рекомендации для производителей замороженных полуфабрикатов с целью достижения углеродной нейтральности, а также может стать основой для изменения негативного мнения общественности по отношению к замороженным овощам [1].

Объект исследования – технологии хранения свежего и замороженного сырья используемого для производства картофеля фри. Предмет исследования – углеродный след технологий хранения свежего и замороженного сырья используемого для производства картофеля фри.

Цель исследования состоит в сравнительном анализе процессов технологии производства картофеля фри из свежего и замороженного сырья, проведение которых образует углеродный след.

Данная цель реализуется с помощью следующих задач:

- разработка схемы двух вариантов производства замороженного овощного полуфабриката;
- расчет масс сырья и продукции, принимающих участие в процессах производственной схемы;
- определение процессов производства, для которых необходимо произвести расчет углеродного следа для проведения сравнительного анализа.

При рассмотрении цепочки производства замороженных овощных полуфабрикатов, как общей системы и проведении границы оценки углеродного следа за пределами процессов производства и заморозки, возможно уменьшить углеродный след системы путем внедрения изменений на других этапах производства или же полным отказом от определенных этапов.

В данном исследовании проводится сравнительный анализ двух вариантов схемы производства, ключевым различием которых, является наличие или отсутствие этапов хранения свежего сырья или замороженного полуфабриката. Далее представлен общий порядок этапов двух вариантов схемы.

---

## Вариант 1

1. Сбор урожая.
2. Транспортировка свежего картофеля к месту производства полуфабриката.
3. Изготовление замороженного полуфабриката.
4. Транспортировка замороженного полуфабриката в место хранения.
5. Хранение замороженного полуфабриката на низкотемпературном складе или же в низкотемпературной холодильной камере (в зависимости от объема произведенной продукции) в течение семи месяцев.
6. Реализация продукта в предприятиях общественного питания или в продуктовых магазинах.

## Вариант 2

1. Сбор урожая.
2. Транспортировка свежего картофеля в картофелехранилище.
3. Хранение картофеля в картофелехранилище на протяжении 7 месяцев.
4. Транспортировка свежего картофеля к месту производства полуфабриката.
5. Изготовление замороженного полуфабриката.
6. Реализация продукта в предприятиях общественного питания или в продуктовых магазинах.

Были определены этапы производства, на которых образуются отходы и потери. В соответствии с нормативными показателями был проведен расчет отходов и потерь, образующихся в процессе производства замороженного полуфабриката картофель фри [2–4]. Расчет был проведен на 100 кг замороженного полуфабриката, поступающего на этап реализации (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты расчета отходов и потерь двух вариантов цепочки производства замороженного полуфабриката «Картофель фри»**

№	Название процесса	Доля отходов и потерь, %	Масса отходов и потерь, рассчитанная для 100 кг готового замороженного полуфабриката, кг
<b>Вариант схемы 1</b>			
1.1	Транспортировка свежего картофеля к месту производства полуфабриката	0,5	0,77
1.2	Изготовление замороженного полуфабриката	32	47,06
Итого отходов и потерь в 1 варианте:			47,83
<b>Вариант схемы 2</b>			
2.1	Транспортировка свежего картофеля в картофелехранилище	0,5	0,99
2.2	Хранение свежего картофеля (Включена разница отходов на этапе очистки)	18,7	35,42
2.3	Транспортировка свежего картофеля к месту производства полуфабриката	0,5	0,77
2.4	Изготовление замороженного полуфабриката	32	47,06
Итого отходов и потерь во 2 варианте:			84,24

На основе результатов расчета была сформирована схема процессов, для которых необходимо произвести расчет углеродного следа.

Эти процессы включают в себя:

- процесс выращивания и сбора урожая;
- процессы транспортировки свежего картофеля;
- процесс хранения свежего картофеля в варианте 2;

- процесс хранения замороженного полуфабриката и транспортировки замороженного полуфабриката в место долгосрочного хранения в варианте 1;
- процессы изготовления замороженного полуфабриката, для которых используется различное количество сырья, в частности: мойка, чистка, доочистка, первичная инспекция, резка и удаление мелочи.

Углеродный след оставшихся процессов для двух вариантов схемы совпадает, поэтому для проведения сравнительного анализа его расчеты не требуются.

Проведенный анализ вариантов производственной схемы позволяет определить процессы производства, энергопотребление которых различается между вариантами схемы. Эти процессы в дальнейшем будут использоваться для расчетов углеродного следа и сравнительного анализа двух вариантов.

По результатам расчета отходов и потерь можно рассчитать изначальную массу картофеля полученного после сбора урожая, необходимого для производства картофеля фри в обоих вариантах. Для первого варианта эта масса составляет 153.99 кг, для второго – 190.4 кг. Очевидна разница, которая влияет не только на объем получаемых отходов, которые необходимо корректно перерабатывать, но также на экономическую составляющую получаемого продукта.

Принимая во внимание высокий вклад углеродного следа от процессов низкотемпературного хранения, в связи с использованием хладагентов, был проведен анализ альтернативных хладагентов (табл. 2), которые можно использовать в дальнейшем для снижения углеродного следа процессов хранения замороженного полуфабриката [5]. В качестве объекта сравнения можно взять широко используемый хладагент – фреон R-134а, показатель глобального потепления которого составляет 1300 CO<sub>2</sub>-экв.

Таблица 2

**Альтернативные хладагенты, их недостатки и показатели глобального потепления**

Название хладагента	Недостатки хладагента	Показатель глобального потепления, CO <sub>2</sub> -экв
Диоксид углерода (R744)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложности в органолептическом определении утечки;</li> <li>• Высокое рабочее давление</li> </ul>	1
Аммиак (R717)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Взрывоопасен;</li> <li>• Горюч;</li> <li>• Вызывает коррозию медных сплавов;</li> <li>• Токсичен</li> </ul>	0
Пропан (R290)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Горюч;</li> <li>• Существуют нормы по минимальной заправке</li> </ul>	3.3
Изобутан (R600)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Может использоваться только в бытовых системах с малой заправкой</li> </ul>	4
Пропилен (R1270)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Горюч;</li> <li>• Существуют нормы по минимальной заправке</li> </ul>	1.8

Таким образом, в ходе проведения работы были:

- разработаны схемы производства замороженного полуфабриката «Картофель фри»;
- произведен расчет масс сырья и продукции участвующих в разных этапах производства;
- определены процессы производства, для которых необходимо произвести расчет углеродного следа для эффективного сравнения вариантов:
  - все этапы, связанные с транспортировкой сырья и продукции, кроме этапа транспортировки и реализации,
  - этапы мойки, чистки и резки, в связи с повышением количества отходов в варианте,
  - этап хранения свежего картофеля во втором варианте и этап хранения замороженного полуфабриката в первом,
  - этап выращивания и сбора свежего картофеля.

В ходе дальнейших исследований предполагается проведение расчета и сравнительного анализа углеродного следа двух вариантов производственной схемы замороженного овощного полуфабриката на примере картофеля фри в двух контрольных точках – один и семь месяцев.

Помимо этого, планируется проведение нутриционного и экономического анализа двух вариантов производственной схемы для комплексности сравнительного анализа.

#### **Список использованных источников**

1. Академия Криофрост: Итоги конференции ИТМО по природным хладагентам. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [clck.ru/33iX23](http://clck.ru/33iX23) (дата обращения: 14.02.2023).
2. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации № 3 и Министерство транспорта Российской Федерации № 2 приказ от 14 января 2008 года «Об утверждении норм естественной убыли картофеля, овощей и бахчевых культур при перевозках различными видами транспорта». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=117170> (дата обращения: 29.12.2022).
3. ВНТП 56–94. Нормы технологического проектирования предприятий по производству картофелепродуктов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293838/4293838819.htm> (дата обращения: 29.12.2022).
4. Технология хранения картофеля / К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук, С.Н. Еланский, С.В. Мальцев – Москва: Картофелевод. 2007. 191 с.
5. Талызин М.С. Проблемы перехода на альтернативные хладагенты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://holodcatalog.ru/entsiklopedii/khladagenty-i-masla/problemy-perekhoda-na-alternativnye-khladagenty/> (дата обращения: 21.12.2022).

## Оглавление

Исследования в области инфохимии для решения фундаментальных и промышленных задач химии и биотехнологии.....	6
Goncharov V.V., Petrova M.S., Belyaev V.E., Domareva N.P. SYSTEMS FOR THE TARGETED DELIVERY OF DRUGS UNDER THE INFLUENCE OF ULTRASOUND .....	7
Лузанова А.М., Федеров Н.С., Головинский Р.П., Тонкий И.С., Щербакова Е.А., Малышев И.Д. ХИМИЧЕСКИЙ ПОИСКОВИК.....	10
Павлова А.А., Ахундзянова А.О., Король А.И., Малеева К.А. САМОСБОРКА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА НА ГРАНИЦЕ ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ МЕТОДА ГИГАНТСКОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ.....	15
Петрова М.С., Гончаров В.В., Домарева Н.П., Беляев В.Е. ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В НЕФТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	20
Деятельность образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы" .....	22
Давыденко М.И. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОГРУЖНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА СИСТЕМЫ ОТГРУЗКИ СПГ.....	23
Живаев В.С., Малышев А.А., Малинина О.С. РАЗВИТИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ И СПИРАЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ.....	27
Колодийчук П.А. МЕТОДЫ ФИЛЬТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ .....	32
Кольцов Н.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В СЕРВЕРНОМ ПОМЕЩЕНИИ.....	36
Лисин А.В. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГАЗИФИКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОТДАЛЕННЫХ ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНОВ.....	41
Мирзоев Д.Х. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП КРЕКИНГА НЕФТИ .....	45
Нежурин Е.В., Никитин А.А. РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ.....	48
Румянцев Д.С. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	52
Сафтли А. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПЕРЕД ОЖИЖЕНИЕМ.....	58
Сереженко Е.С. ОЦЕНКА ПОТЕРЬ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ) ОТ ИСПАРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ.....	64
Федченко Д.Ю. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРЕЦИЗИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ .....	69
Фирсов А.Б. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА САР ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ СКЛАДА ГСМ .....	72



Чубова С.Д. МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ЗАВОДА ПРОЕКТА «САХАЛИН-2».....	75
Шанин В.А., Звягинцев Д.Д., Яшин С.Р. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИФфуЗИИ ГАЗОВ В ЖИДКОСТИ.....	78
Шейн В.М., Никитин А.А., Кривошеев В.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В СИСТЕМАХ РАДИАЦИОННОГО ОТОПЛЕНИЯ .....	84
Современные исследования биотехнологий.....	87
Александрова И.В. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИЩЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА С АНТИОКСИДАНТНЫМИ И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫМИ СВОЙСТВАМИ.....	88
Аль-Ясари А.Х., Алхатиб Р. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПЕКТИНА ИЗ ЯБЛОК.....	91
Амбарцумов Т.Г., Иващенко Л.В., Захарова У.Е. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ КОФЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ .....	95
Ateiah M., Gandalipov E.R. DNA NANOMACHINE (DNM) VIPLEX ASSAY FOR DIFFERENTIATING BACILLUS CEREUS SPECIES ....	100
Басковцева А.С., Баракова Н.В., Алхатиб Р. РАСТВОРИМОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ БИОДОСТУПНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ .....	103
Гринвальд С.А., Баракова Н.В. АНАЛИЗ РЫНКА РЕСТОРАНОВ БЫСТРОГО ПИТАНИЯ.....	106
Ефимов Р.Д. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ АРАМИДНЫХ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	110
Иванова Д.И., Кременевская М.И. ВЛИЯНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРА РОСТА НА РАЗВИТИЕ RIBES NIVEUM В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО- ЗАПАДНОГО РЕГИОНА .....	113
Йимер Г.А., Баракова Н.В. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	116
Комарова П.В., Галлямова Д.Р. АНАЛИЗ РЫНКА УДОБРЕНИЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ .....	119
Крылова И.В., Демьяненко Т.Ф., Шагинова Л.О. ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ ПОЛИСАХАРИДОВ В ПРОЦЕССАХ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОДСОЛНЕЧНОГО БЕЛКА .....	123
Кузнецова А.П., Грескова П.П. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА .....	126
Куприянова С.А., Салихова А.Н., Бойцова Ю.С. АНАЛИЗ ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ ЗАМОРОЖЕННОГО РЫБНОГО ПОЛУФАБРИКАТА ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ОЧНЫХ ИНТЕРВЬЮ.....	132
Матьцина В.В. ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЛЬФОРАФАНА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	136
Наумова А.В., Утсаль В.А., Яркола А.Н., Островидова Е.В. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОИСКУ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БИОМАРКЕРОВ В РЫБЕ И РЫБНЫХ ПОЛУФАБРИКАТАХ.....	139
Оганнесян Ф.А. ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРМЕНТА А-АМИЛАЗЫ ПУТЕМ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ASPERGILLUS NIGER.....	143

Петрий В.М., Алнакуд М. ПРОЛОНГАЦИЯ СРОКОВ ГОДНОСТИ ОЛИВКОВОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ .....	146
Радкевич А.В., Науменко Н.В. РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО СЫРЬЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОБОГАЩЕННЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР .....	151
Рухляда К.А. БИОДОСТУПНОСТЬ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО И НЕОРГАНИЧЕСКОГО СЕЛЕНА .....	154
Силин П.А., Самоделкин М.А. ЭКСТРАКЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА ИЗ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УДАРНО- ДЕЗИНТЕГРАТОРНО-АКТИВАТОРНОЙ ОБРАБОТКИ .....	157
Соловей И.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОПОЛИМЕРОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ .....	159
Ткаченко Е.С., Кутузов А.А. АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНИЦИАТИВ В ЗАВЕДЕНИЯХ ОБЩЕПИТА В РОССИИ .....	162
Трофимов А.А., Бучилина А.С. ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ КРАХМАЛА ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ ПРИ ВЫРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЫ НАПИТКОВ .....	165
Исаева С.А., Ушаева И.У. ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КИЗИЛОВОЙ КОСТОЧКОВОЙ МУКИ В ХЛЕБОПЕЧЕНИИ .....	169
Фролова К.О. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ УПАКОВКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ .....	172
Хасанов Д.Г., Шавронская Д.О., Оганнесян Ф.А., Назарова Е.А., Баракова Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ФЕРМЕНТОВ .....	176
Челомбиткин М.А., Франсеш Пиреш М., Самоделкин М.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА ИЗ ПОЛНОЖИРОВОЙ СОЕВОЙ МУКИ ...	180
Шевякова П.А. ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА С ПОМОЩЬЮ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ .....	184
Шестель А.А., Гаврецкая А.В., Николаев Е.М. РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ ПО ГОСТ Р 57219-2016 .....	188
Шестель А.А., Гаврецкая А.В. РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕКЛАРАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФЕРМЕНТАТИВНО- МОДИФИЦИРОВАННОГО МЯСНОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ .....	192
Венедиктова Е.Н., Яковлева А.Я. АНАЛИЗ РЫНКА МОЛОЧНЫХ КАКАО-НАПИТКОВ В РОССИИ .....	196
Экология и устойчивое развитие .....	202
Sergienko O., Rakhmanov Y., Agafonov A., Gubaidullina D., Kolpikova V., Anikieva D. COMPARATIVE ANALYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING TECHNOLOGIES TO PRODUCE HEAT AND ELECTRICITY .....	203
Агафонов А.Р. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВОГО ШЛАМА. ОПЫТ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НЕФТЕСЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ В РЕШЕНИИ ВОПРОСА И ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	209
Багадурова А.Р. ПОЛУЧЕНИЕ ТОВАРНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПЛАСТИКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ .....	216

Барабанова А.А. ВКЛЮЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ СХЕМУ ЛИНИИ СОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ УЗЛА ОТБОРА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ.....	220
Вертелецкий Е.Д. СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННОЙ И МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ КОМБИНАТОВ .....	224
Габидулина З.А. ВЫЯВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ ВИДОВ ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....	228
Гаврецкая А.В., Шестель А.А., Николаев Е.М. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ ХИТОЗАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ.....	232
Гаврецкая А.В., Шестель А.А. РАСЧЕТ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ .....	235
Gimatdinova A.G. PROPOSAL OF THE INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM OF FOOD WASTE COMPOSTING IN RUSSIAN FEDERATION .....	239
Горбулина А.Р., Кузнецова К.Г., Письменная А.П. ПОЛУЧЕНИЕ КОРМОВОГО БЕЛКА ИЗ ЛИЧИНОК МУХИ ВИДА ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА (HERMETIA ILLUCENS).....	245
Данилов А.В., Тумин Е.И. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ....	249
Желначева П.В., Кулешова Т.Э. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНОГО ИЛА В РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНОМ ТОПЛИВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ .....	255
Ишутина Е.О., Ишутина Е.О. ОСОБЕННОСТИ СУДОВЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....	258
Ишутина Е.О. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА .....	263
Волков А.Р., Макаренко Е.Д., Ким А.А. ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ИЗ ОТХОДОВ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ .....	267
Клиновая М.Д., Бармина Д.А., Шварцмен А.С., Бухарова А.С., Кузнецова К.Г. ОТНОШЕНИЕ ЛЮДЕЙ К ЦУР И РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ГОСУДАРСТВА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ В РОССИИ .....	270
Kolpikova V.O. SUSTAINABILITY IN THE ELECTRONICS INDUSTRY .....	276
Kudriavtseva S.V. OPTIONS FOR SCALING ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS IN KAZAKHSTAN .....	280
Kudriavtseva S.V., Savoskula V.A. DIGITAL WASTE MANAGEMENT BASED ON TELEGRAM CHANNEL .....	286
Kudriavtseva S.V. ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC PROBLEMS OF RDF/SRF UTILIZATION.....	290
Максименко Н.И. МИКРОБНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ КАК УЧАСТНИК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ .....	295
Малиновская П.Н. НЕФТЕШЛАМ КАК ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ.....	298
Матвеева Ю.Г., Сергиенко О.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ МАСЛЯНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ КАК СПОСОБА СОКРАЩЕНИЯ КИСЛОГУДРОННЫХ ОТХОДОВ .....	302

Medvedeva Y.A., Kutko D.V., Abubakr Mustafa M.A. SUSTAINABILITY APPRAISAL OF GENERATOR GAS PRODUCTION IN MSW UTILIZATION .....	308
Моисеенко Е.Н., Румянцева О.Н. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЛИСИЧКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (CANTHARELLUS CIBARIUS) .....	314
Молодых А.П., Николаев Е.Н. COMPARATIVE ANALYSIS OF BIODEGRADABLE PLASTIC PRODUCTION TECHNOLOGIES .....	317
Monzul N.A. ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF TECHNICAL EQUIPMENT IN THE RESTAURANT BUSINESS .....	323
Некрасова А.С. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ МЕРОПРЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ РЖД В СООТВЕТСТВИИ С КОНЦЕПЦИЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ .....	326
Николаев Е.М., Шанин В.А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	329
Нугуманова А.А. АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЛЮМИНИЕВОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДОБЫЧИ И ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ .....	334
Подкопаева А.А. ПРОБЛЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ОТ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ПОЛИГОНАХ ТКО .....	339
Подледнева Л.В., Соколов А.А. ЗОЛЬНОСТЬ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК» .....	341
Походня Е.И., Юльметова Р.Ф., Моисеенко Е.Н., Динкелакер Н.В. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСЕННЕГО ЛИСТОВОГО ОПАДА, ЗАГРЯЗНЁННОГО ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, ДЛЯ КОМПОСТИРОВАНИЯ .....	345
Пузырева Д.И., Строганова М.С. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ «БАЛТИЙСКИЙ БЕРЕГ» НА СМОЛЯЧКОВ РУЧЕЙ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ .....	352
Редько А.С., Сергиенко О.И. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗООЧИСТКИ НА АНОДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	355
Рыженкова А.В. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В ПОЛИОЛЫ .....	361
Riabkova I.I. TECHNO-ECONOMIC COMPARISON OF OPTIONS FOR BIOGAS UPGRADING FROM BIOGAS PLANTS .....	365
Samoylova A.S., Mesropyan E.R., Nikitina E.V. Sergienko O.I., Rakhmanov Y.A. APPLICATION OF PYROLYSIS TECHNOLOGIES FOR RECYCLING SOLID MUNICIPAL WASTE IN MEGACITIES .....	369
Туганова Р.С., Юльметова Р.Ф. СОЗДАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ .....	375
Фахртдинова С.З. МЕСТО ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ В ИТС НДТ .....	379
Хованская Ю.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТИ И ГАЗА .....	383
Шанин В.А. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГИДРОЛИЗА ПЕРО-ПУХОВОГО СЫРЬЯ .....	387

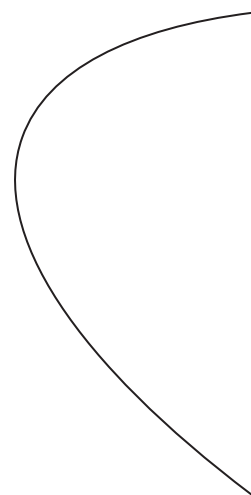
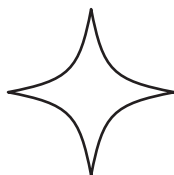
Шевченко А.А. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЫНКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	390
Юпова В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ФРИ ИЗ СВЕЖЕГО И ЗАМОРОЖЕННОГО СЫРЬЯ .....	395

**Альманах научных работ  
молодых ученых  
Университета ИТМО  
Том 2**

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО  
Зав. РИО  
Дизайн обложки

Вёрстка  
Подписано к печати 17.11.2023  
Заказ № 4757 от 17.11.2023  
Тираж 100 экз.  
Печатается в авторской редакции

Н.Ф. Гусарова  
отдел развития бренда  
Университета ИТМО  
К.Д. Бутылкина



ISBN 978-5-7577-0695-5



9 785757 706955

**Редакционно-издательский отдел  
Университета ИТМО**

197101, Санкт-Петербург,  
Кронверкский пр., д. 49, литер А