

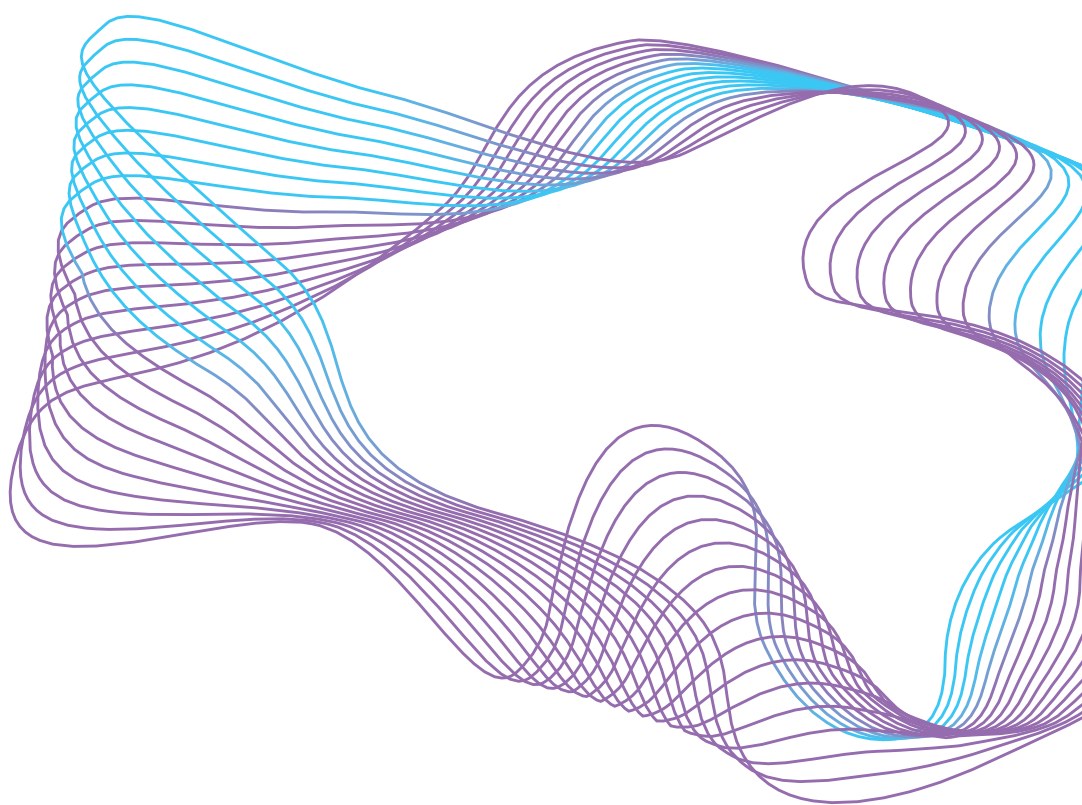
**ИТМО**

# **АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ**

**молодых ученых  
Университета ИТМО**

Санкт-Петербург,  
2-5 февраля 2022 г.

**Том 1**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
Университета ИТМО**

**Том 1**

**ИТМО**

Санкт-Петербург  
2022

УДК 004, 063, 065, 504

ББК 20, 32, 40

Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 1. – СПб.: Университет ИТМО, 2022. – 333 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на Пятьдесят первой (LI) научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО, проходившей с 2 по 5 февраля 2022 г., по тематикам: пищевые биотехнологии и инженерия; низкотемпературная энергетика; химико-биологические исследования и интердисциплинарные исследования.

ISBN 978-5-7577-0669-6

ISBN 978-5-7577-0670-2 (Том 1)



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

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

© Университет ИТМО, 2022

© Авторы, 2022

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

---

**по направлениям: пищевые биотехнологии и инженерия;  
низкотемпературная энергетика; химико-биологические исследования;  
интердисциплинарные исследования**

**Председатель редколлегии:**

*профессор, доктор технических наук **Баранов Игорь Владимирович***

**Члены редколлегии:**

*профессор, доктор технических наук **Пронин Владимир Александрович***

*доктор технических наук **Сулин Александр Борисович***

*кандидат технических наук **Никитин Андрей Алексеевич***

*кандидат технических наук **Рябова Татьяна Владимировна***

*кандидат технических наук **Муравейников Сергей Сергеевич***



## ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на Пятьдесят первой (LI) научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО, проходившей 2 – 5 февраля 2022 г., по тематикам: пищевые биотехнологии и инженерия; низкотемпературная энергетика; химико-биологические исследования; междисциплинарные исследования.

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.

**ПИЩЕВЫЕ БИОТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИЯ,  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА,  
ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

УДК 639.38

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ОТХОДОВ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ФОРЕЛИ, В СОСТАВЕ ИНЪЕКЦИОННЫХ СМЕСЕЙ**

**Абрамзон В.В.<sup>1</sup> (студент), Мануйлов А.Н.<sup>1</sup> (аспирант)**

**Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Куприна Е.Э.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: valeriaabramzon@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 рассмотрена возможность применения белкового гидролизата, полученного из отходов от переработки форели при помощи электрохимического экстрагирования сырья в двухкамерном электролизере, в составе инъекционных смесей с целью рационального использования отходов от рыбопереработки и, а также сохранения пищевой ценности при увеличении выхода готовой продукции в результате инъектирования.

**Ключевые слова:** рыбопереработка, гидробионты, ресурсосбережение, пищевые технологии.

---

Продукция из рыб семейства лососевых популярна среди жителей Северо-Западного округа РФ. В настоящее время большой интерес у производителей рыбной продукции вызывает способ посола и введение иных пищевых добавок инъектированием. Шприцевание сырья позволяет включать в состав инъекционных растворов различные посолочные ингредиенты: полисахариды, белки, специи и т.д. Также одним из главных достоинств этого способа является то, что раствор поступает прямо в мякоть и быстрее диффундирует в толще рыбы. В результате может наблюдаться увеличение массы рыбы вплоть до 30%, однако, это приводит к снижению пищевой ценности готовой продукции из-за снижения процентного содержания белка и липидов в ней.

В современной рыбоперерабатывающей промышленности активное развитие приобретает направление, предусматривающее разработку комплексных, малоотходных технологий переработки гидробионтов [1].

Получение белковых гидролизатов из рыб пониженной товарной ценности из отходов от их разделки является одним из возможных решений проблемы утилизации рыбного сырья и обеспечения безотходности производств.

Из-за наличия комплекса ценных веществ в составе гидролизатов их применяют в технических, медицинских, кормовых и пищевых целях. В пищевой отрасли предложено использование белковых гидролизатов, полученных из отходов от разделки гидробионтов в составе посолочных инъекционных смесей [2].

Существующие технологии получения гидролизатов (экстракционный, ферментативный, кислотный, щелочной) не всегда позволяют сохранить ценные свойства этих продуктов.

Одним из перспективных методов является электрохимический способ переработки гидробионтов, базирующийся на обработке белоксодержащего сырья в водных растворах

электролитов под действием постоянного электрического тока. Такой метод позволяет в одном технологическом цикле получать ценные компоненты сырья высокого качества.



Рис. 1. Технологическая схема получения белковых гидролизатов из отходов от рыбопереработки электрохимическим способом

Были определены оптимальные параметры и составлена технологическая схема получения белковых гидролизатов из вторичных сырьевых источников оригинальным электрохимическим способом (рис. 1).

Данная технология была применена с целью максимального сохранения качества белков, благодаря щадящим условиям воздействия на сырье в процессе экстрагирования. Так как существующие технологии, основанные на использовании органических растворителей, высоких температур, химических реагентов отличаются «жесткостью» воздействия на сырье, их использование приводит к порче БАВ из липидов и белков. Процесс обработки сырья электрохимией включает в себя определенные стадии: набухание, экстракция водорастворимых компонентов (альбуминов, углеводов и т.д.) и экстракция «трудно» растворимых компонентов (миофибриллярных и других белков, белково-липидных, белково-гликозидных и др. комплексов).

Процесс завершается переходом в раствор белков, полипептидов, липидов в виде эмульсии, углеводов и выпадением в осадок костной или панцирной ткани.

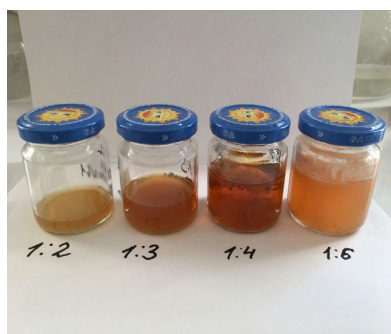


Рис. 2. Белковые гидролизаты, полученные из отходов от разделки форели, различных гидромодулей

В соответствии с технологической схемой были получены белковые гидролизаты различного соотношения сырья к гидролизату (гидромодуля). Полученные образцы представлены на рисунке 2.

Для определения оптимального гидромодуля (соотношение сырье: щелочь) гидролизаты были исследованы на степень растворения сырья в щелочи. Соотношение сырье: экстрагент должно быть наименьшим, при этом суспензия должна быть текучая с наименьшим количеством осадка.

Для этого после стадии прогрева при  $t = 85 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 40 минут готовый и охлажденный до комнатной температуры гидролизат был отфильтрован с использованием бумажного фильтра (рис. 3).

Далее фильтр был высушен в сушильном шкафу при температуре  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 30 минут. При помощи лабораторных весов были определены массы осадков. Также в течение всего опыта при помощи прибора рН-метр рН-150 МИ измерялась кислотность растворов. Результаты измерений представлены в таблице 1.

В результате исследований было определено, что наиболее оптимальным вариантом являлся гидролизат с гидромодулем 1:4, так как в данном соотношении при наибольшей концентрации растворенных веществ данный продукт содержит наименьший по массе осадок.

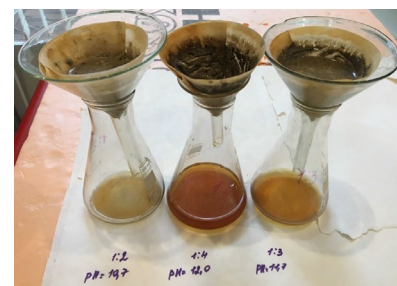


Рис. 3. Процесс фильтрации белковых гидролизатов различных гидромодулей

В качестве сырья для инъектирования была выбрана форель радужная *Oncorhynchus mykiss*. Выбор этого вида рыбы основан на том, что она обладает исключительной органолептической ценностью, пользуется популярностью у населения Северо-Западного региона и доступна на рынке сырья.

Таблица 1. Результаты взвешивания осадков после фильтрации гидролизатов различного гидро модуля

|                               | Гидролизат с гидро модулем |       |       |       |
|-------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|
|                               | 1:2                        | 1:3   | 1:4   | 1:6   |
| Масса осадка после фильтрации | 5,42                       | 3,48  | 3,85  | 1,53  |
| Выход, %                      | 27,10                      | 17,40 | 19,25 | 7,56  |
| pH до нагрева                 | 10,69                      | 11,69 | 12,03 | 12,05 |

Для проведения опыта была использована форель радужная (1,5 кг каждая). Каждый экземпляр рыбы был разделан на 6 филе-кусочков. Далее было проведено инъектирование из расчета 20 мл рассола для шприцевания на 100 г филе. Рассол был изготовлен в определенном соотношении ингредиентов, соответствующим рекомендациям по каждой добавке: на 100 л рассола 0,5 кг йота-каррагинана, 3 кг оптилада, 0,5 кг фосфата, 0,5 кг [3]. Также в гидролизате содержалась соль, так как кожа была соленая.

После проведения инъектирования рыба была отправлена на созревание в течение двух суток. После созревания филе-кусочки взвешивали на лабораторных весах. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние инъектирования пищевых белкового гидролизата с пищевыми добавками на изменения массы рыбы

| Используемые добавки                            | Масса филе до инъектирования, г | Количество вводимого раствора, мл | Масса филе после инъектирования | Привес, % |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------|
| Белковый гидролизат без добавок                 | 150,43                          | 30,70                             | 147,83                          | –1,78     |
| БГ + фосфат + цитрат                            | 164,37                          | 32,87                             | 166,23                          | 1,12      |
| БГ + фосфат + цитрат + йота каррагинан          | 139,87                          | 27,93                             | 141,50                          | 1,19      |
| Белковый гидролизат + оптилад + йота каррагинан | 183,03                          | 36,57                             | 184,73                          | 0,95      |
| Контрольные образцы (без инъекций)              | 179,30                          | 35,87                             | 173,22                          | –3,48     |

По результатам органолептической оценки полученных образцов было определено:

- при инъектировании БГ без добавок форель имела нормальный цвет, резкий запах, также появилась обводненность филе, наблюдалась потеря массы;
- при инъектировании БГ с добавлением фосфата и цитрата филе имело приятный запах, характерный для форели цвет, присутствовала обводненность, наблюдался привес;
- при инъектировании БГ с фосфатом, цитратом и йота-каррагинаном филе имело характерный для форели цвет, сероводородный запах, наблюдался незначительный привес;
- при инъектировании БГ с оптиладом и йота-каррагинаном филе в районе уголков сменило цвет, также имело неприятный запах. Наблюдалось увеличение массы.
- контрольные образцы имели самый светлых из анализируемых образцов, запах, свойственный рыбе. Наблюдалась потеря массы.

Филе форели отваривали в течение 10 минут. После отваривания было проведено взвешивание и рассчитан выход готовой продукции. Результаты опытов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние инъектирования белкового гидролизата с пищевыми добавками на изменения массы рыбы после отваривания

| Используемые добавки                            | Исходная масса филе-кусочков | Масса филе после варки | Потеря массы при варке | Выход готового продукта, % |
|-------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| Белковый гидролизат без добавок                 | 150,43                       | 128,10                 | 22,33                  | 85,13                      |
| БГ + фосфат + цитрат                            | 164,37                       | 145,70                 | 18,67                  | 88,63                      |
| БГ + фосфат + цитрат + йота каррагинан          | 139,87                       | 120,13                 | 19,73                  | 85,83                      |
| Белковый гидролизат + оптилад + йота каррагинан | 183,03                       | 159,07                 | 23,97                  | 86,93                      |
| Контрольные образцы (без инъекций)              | 179,30                       | 140,00                 | 39,30                  | 78,17                      |

После варки филе форели была проведена дегустация образцов. Результаты дегустации представлены на рисунке 4.

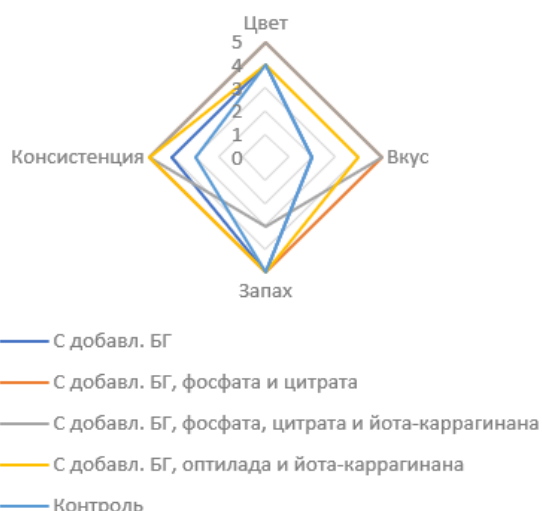


Рис. 4. Профилограмма по результатам дегустации инъектированных образцов форели после варки

Установлена целесообразность использования электрохимической обработки гидробионтов в электролизере. Наиболее перспективным способом получения белковых гидролизатов был выбран метод щелочного экстрагирования, так как при таком виде обработки сырья выход белка был наибольшим при наименьшем, в сравнении с другими способами, содержании минеральных солей. Разработана технологическая схема электрохимической переработки кожи сельдевых рыб с оптимальными входными параметрами для получения из нее белковых гидролизатов, пригодных для инъектирования.

Определен оптимальный гидромодуль (соотношение сырье: экстрагент) 1:4, обеспечивающий наибольшую текучесть гидролизата с удовлетворительным выходом.

Исследованы физико-химические и функциональные свойства сырья – кожи сельди и гидролизатов, полученных из нее. Установлено, что гидролизаты, полученные из кожи, имеют высокие функциональные свойства, что доказало целесообразность их использования при инъектировании в продукты питания с целью придания функциональности.

Исследовано влияние компонентов инъекционных смесей на свойства инъектированной ими форели. Показана целесообразность использования белкового гидролизата, вместо воды, в составе инъекционных смесей, позволившая увеличить выход и качественные характеристики целевого продукта. Выбрано оптимальное соотношение компонентов инъекционных смесей, представленных триполифосфатом натрия, цитратом калия и белковым гидролизатом.

## Литература

1. Куприна Е.Э. Научные основы технологии переработки белок- и хитинсодержащего сырья электрохимическим способом: диссертация ... докт. техн. наук: 03.00.23 / Куприна Е.Э. – Санкт-Петербург. – 2007. – 511 с.
2. Мезенова О.Я. Биотехнология рационального использования гидробионтов: Учебник – СПб.: Издательство «Лань». – 2013. – 416 с.
3. Титова И.М., Чернова А.В. Функционально-технологические добавки в технологии пресервов из разделанной рыбы – Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО "КГТУ". – 2014. – 173 с.

УДК 536.21

## СТРУКТУРА И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ ВОЛОКОННО-АРМИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ

*Алексеев Е.В.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, профессор Заричняк Ю.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: evgeniialekseev1996@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования аккумуляторов тепловой энергии».*

Рассмотрена структура и компоненты многослойного композиционного материала группы GLARE (Glass Laminate Aluminum-lithium alloy Reinforced Epoxy S-2 armored by glass-fiber pre-preg), используемого в качестве облегчённого, вибростойкого и трещиностойкого материала для крупных элементов конструкции фюзеляжа, крыла и мотогондол гражданских авиалайнеров европейского Аэробуса A350XWB и отечественных Ту-204 СМ и МС-21. Предложена модель структуры и методика расчёта эффективной теплопроводности вдоль и поперёк плоскости многослойного композита.

**Ключевые слова:** структура многослойного композиционного материала, размеры компонентов, теплопроводность алюмо-литиевого сплава, эпоксидного связующего и армирующих кварцевых волокон, эффективная теплопроводность композита вдоль и поперёк плоскости листов, металлокомпозиты, алюмостеклопластик.

Основным требованием к конструкционным материалам в авиастроении, автомобилестроении, ветровой энергетике является: повышение их удельных упруго-прочностных характеристик для снижения массы конструкции, рост скорости и экономичности и снижение загрязнений окружающей среды.

Выбрана структура реального листового конструкционного материала, образованная совокупностью слоёв металла и полимеркомпозитов (препрегов) – металлокомпозита с однонаправленным армированием, наложенных друг на друга ортогонально (рис. 1) [1].

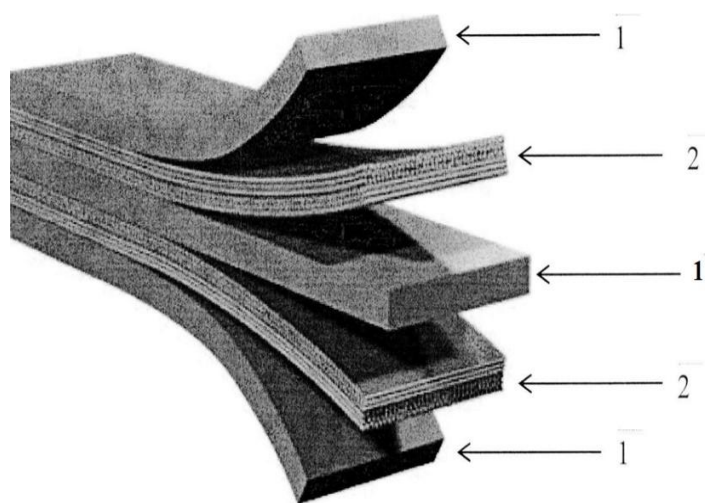


Рис. 1. Двумерная анизотропная структура многослойного листового композита из сплава Al-Li (1) и слоёв препрегов (2) – полимеров, ортогонально армированных кварцевыми волокнами (всего 7 слоёв)

Построение тепловых моделей препрега и металлокомпозита в целом, расчет их теплопроводности основаны на теории обобщенной проводимости [2, 3]. Её основные положения заключаются в том, что эффективные коэффициенты обобщенной проводимости (в рассматриваемом случае – теплопроводности) систем с хаотической (реальной) или упорядоченной структурой можно считать равными друг другу, если эти структуры адекватны, а свойства составляющих компонент и их объемные содержания сохраняются.

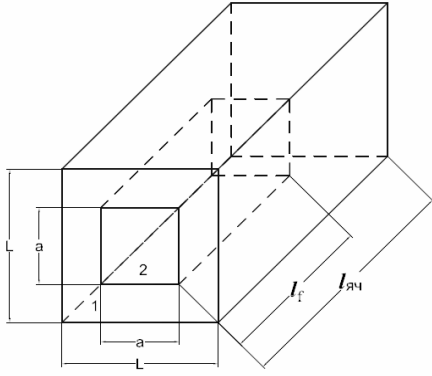


Рис. 2. Модель элементарной ячейки однонаправленного препрега

В модели 1 – полимерная матрица, 2 – дискретный  $l_f < l_{яч}$  или непрерывный  $l_f = l_{яч}$  филамент ( $l_f$  – длина филамента,  $l_{яч}$  – длина ячейки,  $a$ ,  $L$  – характерные размеры).

Теплопроводность препрега вдоль:

$$\lambda_{4\parallel} = \frac{\lambda_2}{2} \cdot \left( \left( 1 + \frac{V_3 \cdot (\lambda_{om\parallel} - 1)}{\lambda_{om\parallel} - b \cdot (\lambda_{om\parallel} - 1)} \right) + \left( 1 - \frac{V_3 \cdot b \cdot (\lambda_{om\parallel} - 1)}{b + V_3 \cdot (\lambda_{om\parallel} - 1)} \right)^{-1} \right).$$

Теплопроводность препрега поперек:

$$\lambda_{4\perp} = \frac{\lambda_2}{2} \cdot \left( \left( 1 + \frac{\frac{1}{b^2} \cdot V_3 \cdot (\lambda_{om\perp} - 1)}{b^2 \cdot \lambda_{om\perp} - V_3^2 \cdot (\lambda_{om\perp} - 1)} \right) + \left( 1 - \frac{V_3 \cdot (\lambda_{om\perp} - 1)}{1 + V_3^2 \cdot \frac{1}{b^2} \cdot (\lambda_{om\perp} - 1)} \right)^{-1} \right),$$

где  $\lambda_2$  – теплопроводность полимера в препреге,

$V_3$  – объемная доля волокон в препреге,

$\lambda_{om\parallel} = \lambda_{3\parallel} / \lambda_2$  – отношение теплопроводностей волокна вдоль и связующего,

$b = l_f / l_{яч}$  – относительная протяженность волокон,

$\lambda_{om\perp} = \lambda_{3\perp} / \lambda_2$  – отношение теплопроводностей волокна поперек и связующего.

Выполним расчёт теплопроводности многослойного металлокомпозита вдоль плоскости материала.

Тепловая проводимость металлокомпозита складывается из следующих составляющих:

$$\frac{1}{R} = \frac{3}{R_1} + \frac{2}{R_{\parallel}} + \frac{2}{R_{\perp}}, \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{\Delta_4}{\Delta_4 \cdot \Delta_1 \cdot \lambda_1} = \frac{1}{\Delta_1 \cdot \lambda_1}, R_{\parallel} = \frac{\Delta_4}{\Delta_4^2 \cdot \lambda_{4\parallel}} = \frac{1}{\Delta_4 \cdot \lambda_{4\parallel}}, R_{\perp} = \frac{\Delta_4}{\Delta_4^2 \cdot \lambda_{4\perp}} = \frac{1}{\Delta_4 \cdot \lambda_{4\perp}},$$

где  $R$  – тепловое сопротивление металлокомпозита в продольном направлении,

$R_1$  – металла,

$R_{\parallel}$  – препрега в продольном,

$R_{\perp}$  – в поперечном,

$\Delta_4$  – толщина слоя препрега,

$\Delta_1$  – толщина слоя металла,

$\lambda_1$  – теплопроводность металла.



С другой стороны, тепловое сопротивление металлокомпозита можно вычислить так:

$$R = \frac{\Delta_4}{(4 \cdot \Delta_4 + 3 \cdot \Delta_1) \cdot \lambda_{xy}} = \frac{1}{(4 \cdot \Delta_4 + 3 \cdot \Delta_1) \cdot \lambda_{xy}}, \quad (2)$$

где  $\lambda_{xy}$  – эффективная теплопроводность металлокомпозита в продольном направлении.

Подставляем (2) в (1):

$$\lambda_{xy} = \frac{3 \cdot \Delta_1 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot \Delta_4 \cdot \lambda_{4\parallel} + 2 \cdot \Delta_4 \cdot \lambda_{4\perp}}{4 \cdot \Delta_4 + 3 \cdot \Delta_1}. \quad (3)$$

Аналогично выполняется расчёт теплопроводности многослойного металлокомпозита поперек плоскости материала.

Тепловое сопротивление металлокомпозита:

$$R = 3 \cdot R_1 + 4 \cdot R_{\perp}, \quad R_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta_4^2 \cdot \lambda_1}, \quad R_{\perp} = \frac{\Delta_4}{\Delta_4^2 \cdot \lambda_{\perp}} = \frac{1}{\Delta_4 \cdot \lambda_{\perp}}. \quad (4)$$

Через эффективную теплопроводность в поперечном направлении  $\lambda_z$ :

$$R = \frac{3 \cdot \Delta_1 + 4 \cdot \Delta_4}{\Delta_4^2 \cdot \lambda_z}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4):

$$\lambda_z = \frac{(3 \cdot \Delta_1 + 4 \cdot \Delta_4) \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_{\perp}}{3 \cdot \Delta_1 \cdot \lambda_{\perp} + 4 \cdot \Delta_4 \cdot \lambda_1}. \quad (6)$$

Формулы проходят проверки на предельные переходы.

Результаты расчётов по формулам (3) и (6) представлены на графиках рисунка 3.а-б.

Выбраны данные:

$\lambda_1 = 101,8$  Вт/(м×К) – сплав алюминия с литием (1,8%),

$\lambda_2 = 0,3$  Вт/(м×К) – эпоксидная смола,

$\lambda_3 = 1,36$  Вт/(м×К) (вдоль и поперек) – стекловолокно,

$b = 0,999$ ,

$\Delta_1 = 0,246$  мм – толщина слоя металла,

$\Delta_4 = 0,137$  мм – толщина слоя препрега [5].

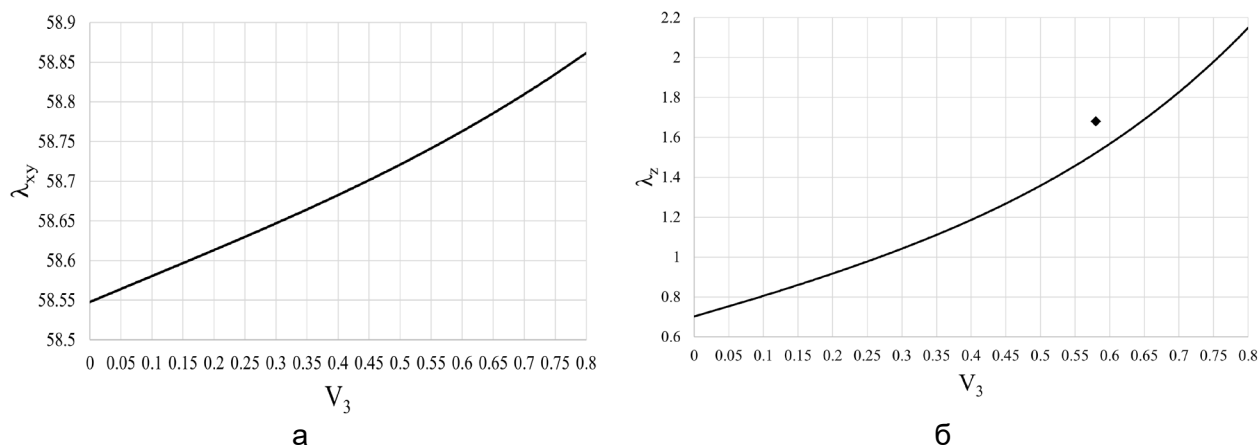


Рис. 3. Эффективная теплопроводность в плоскости многослойного градиентного металлокомпозита: 3 слоя фольги сплава Al-Li (1441) и 2 слоя листов эпоксидного препрега, ортогонально армированного кварцевыми волокнами в продольном (а) и поперечном (точка – эксперимент [5]) (б) направлениях

Эффективная теплопроводность данного листового конструкционного материала в продольном направлении (в плоскости листов) в зависимости от объёмной доли армирующих кварцевых волокон меняется слабо от 58,55 до 58,86 Вт/(м×К), но более заметно от 0,70 до 2,15 Вт/(м×К) в поперечном направлении, что показано на графиках на рисунке 3.

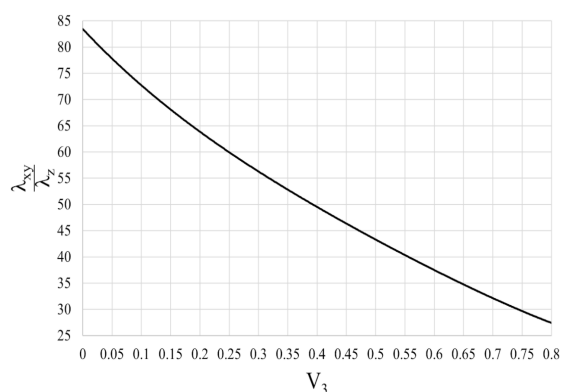


Рис. 4. Анизотропия эффективной теплопроводности  $\lambda_{xy}/\lambda_z$  многослойного градиентного металлокомпозита

На рисунке 4 показан график анизотропии эффективной теплопроводности  $\lambda_{xy}/\lambda_z$  многослойного градиентного металлокомпозита. Относительное отклонение расчёта от эксперимента составляет примерно 10%, что можно считать приемлемым результатом для прогнозных расчётов.

Предложенная модель структуры многослойного композиционного материала и метод расчета анизотропии эффективной теплопроводности перспективен для прогнозирования теплофизических свойств новой группы облегченных многослойных листовых материалов – металлополимерных композитов, армированных кварцевыми волокнами.

## Литература

1. Пат. RU 2565215 (C1), МПК B32B 15/08. Градиентный металлостеклопластик и изделие, выполненное из него // Каблов Е.Н. (RU), Антипов В.В. (RU), Сенаторова О.Г. (RU) и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ») (RU). – No. 2014137818/05; заявл. 18.09.2014; опубл. 20.10.15. – 2 с.
2. Эдвабник В.Г. К теории обобщенной проводимости смесей // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1–2. – 76 с.
3. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. – Л.: Энергия. – 1974. – 264 с.
4. Zarichnyak Y.P., Pilipenko N.V., Alekseev E.V., Ivanov V.A., Nikolaev I.N. The Structure and Thermal Conductivity of the Structural Polymer Composites with Carbon Reinforcing Components // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, October 6–9. – 2020. – Pp. 1–3.
5. Антипов В.В. Научно-технологические основы разработки слоистых алюмостеклопластиков нового поколения с варьируемыми физико-механическими свойствами на основе листов из алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности: диссерт. докт. техн. наук. – Самара. – 2021. – 327 с.

УДК 636.087.62

## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ СУХИХ КОРМОВ С ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТЬЮ ДЛЯ НЕПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ

*Алексеева О.С.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Шестопалова И.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: olesyaewa@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 разработана рецептура сухих кормов для собак средних пород с учетом их суточной потребности в пищевых веществах. Основное и вспомогательное сырье обосновано и выбрано на основе ветеринарных рекомендаций по питанию собак средних пород. Разработана технология сухих лакомств.

**Ключевые слова:** сухие корма, рецептура, непродуктивные животные, биологическая ценность, технология.

---

Согласно распоряжению Правительства РФ от 27 марта 2020 г. № 762-р «О рекомендуемом перечне непродовольственных товаров первой необходимости» зоотовары (в том числе корма и ветеринарные препараты) являются товарами первой необходимости. На данный момент рынок кормов для непродуктивных животных в России оценивается в среднем около 212 млрд рублей в год [1]. Доля экспортированных кормов на 2020 год составила 14,7% (для сравнения в 2019 году экспорт занимал 14,9%), при этом ведущими производителями питания для непродуктивных животных на территории Российской Федерации являются Европейские компании (Mars Inc, Nestlé SA, Monge & C., Colgate-Palmolive Co) [1]. Такие бренды как Whiskas, Kitekat, Felix, Friskies и Chappi настолько успешно закрепились на российском рынке, что отечественному производителю очень сложно завоевать доверие потребителя. Для отечественных производителей и исследователей важна экономическая составляющая готового продукта. Часто в погоне за уменьшением стоимости наши соотечественники пренебрегают качеством готового продукта, в то время как исследователи и производители ведущих стран этой отрасли (Америка, Италия, Франция) акцентируют свое внимание на качестве, экологичности и инновационности изготавливаемого продукта. Производство кормов для непродуктивных животных является логичным продолжением производства всех отраслей, занимающихся производством продуктов питания для человека. Деятельность предприятий мясной, птицеперерабатывающей, молочной и других отраслей промышленности, заводов по переработке зерна и овощных культур неразрывно связано с получением побочных продуктов, которые можно использовать в качестве сырья для производства кормов.

Подбор основного и вспомогательного сырья осуществляется с учетом российских и зарубежных ветеринарных рекомендаций по кормлению собак. Так как нормы питания напрямую зависят от породы, возрастной группы, активности и множества других факторов,

в исследовании были использованы рекомендации для собак средних пород в возрасте от 2 до 7 лет со средней физической активностью и без наличия заболеваний.

Компонентный состав представлен в таблице 1.

Таблица 1. Компонентный состав сухих лакомств для непродуктивных животных

| Сырье                       | Форма          |
|-----------------------------|----------------|
| Желудки цыплят бройлера     | сырые          |
| Шеи цыплят бройлера         | сырые          |
| Отруби пшеничные            | необработанные |
| Тыква                       | сырая          |
| Комплексная пищевая добавка | сухая          |

В качестве основных ингредиентов для производства сухих лакомств для собак на основе пищевых предпочтений и данных химического состава были выбраны шеи и желудки цыплят-бройлеров. Тыква свежая и отруби пшеничные были включены в состав сухих лакомств в качестве вспомогательных компонентов.

Шеи куриные являются отличным хондропротектором, источником легкоусвояемого кальция и белка животного происхождения. Желудки цыплят-бройлеров богаты белком, что делает их превосходным компонентом для питания собак, кроме того, они содержат цинк, железо, витамин В<sub>12</sub> и глюкозамин [2]. Ветеринары и заводчики отмечают, что при употреблении куриных потрохов у собак улучшается самочувствие, качество шерсти, зубов и когтей. В зимнее время питомцы, имеющие в своем рационе куриные потроха, не страдают авитаминозом.

Для сбалансированного питания собак ветеринары рекомендуют комбинировать сырьё растительного и животного происхождения. Очень многие овощи для употребления собак нежелательны, например, картофель, лук, редис и многие другие, однако, тыква является исключением. Тыква является источником биофлавоноидов, минеральных веществ, витаминов, клетчатки, которая выполняет транспортную функцию и служит субстратом для полезной микрофлоры, обеспечивая процесс пищеварения. Очень важно нормировать количество витаминов и растительным белков, поэтому тыква является вспомогательным компонентом.

Достаточное количество пищевых волокон в организме животного обеспечивают отруби пшеничные необработанные, которые являются источником грубых пищевых волокон, витаминов группы В, минеральных веществ, полисахаридов. Благодаря своей жесткой структуре отруби способны отлично очищать кишечник, а наличие бета-глюканов позволяет связывать жирные кислоты и снижать уровень холестерина почти на 30%. Кроме того, отруби способствуют формированию более уплотненной структуры готово продукта.

ГОСТ Р 55453–2013 «Корма для непродуктивных животных» строго не регламентирует соотношение белка животного и растительного происхождения, а также количество зерновых продуктов или других источников углеводов, которые могут быть включены в состав готовых продуктов и определяются исключительно рецептурой, индивидуально разработанной производителем [3].

Таблица 2. Рецепт сухих лакомств для собак средних пород

| Наименование сырья                | Массовая доля компонентов (г/100г) |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Шеи куриные (сырые)               | 55,0                               |
| Желудки куриные (сырые)           | 13,6                               |
| Отруби пшеничные (необработанные) | 5,0                                |
| Тыква (сырая)                     | 22,0                               |
| Комплексная пищевая добавка       | 4,4                                |
| <b>ИТОГ</b>                       | <b>100</b>                         |

Проведя исследование пищевой и биологической ценности основного и вспомогательного сырья, были получены оптимальные массовые доли компонентов рецептуры сухих лакомств для собак средних пород, представленные в таблице 2. Расчет биологической ценности готового продукта осуществлялся на одну порцию размером в 40 г. Данные о биологической ценности белков сухих лакомств представлен в таблице 3.

Таблица 3. Содержание незаменимых аминокислот и аминокислотный скор в готовом продукте

| Незаменимые аминокислоты | Эталон, г/100г белка | Содержание АК в 100 г белка | Аминокислотный скор, % |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|
| Валин                    | 5,4                  | 4,4                         | 80,5                   |
| Гистидин                 | 2,5                  | 2,4                         | 94,7                   |
| Изолейцин                | 4,6                  | 3,7                         | 79,9                   |
| Лейцин                   | 7,7                  | 7,4                         | 96,1                   |
| Лизин                    | 6,5                  | 7,5                         | 115,4                  |
| Метионин+Цистеин         | 4,0                  | 3,4                         | 85,8                   |
| Треонин                  | 3,6                  | 4,3                         | 119,2                  |
| Триптофан                | 7,5                  | 1,0                         | 13,6                   |
| Фенилаланин+Тирозин      | 7,5                  | 6,4                         | 85,3                   |

Таким образом, в готовом продукте лимитирующими аминокислотами являются валин, изолейцин, метионин+цистеин, триптофан и фенилаланин+тирозин.

Содержание минеральных веществ и витаминов в 100 г и одной порции (40 г) сухого лакомства для собак представлено в таблицах 4–5.

Таблица 4. Содержание минеральных веществ в 100 г и 1 порции (40 г) готового продукта, мг

|                                       | K      | Ca     | Mg    | Na     | P      | Fe   | Zn   | Se    |
|---------------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|------|------|-------|
| сумма в 100 г продукта                | 751,6  | 232,2  | 130,1 | 125,3  | 483,0  | 7,9  | 3,6  | 0,03  |
| сумма в 1 порции (40 г)               | 300,6  | 92,9   | 52,0  | 50,1   | 193,2  | 3,2  | 1,5  | 0,01  |
| рекомендуемое потребление             | 6600,0 | 7920,0 | 330,0 | 1800,0 | 6600,0 | 39,6 | 3,3  | 0,08  |
| % от суточного потребления в 1 порции | 4,6    | 1,2    | 15,8  | 2,8    | 2,9    | 8,0  | 44,1 | 18,39 |

Потребление одной порции (40 г) сухого лакомства для собак обеспечивает суточную потребность в магнии на 15,8%, цинке на 44,1% и селене на 18,4%.

Таблица 5. Содержание витаминов в 100 г и 1 порции (40 г) готового продукта, мг

|                                       | A    | E   | C    | B1   | B2   | PP   |
|---------------------------------------|------|-----|------|------|------|------|
| сумма в 100 г продукта                | 0,1  | 1,9 | 12,6 | 0,3  | 0,5  | 7,5  |
| сумма в 1 порции (40 г)               | 0,05 | 0,8 | 5,1  | 0,1  | 0,2  | 3,0  |
| рекомендуемое потребление             | 0,9  | 60  | 30   | 0,6  | 1,2  | 7,2  |
| % от суточного потребления в 1 порции | 5,4  | 1,3 | 16,8 | 21,4 | 17,2 | 41,5 |

Потребление одной порции (40 г) сухого лакомства для собак, обеспечивает суточную потребность в витамине С на 16,8%, витамине В<sub>1</sub> на 21,4%, витамине В<sub>2</sub> на 17,2% и витамине РР на 41,5%.

Таблица 6. Результаты расчетных и опытных данных химического состава сухих лакомств для собак

| Показатели           | Расчетные результаты, г/100 г готового продукта | Результаты исследования, г/100 г готового продукта |
|----------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Содержание белков    | 30,2                                            | 31,12±0,03                                         |
| Содержание жиров     | 23,3                                            | 22,88±0,04                                         |
| Содержание углеводов | 6,5                                             | -                                                  |
| Содержание влаги, %  | 13,5                                            | 13,568±0,01                                        |

Содержание белков в готовом продукте определяли методом Кьельдаля, содержание жира – методом Сокслета, содержание влаги – методом высушивания. Экспериментальные и расчетные данные химического состава сухих лакомств для собак представлены в таблице 6.

Основное сырье для производства сухих лакомств для собак закупается в виде замороженных блоков у поставщика. При приемке сырья необходимо проверить качество продукта и все сопроводительные документы. Полученное сырье размораживается в камерах для размораживания до температуры в толще равное  $0 - 4^{\circ}\text{C}$ .

Куриные шеи измельчают с помощью неопресса, что позволяет избавиться от крупных и острых костных остатков, которые впоследствии при употреблении могут нанести вред организму собаки. Далее шеи добавляют при фаршесоставлении согласно рецептуре.

Куриные желудки измельчают на волчке с диаметром выходного отверстия не более 2 – 3 мм. Далее желудки добавляют при фаршесоставлении согласно рецептуре.

Кроме основного сырья для производства сухих лакомств для собак также используется свежая продовольственная тыква. Полученное сырье отправляют на мойку под проточной водой для удаления грязи и подсушивание в течение 10 – 15 минут.

Измельчение тыквы происходит на мясорубке с диаметром выходного отверстия 2 – 3 мм. Далее тыкву добавляют при фаршесоставлении согласно рецептуре.

Пшеничные отруби инспектируют, пропускают через магнитоуловители для отделения металлопримесей, промывают в воде и оставляют для стекания влаги на 15 – 20 мин. Далее отруби добавляют при фаршесоставлении согласно рецептуре.

Комплексная пищевая добавка содержит конжаковую камедь, эриторбат натрия, клетчатку пшеничную, клетчатку соевую.

Подготовленные компоненты согласно рецептуре, представленной в таблице 2, тщательно перемешивают в мешалке 10 – 12 мин до равномерного распределения всех компонентов в общей массе фаршевой системы. Полученный фарш выгружают в тележки и направляют в холодильную камеру на созревание при температуре  $(2 \div 4)^{\circ}\text{C}$  в течение 24 ч.

Реологические свойства фарша должны обеспечивать плотную, эластичную структуру фарша после созревания. Затем полученную фаршевую систему формуют с помощью шприцовочного устройства с диаметром цевки 20 мм в виде палочек диаметром 20 мм.

Полученные изделия выкладывают на перфорированные поддоны, размещенные на раме. Раму закатывают в комбинированную термокамеру, где сформованные лакомства сушат при температуре  $(35 \div 37)^{\circ}\text{C}$  и скорости движения воздуха 2 м/с до остаточного содержания влаги не более 14%.

Затем изделия направляют на фасование в полимерные пакеты, взвешивают до массы нетто 100 г, вакуумируют, этикетируют.

Хранят готовый продукт при температуре  $(0 \div 20)^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха не более 75% в течение 6 мес.

В работе изучены кормовые особенности и потребности собак средних пород. Обоснован компонентный состав, разработана рецептура сухих лакомств для собак. Рецептура сухого корма разработана на основе суточной потребности собак средних пород. Готовый продукт отвечает всем требованиям нормативной документации по показателям качества и безопасности, рекомендован в качестве дополнительного питания в рационе собак средних пород. Согласно расчетам, энергетическая ценность готового сухого лакомства для собак составляет 348,9 ккал/1459,8 кДж в 100 г продукта. Готовый продукт рекомендован для питания собак средних пород возрастом от 2 до 7 лет в качестве дополнительного корма (лакомства с повышенной биологической ценностью).

## Литература

1. Михо Е.Е., Курбанова М.Г. Анализ российского рынка кормов для непродуктивных животных (кошек и собак) //пищевые инновации и биотехнологии. – 2021. – С. 212–214.
2. Гоноцкий В.А. Научное обоснование, разработка и реализация технологии продуктов из мяса птицы //дисс. д-ра техн. наук. – 2008. – Т.24. – 5 с.
3. ГОСТ Р 55453–2013 Корма для непродуктивных животных. Общие технические условия. – 16 с.

УДК 664.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОФЛОРЫ СЕМЯН ЛЬНА

*Асадов М.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Гунькова П.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: newdaedalus90@gmail.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 приведены результаты исследования микрофлоры семян льна, определяющей качество и микробиологическую безопасность готовых продуктов. Показано, что основной микрофлорой семян льна являются бактерии и мицелиальные грибы. Качественный и количественный состав микрофлоры семян льна может существенно различаться в зависимости от условий их выращивания, получения и хранения.

**Ключевые слова:** семена льна, микроорганизмы семян льна, эпифитная микрофлора семян, фитопатогенная микрофлора семян, химический состав семян льна.

---

Лен культурный входит в семейство Льновые, где относится к виду *Linum usitatissimum*. Он представляет собой однолетнее травянистое растение. Семена льна созревают в шаровидных десятигнездных коробочках, в каждом гнезде содержится до десяти семян. Масса 1000 семян составляет от 3,9 до 15,3 г. Использовать семена льна в пищу люди начали еще в каменном веке. Древние люди выпекали из льняных семян хлеб. В настоящее время семена льна перерабатывают в масло и муку. Из льняных жмыхов можно получать дефицитный белок [1]. Использование семян льна в пищу определено их высокой пищевой ценностью и функциональными свойствами.

Пищевая ценность семян льна обусловлена их химическим составом. Основные показатели химического состава семян льна представлены в таблице 1 [2].

Функциональные свойства семян льна обусловлены высоким содержанием биологически активных веществ:

- $\alpha$ -линоленовой кислоты (улучшает кровообращение и обладает кардиопротекторным действием),
- лигнанов (характеризуются противоопухолевой активностью и профилактируют сердечнососудистые и неврологические заболевания),
- пищевых волокон (способствуют регуляции перистальтики, снижению в крови уровня холестерина, нормализации микрофлоры кишечника, профилактике диабета и атеросклероза) [3-5].

Химический состав, функциональные свойства, а также микробная обсемененность семян льна могут различаться в зависимости от географической зоны выращивания, климатических условий, атак вредителей и возбудителей болезней (табл. 1) [1, 6, 7].

На поверхности семян льна может находиться высокое количество разнообразных микроорганизмов, среди которых различают эпифитные, фитопатогенные и патогенные для человека и животных [6, 8].

---

Таблица 1. Основные показатели химического состава семян льна

| Компонент                          | Содержание в 100 г |
|------------------------------------|--------------------|
| Жиры, г,<br>в том числе:           | 42,20              |
| Полиненасыщенные жирные кислоты, г | 28,70              |
| Насыщенные жирные кислоты, г       | 3,66               |
| Мононенасыщенные жирные кислоты, г | 7,53               |
| Углеводы, г,<br>в том числе:       | 28,90              |
| Пищевые волокна, г                 | 27,70              |
| Белки, г,<br>в том числе:          | 19,90              |
| Незаменимые аминокислоты, мг       | 7,76               |
| Заменимые аминокислоты, мг         | 12,14              |
| Фенольные соединения, г            | 3,09               |
| Витамины, мг                       | 7,34               |
| Макроэлементы, г                   | 2,13               |
| Микроэлементы, мг                  | 0,35               |

Эпифитные микробы попадают на поверхность семян с растения, они не проникают внутрь семени и поэтому не оказывают ему вреда. Количественный и качественный состав эпифитов определяется температурой и влажностью окружающей среды. При высокой температуре и низкой влажности на семенах преобладают *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. mycoides*, *B. megatherium* и др. При высоких температурах и влажности доминирующей эпифитной микрофлорой семян являются неспоровые палочки, например, *Ps. fluorescens*. В случае низкой положительной температуры и высокой влажности на семенах развиваются мицелиальные грибы. Типичными представителями эпифитной микрофлоры семян являются неспоровые палочки *Erwinia herbicola*. На влажных семенах обнаруживают различные виды кокков, бацилл и дрожжей. Дрожжевые грибы обычно не понижают качество и хранимостепоспособность семян, но могут приводить к возникновению их неприятного запаха. Из мицелиальных грибов на семенах обнаруживают представителей родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Altemaria*, *Altemaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Thamnidium* и др. Обсемененность семян мицелиальными грибами зависит от качества их очистки и подсушивания, а также от степени увлажнения при транспортировке и хранении [6].

Фитопатогенная микрофлора семян включает виды бактерий и микроскопических грибов, вызывающих бактериозы и микозы. Возбудителями бактериозов семян являются некоторые представители бактерий, относящихся к роду *Pseudomonas*. Микозы семян вызывают плесневые грибы *Claviceps*, *Tilletia*, *Fusarium*. Наиболее известными микозами семян являются фузариоз, головня, спорынья. Возбудителями фузариоза являются *Fusarium sporotrichioides* и *Fusarium roseum*. Заболевание семян головней вызывают мицелиальные грибы базидиомицеты *Tilletia caries*, *Tilletia hordei*. Пурпурную спорынью вызывает *Claviceps purpurea*. Данные мицелиальные грибы снижают урожай семян, приводят к их неприятному запаху и вкусу, а также вызывают сильнейшие отравления человека. Наиболее распространенные представители микрофлоры семян льна представлены в таблице 2 [6].

Микрофлора семян льна, включающая различные виды бактерий и микроскопических грибов, может вызывать отравления людей и нарушение биотехнологических процессов при выработке пищевых продуктов. В зависимости от условий выращивания, получения и хранения семян качественный и количественный состав их микрофлоры может существенно различаться. Изучение и контроль микрофлоры семян льна, полученных в различных условиях, поможет установить режимы тепловой обработки сырья и достигнуть требуемого уровня микробиологической безопасности и сроков хранения вырабатываемой пищевой продукции.



Таблица 2. Наиболее распространенные представители микрофлоры семян льна

| Бактерии                       | Мицелиальные грибы       |
|--------------------------------|--------------------------|
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> | <i>Cladosporium spp.</i> |
| <i>Pseudomonas herbicola</i>   | <i>Penicillium spp.</i>  |
| <i>Pseudomonas putida</i>      | <i>Aspergillus spp.</i>  |
| <i>Bacillus subtilis</i>       | <i>Alternaria spp.</i>   |
| <i>Bacillus cereus</i>         | <i>Fusarium spp.</i>     |

### Литература

1. Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. М.: КолосС. – 2012. – 392 с.
2. FoodData Central, flaxseed. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169414/nutrients> (дата обращения: 28.12.2021).
3. Gutiérrez C., Rubilar M., Jara C., Verdugo M., Sineiro J., Shene C. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry // Journal of soil science and plant nutrition. – 2010. – Vol.10. – Pp. 454–463.
4. Kajla, Priyanka, Sharma, Alka, Sood, Dev Raj. Flaxseed—a potential functional food source // Journal of Food Science and Technology. – 2015. – Vol.52. – Pp. 31–33.
5. Smolová J., Němečková I., Klimešová M., Švandrlík Z., Bjelková M., Filip V., Kyselka J. Flaxseed varieties: composition and influence on the growth of probiotic microorganisms in milk // Czech J. Food Science. – 2017. – Vol.35. – Pp. 18–23.
6. Wang H., Wang J., Qiu C., Ye Y., Guo X., Chen G., Li T., Wang Y., Fu X., & Liu R.H. Comparison of phytochemical profiles and health benefits in fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.) // Food Chemistry. – 2016. – Vol.214. – Pp. 227–233.
7. Мартинчик А.Н. Батулин А.К., Зубцов В.В., Молофеев В.Ю. Пищевая ценность и функциональные свойства семян льна // Вопросы питания. – 2012. – Т.81. – №3. С. 4–10.
8. Бороздина И.Б., Мануйлов И.М. Микрофлора семян лекарственных растений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – Vol.83. – no.9. – Pp. 43–47.

УДК 353.3

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ AIS/TiO<sub>2</sub> и AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub>

**Баранов К.Н.<sup>1</sup>** (студент), **Дубовик А.Ю.<sup>1</sup>**, **Орлова А.О.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – канд. физ.–мат. наук Колесова Е.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: baranov.const@mail.ru

*Исследование было выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № 2019–1080.*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 621317 «Фундаментальные и прикладные вопросы фотоники».*

---

В данной работе были синтезированы наноконпозиты AgInS<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> и AgInS<sub>2</sub>/ZnS/TiO<sub>2</sub>, сочетающие в себе оптические свойства квантовых точек (КТ) AgInS<sub>2</sub> (AIS) и фотокаталитические свойства диоксида титана. Нарращивание оболочки ZnS приводит к существенному увеличению квантового выхода люминесценции КТ, композиты AgInS<sub>2</sub>/ZnS/TiO<sub>2</sub> демонстрируют 2% квантовый выход люминесценции (КВЛ). Однако, данный тип наноконпозитов продемонстрировал низкую эффективность генерации активных форм кислорода и отсутствие переноса электрона от ядра к оболочке наноконпозитов. В композитах AgInS<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> при наращивании оболочки TiO<sub>2</sub> наблюдается полное тушение люминесценции КТ. Композиты AgInS<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> продемонстрировали эффективную генерацию активных форм кислорода под действием УФ и видимого излучения и эффективный фотоиндуцированный перенос электрона от ядра к оболочке композитов.

**Ключевые слова:** гибридные структуры, квантовый выход люминесценции, активные формы кислорода, перенос электрона, диоксид титана, квантовые точки, тройные квантовые точки.

---

Устойчивость бактерий к антибиотикам делает чрезвычайно актуальной задачей поиск новых методов терапии бактериальных инфекций. Деструкция бактерий может быть вызвана взаимодействием с активными формами кислорода (АФК), в результате которого бактериальные клетки испытывают оксидативный стресс, приводящий к их дальнейшей гибели [1]. Некоторые наноструктурированные материалы способны эффективно генерировать АФК при поглощении излучения [2]. Наночастицы диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) являются перспективным материалом для терапии бактериальных инфекций, благодаря их способности генерировать АФК под действием излучения УФ диапазона [3]. Однако, воздействие УФ излучением может привести к повреждению и здоровых клеток [4], поэтому актуальной является задача расширения спектрального диапазона активности диоксида титана в видимую область. Для решения данной задачи могут быть сформированы гибридные структуры, сочетающие в себе оптические свойства квантовых точек и фотокаталитические свойства TiO<sub>2</sub> [5]. Такие гибридные структуры способны генерировать АФК под действием видимого излучения за счёт фотоиндуцированного переноса электрона из зоны проводимости КТ в зону проводимости TiO<sub>2</sub> ввиду их взаимного расположения [6]. Сформированные ранее многослойные структуры на основе наночастиц TiO<sub>2</sub> и квантовых точек CdSe продемонстрировали эффективную генерацию АФК и антибактериальную активность на нескольких штаммах бактерий [7]. Наноконпозиты типа ядро/оболочка, сформированные на стадии синтеза, имеют ряд преимуществ перед многослойными структурами. Во-первых,

изменяя условия синтеза, можно управлять архитектурой структур и их свойствами. Во-вторых, нанокompозиты типа ядро/оболочка возможно вводить в человеческий организм, что расширяет круг заболеваний и повышает потенциальную эффективность их терапии. И, в-третьих, минимальная дистанция между донором и акцептором электрона в структурах ядро/оболочка приведет к увеличению эффективности переноса электрона в композитах, и как следствие к увеличению эффективности генерации АФК под действием видимого излучения. Тройные вантовые точки  $\text{AgInS}_2$  обладают рядом преимуществ перед двойными КТ, например,  $\text{CdSe}$ . Отсутствие токсичных атомов, в частности кадмия, в своём составе делает КТ AIS менее токсичными [8]. Кроме того, константа скорости переноса электрона в зону проводимости  $\text{TiO}_2$  на несколько порядков больше по сравнению с КТ  $\text{CdSe}$  [6, 9]. Таким образом, нанокompозиты AIS/ $\text{TiO}_2$  могут быть перспективными для терапии бактериальных инфекций. Введение в систему, содержащую наночастицы диоксида титана, люминофора позволяет значительно расширить возможности исследования цитотоксичности, эффективности и механизмов внутриклеточного проникновения наносистем за счет применения современной техники люминесцентной конфокальной микроскопии, а также визуализировать движение наносистемы в живых организмах. Перенос электрона в зону проводимости диоксида титана – это канал релаксации электронного возбуждения, конкурирующий с люминесценцией КТ. Эффективный перенос электрона может привести к полному тушению люминесценции и к сужению области применения нанокompозитов. Хорошо известно, что наращивание оболочки  $\text{ZnS}$  на КТ AIS приводит к существенному увеличению квантового выхода люминесценции КТ [10]. Следует отметить, что оболочка  $\text{ZnS}$  может стать барьером для переноса электронов в зону проводимости  $\text{TiO}_2$ , таким образом, ухудшив функциональные свойства композитов.

В данной работе были синтезированы нанокompозиты AIS/ $\text{TiO}_2$  и AIS/ $\text{ZnS}/\text{TiO}_2$ , исследованы их оптические свойства и эффективность генерации активных форм кислорода под действием излучения различных спектральных диапазонов. Анализ полученных результатов показал, что нанокompозиты AIS/ $\text{TiO}_2$  демонстрируют эффективную генерацию АФК под действием УФ и видимого излучения, но не обладают люминесцентными свойствами. Квантовый выход люминесценции композитов AIS/ $\text{ZnS}/\text{TiO}_2$  составил 2%, однако, композиты, включающие КТ AIS/ $\text{ZnS}$ , продемонстрировали низкую эффективность генерации АФК за счет наращивания оболочки  $\text{TiO}_2$ .

Квантовые точки AIS и AIS/ $\text{ZnS}$  были синтезированы за счёт химической реакции сульфида натрия со смесью комплексов серебра и индия [11]. Наращивание оболочки  $\text{TiO}_2$  происходило за счёт добавления к водному раствору КТ бутаоксида титана и ацетилацетона в этиловом спирте [12]. Для удаления избытка прекурсоров полученные растворы были подвергнуты центрифугированию в течение 6 минут при скорости 14000 об/минуту.

Для регистрации спектров поглощения и люминесценции образцов использовались спектрофотометр UV-Probe 3600 (Shimadzu, Япония) и спектрофлуориметр Carry Eclipse (Varian, Австралия). Для исследования генерации АФК нанокompозитами использовался химический сенсор р-нитрозодиметиланилин (RNO). При взаимодействии с АФК происходит окисление хромофорных групп молекул сенсора и как следствие уменьшение оптической плотности в полосе поглощения на длине волны 440 нм [13]. К водному раствору нанокompозитов ( $10^{-6}$  М) добавлялся химический сенсор ( $10^{-6}$  М). Образцы подвергались длительному воздействию излучения УФ и видимого диапазона, в течение которого периодически регистрировались спектры поглощения образцов. В качестве источников излучения были использованы ртутная лампа с выделенной длиной волны 365 нм (мощность 3 мВт) и диод с длиной волны 465 нм (мощность 3 мВт).

На рисунке 1 представлены спектры поглощения и люминесценции синтезированных нанокompозитов. В результате синтеза ансамбль квантовых точек AIS и AIS/ $\text{ZnS}$  характеризовался эффективным поглощением в области 200 – 500 нм и широкой полосой люминесценции в диапазоне 550 – 750 нм. Наращивание оболочки  $\text{ZnS}$  сопровождается сдвигом максимума люминесценции в коротковолновую область на 0,5 эВ. Данный факт

хорошо коррелирует со спектрами поглощения AIS и AIS/ZnS, в которых наблюдается сдвиг в коротковолновую область при наращивании оболочки ZnS. При наращивании оболочки TiO<sub>2</sub> на КТ AIS происходило полное тушение люминесценции КТ (рис. 1, а), в случае нанокompозитов AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub> интенсивность люминесценции уменьшилась в 10 раз (рис. 1, б). Согласно спектрам поглощения, нанокompозиты AIS/TiO<sub>2</sub> поглощают в большем диапазоне (рис. 1, а), чем нанокompозиты AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub> (рис. 1, б).

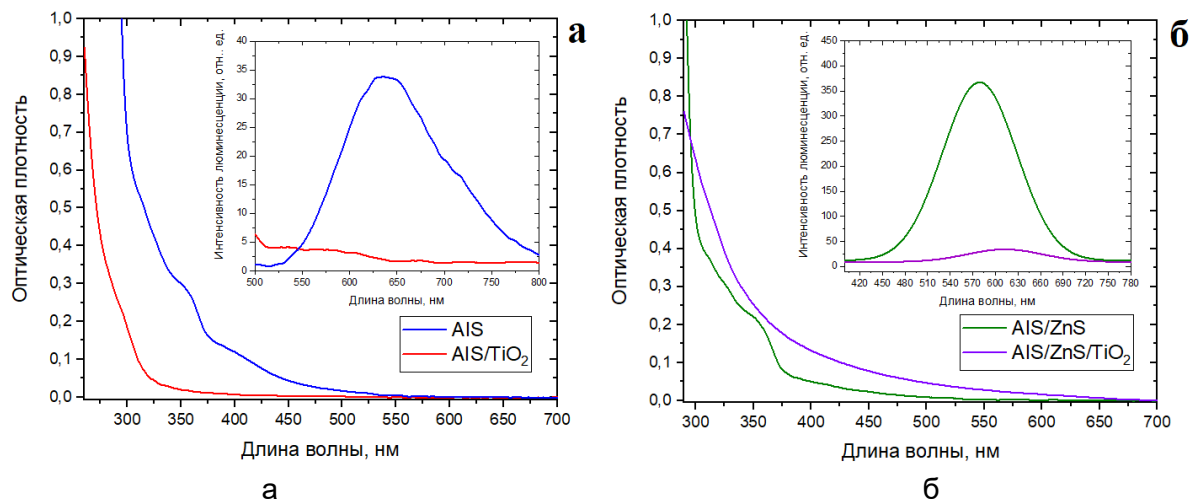


Рис. 1. Спектры поглощения и люминесценции (вставки) квантовых точек AIS (а), AIS/ZnS (б) и нанокompозитов AIS/TiO<sub>2</sub> (а), AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub> (б) при длине волны возбуждения 350 нм

Квантовый выход люминесценции синтезированных нанокompозитов и КТ оценивался относительно КВЛ родамина 6Ж согласно формуле ниже:

$$\varphi = \varphi_R \frac{ID_{Rn}^2}{I_R D_{nR}^2},$$

где  $n$  – показатель преломления растворителя,

$I$  – максимальная интенсивность люминесценции,

$D$  – оптическая плотность на длине волны возбуждения образца. Индекс  $R$  относится к параметрам референтного образца (родамина в этаноле), КВЛ родамина 6Ж равнялся 96%.

Квантовые выходы люминесценции нанокompозитов AIS/TiO<sub>2</sub> и AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub> и квантовых точек представлены в таблице.

Таблица. Квантовые выходы люминесценции синтезированных нанокompозитов и квантовых точек

| Образец | AIS | AIS/ZnS | AIS/TiO <sub>2</sub> | AIS/ZnS/TiO <sub>2</sub> |
|---------|-----|---------|----------------------|--------------------------|
| КВЛ, %  | 4   | 33      | 0                    | 2                        |

Наращивание оболочки ZnS на КТ AIS приводит к увеличению КВЛ КТ с 4% до 33% за счёт уменьшения числа локальных дефектов на поверхности квантовой точки. Наращивание оболочки TiO<sub>2</sub> приводит к уменьшению КВЛ до 0%, когда КВЛ нанокompозитов AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub> уменьшился до 2%.

Тушение люминесценции КТ при наращивании оболочки TiO<sub>2</sub> может свидетельствовать о переносе электрона в зону проводимости TiO<sub>2</sub>. Однако, во время наращивания оболочки TiO<sub>2</sub> могут формироваться дефектные состояния, которые будут выступать в качестве ловушек (trap states) для электронов и дырок. Таким образом, нельзя однозначно утверждать о том, что произошло успешное наращивание оболочки TiO<sub>2</sub> и реализуется эффективный перенос электрона.

Эффективный перенос электрона должен сопровождаться генерацией АФК под действием видимого излучения и усилением генерации АФК под воздействием излучения УФ диапазона. Исследование генерации АФК происходило с помощью химического сенсора RNO (детали эксперимента подробно изложены в разделе «материалы и методы»). На рисунке 2 представлены графики зависимости оптической плотности в полосе поглощения сенсора на длине волны 440 нм от падающей на образец энергии.

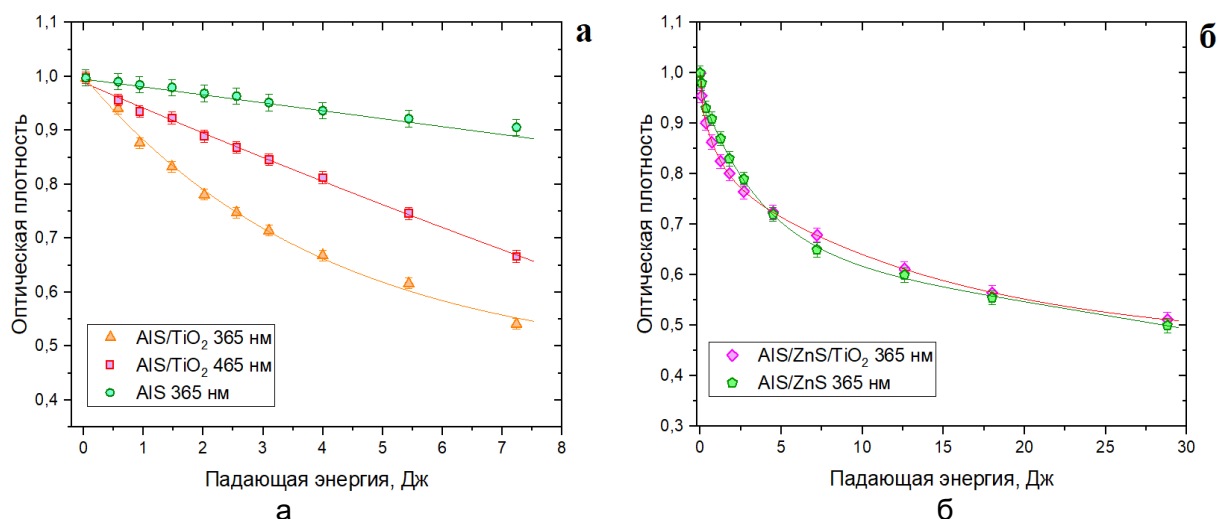


Рис. 2. Зависимости изменения оптической плотности сенсора RNO на длине волны 440 нм от падающей на образец энергии при воздействии излучения УФ и видимого диапазона

Как можно заметить, при облучении КТ AIS происходит незначительное обесцвечивание сенсора (рис. 2, а), что свидетельствует о генерации АФК КТ и хорошо согласуется с литературой [14]. При этом в случае нанокompозитов AIS/TiO<sub>2</sub> наблюдается более эффективное обесцвечивание сенсора по сравнению с КТ AIS при воздействии излучения УФ диапазоном. Данный факт свидетельствует об успешном наращивании оболочки TiO<sub>2</sub>, которая способна генерировать АФК. Кроме того, наблюдается эффективное обесцвечивание сенсора при воздействии излучением видимого диапазона, что свидетельствует об эффективном переносе электрона от ядра к оболочке композитов и достижении необходимого синергетического эффекта. Таким образом, нанокompозиты AIS/TiO<sub>2</sub> продемонстрировали эффективную генерацию АФК при воздействии на них УФ и видимым диапазоном. В свою очередь эффективная генерация АФК нанокompозитами AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub> не наблюдается. Под действием УФ излучения не происходит увеличения эффективности обесцвечивания сенсора при наращивании оболочки TiO<sub>2</sub> (рис. 2, б). Данный факт может быть связан с оболочкой ZnS, которая может выступать как барьер для переноса электрона. Другой возможной причиной является несоответствие параметров кристаллических решеток ZnS и TiO<sub>2</sub>, что приводит к невозможности наращивания оболочки TiO<sub>2</sub> кристаллической фазы способной генерировать АФК.

В данной работе были синтезированы нанокompозиты AIS/TiO<sub>2</sub> и AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub>. Выявлено, что наращивание оболочки TiO<sub>2</sub> на КТ AIS приводит к полному тушению люминесценции и к эффективной генерации АФК под действием излучения УФ и видимого диапазона. Нанокompозиты AIS/TiO<sub>2</sub> продемонстрировали свою перспективность, и в дальнейшем будут изучены антибактериальные свойства данных композитов. Нанокompозиты AIS/ZnS/TiO<sub>2</sub> характеризовались неэффективной генерацией АФК и ненулевым КВЛ.

## Литература

1. Mittler R. et al. ROS Are Good // Trends in Plant Science. – 2017. – Т.22. – №1. – С. 11–19.
2. Pathakoti K. et al. Nanostructures: Current uses and future applications in food science // Journal of Food and Drug Analysis. – 2017. – Т.25. – №2. – С. 245–253.
3. Yang L. et al. Mechanism of Photogenerated Reactive Oxygen Species and Correlation with the Antibacterial Properties of Engineered Metal-Oxide Nanoparticles // ACS Nano. – 2012. – Т.6. – №6. – С. 5164–5173.
4. Berard J. et al. Photoimmunology: how ultraviolet radiation affects the immune system // Nature Reviews Immunology. – 2019. – V.19. – №11. – С. 688–701.
5. Sheng Y. et al. Fluorescent magnetic nanoparticles as minimally-invasive multi-functional theranostic platform for fluorescence imaging, MRI and magnetic hyperthermia // Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Т.204. – С. 388–396.
6. Kobosko S. et al. Indium-Rich AgInS<sub>2</sub>-ZnS Quantum Dots – Ag:Zn Dependent Photophysics

- and Photovoltaics // The Journal of Physical Chemistry C. – 2018. – T.122. – №26. – C. 14336–14334.
7. Kolesova E. et al. Bactericidal activity of multilayered hybrid structures comprising titania nanoparticles and CdSe quantum dots under visible light // Nanomaterials. – 2021. – V.11. – №12. – C. 3331.
  8. Tchounwou P. et al. Heavy Metal Toxicity and the Environment // Experientia Supplementum. – 2012. – T.101. – C. 133–164.
  9. Kolesova E. et al. Photoinduced Charge Transfer in Hybrid Structures Based on Titanium Dioxide NPs with Multicomponent QD Exciton Luminescence Decay // The Journal of Physical Chemistry. – 2019. – V.123. – C. 14790–14796.
  10. Grabolle M. et al. Stability and Fluorescence Quantum Yield of CdSe-ZnS Quantum Dots-Influence of the Thickness of the ZnS Shell // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2008. – V.1130. – №41. – C. 235–241.
  11. Raevskaya A. et al. A fine size selection of brightly luminescent water-soluble Ag-In-S and Ag-In-S/ZnS quantum dots // The Journal of Physical Chemistry C. – 2017. – T.121. – №16. – C. 9032–9042.
  12. Lee S. et al. Thin amorphous TiO<sub>2</sub> shell on CdSe nanocrystal quantum dots enhances photocatalysis of hydrogen evolution from water // The Journal of Physical Chemistry C. – 2014. – T.118. – №41. – C. 23627–23634.
  13. Simonsen M.E. et al. Photocatalytic bleaching of p-nitrosodimethylaniline and a comparison to the performance of other AOP technologies // The Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2010. – T.216. – №2-3. – C. 244–249.
  14. Ribeiro D. et al. Photocatalytic activity of AgInS<sub>2</sub> quantum dots upon visible light irradiation for melatonin determination through its reactive oxygen species scavenging effect // Microchemical Journal. – 2020. – V.155. – C. 104728.

УДК 615.322

## АДАПТОГЕНЫ – ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

**Барановская Д.А.<sup>1</sup>** (студент)

**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Яковченко Н.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: baranowskaya.darina@yandex.ru

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 621322 «Применение адаптогенных БАВ и пробиотических микроорганизмов для создания функциональных продуктов для активного долголетия и восстановления после COVID-19».*

---

На человека постоянно воздействуют различные внешние факторы: экология, климат, психологические и микробиологические аспекты, которые требуют адаптации. Однако, защитные силы организма уменьшаются из-за неправильного образа жизни, а вредные воздействия с каждым разом нарастают. Поэтому актуален вопрос повышения общей сопротивляемости организма и профилактики заболеваний. Для этого могут быть использованы адаптогены.

**Ключевые слова:** адаптогены, антиоксидантная активность, нейропротекторная активность, кардиопротекторная активность, иммуномодулирующая активность, противоопухолевая активность.

---

Адаптогены (от лат. *adaptatio* – «приспособление») – соединения, содержащиеся в растительных экстрактах, способные повышать устойчивость организма к разнообразным вредным воздействиям: физической, химической и биологической природы, например, к климату, инфекциям, стрессам. Также они могут повышать физическую и умственную работоспособность, ускорять восстановление сил после истощения или болезни, предупреждать заболевания и оказывать выраженное лечебное действие [1]. Кроме того, вещества, содержащиеся в растениях, имеют широкий диапазон клинических возможностей при минимальных побочных реакциях, а многолетний опыт их применения показал несомненную эффективность. Наиболее известные растительные адаптогены, произрастающие в нашей стране: женьшень, лимонник китайский, родиола розовая, элеутерококк колючий, аралия маньчжурская, заманиха высокая, левзея сафлоровидная, эхинацея пурпурная.

В первую очередь они возбуждают и тонизируют центральную нервную систему, что связано с повышением устойчивости к физическим нагрузкам (увеличивается выносливость, скорость, сила) и интеллектуальным нагрузкам (улучшается память, концентрация, восприятие, точность и качество работы), снижают утомляемость за счет нормализации энергетического обмена в мозге и других тканях, усиливая процессы анаболизма [1, 2].

Воздействие на нервную систему, также приводит к антистрессовому действию: происходит более эффективная реализация процессов срочной и долговременной адаптации, то есть при первом контакте со стрессором и при многократном или длительном, что приводит к увеличению мощности всей адаптационной системы. В результате ингибируются процессы повреждения и усиливаются восстановительные процессы, пролонгируется стадия резистентности и задерживается развитие стадии истощения, наступающей в условиях сильного и продолжительного стресса, стабилизируется психоэмоциональное состояние. Обнаруживаются и лечебные свойства, ликвидирующие разрушительные последствия в деятельности различных систем и органов [2].

Важным является их антиоксидантное действие, предотвращающее окислительный стресс и накопление активных форм кислорода. Происходит активация и восстановление

антиоксидантной системы организма, соответствующих ферментов (супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы), цитопротекторных свойств, ингибируются процессы апоптоза, перекисного окисления липидов, белков, предотвращается накопление малонового альдегида, включается защита от патологических изменений свободнорадикального окисления. Отсюда следует и гепатопротекторная активность: защита печени от перекисного окисления липидов, предотвращение и лечение повреждений клеток, в том числе лекарственными препаратами, уменьшение жировых отложений [3].

Далее стоит сказать о кардиопротекторной активности: адаптогены противодействуют гипертонии, снижая артериальное давление и частоту сердечных сокращений, кардиотоническим нарушениям, нормализуя работу сердца, имеют сосудорасширяющее и расслабляющее действие, тем самым устраняя спазмы, улучшают кровообращение и снижают вероятность тромбозов, изменяя реологические показатели крови. При ишемии миокарда и при постинфарктном состоянии – тормозят некроз и апоптоз клеток сердца, активируют ростовые факторы, увеличивают устойчивость к повреждающим воздействиям, нормализуют ритмику сердца, перекачивающую функцию, увеличивают амплитуды сокращений и коронарный кровоток. Помимо этого, снижают уровень холестерина и могут быть использованы в профилактике атеросклероза и лечении гиперхолестеринемии [2].

Адаптогены полезны и для эндокринной системы: применяются для лечения сахарного диабета II типа. Они повышают секрецию инсулина, в результате чего существенно снижается уровень глюкозы, содержание кетоновых тел, улучшается толерантность к глюкозе, усиливаются процессы синтеза гликогена в печени, тормозятся процессы липолиза и протеолиза, нормализуется азотистый баланс. Диабет часто связан с ожирением, но адаптогены могут бороться и с ним: помогают снижать вес, количество висцерального и подкожного жира.

Большое значение имеют иммуномодулирующая активность, которая связана с усилением синтеза В- и Т-лимфоцитов, деятельность которых приводит к гуморальному и клеточному ответам соответственно, цитотоксических клеток, фактора некроза опухолей, цитокинов, иммуноглобулинов и интерферонов, запускается фагоцитоз макрофагов, а также тормозится репликация РНК вирусов и повышается устойчивость к сезонным заболеваниям. С этим видом активности, а также с противовоспалительной и антистрессовой, связана противоопухолевая активность, которая проявляется в форме цитотоксичности в отношении раковых клеток, апоптоза и торможения роста опухолей, путем ингибирования пролиферации, метастазирования и инвазии клеток. Помимо этого, адаптогены ослабляют токсический эффект цитостатиков при лечении злокачественных образований [4].

Кроме всего перечисленного, адаптогены стимулируют процессы синтеза и обмена веществ, могут перестраивать метаболизм на сокращение затрат субстрата, улучшают транспорт кислорода и препятствуют гипоксии. В отношении кожи имеют омолаживающее и восстанавливающее действие: тонизируют, успокаивают, уменьшают расширение кровеносных сосудов и аллергические дерматиты, ускоряют заживление ран и ожогов. При заболеваниях желудочно-кишечного тракта облегчают симптомы гастритов и язв, регулируют гипер- и гипосекрецию желудка, его кислотность. При физических нагрузках воздействуют на поперечнополосатую мышечную ткань, повышая активность сократительных белков, что увеличивает силу и выносливость, и расслабление мышц, что позволяет быстрее восстановиться и снизить повреждения. При этом активируется биоэнергетика клеток и возрастает содержание гликогена в мышцах и печени после изнурительных нагрузок.

Учитывая все это, видно – адаптогены имеют широкий спектр действия на весь организм, что делает их перспективным средством в предупреждении и лечении различных заболеваний.

## Литература

1. Качуро А.А., Николаева Л.И., Хабиббулин И.М., Черников Д.В. Адаптогены в спорте // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых. – 2020. – Т.3. – С. 226–230.
2. Арушанян Э.Б., Бейер Э.В. Адаптогены растительного происхождения: учебное пособие для студентов. – Ставрополь: СтГМУ. – 2017. – 149 с.



3. Özdemir Z., Bildziukevich U., Wimmerová M., Macůrková A., Lovecká P., Wimmer Z. Plant Adaptogens: Natural Medicaments for 21st Century? // Chemistry Select. – 2018. – V.3. – Pp. 2196–2214.
4. Успенская Ю.А. Цитоадаптивный эффект препаратов растительного происхождения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kgau.ru/new/all/konferenc/konferenc/2014/c4.pdf>. (дата обращения: 26.12.2021).

УДК 349.6, 504.38

## АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

*Барбанэль П.Ф.<sup>1</sup>(студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Агаханянц П.Ф.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: barbanelpolina@mail.ru, aga-polina@yandex.ru*

---

Формируемая национальная система борьбы с изменением климата подразумевает развитие нескольких направлений в климатическом законодательстве Российской Федерации. Национальное законодательство учитывает мировые тенденции в области борьбы с изменением климата, и в том числе способствует формированию мягкой системы учета выбросов парниковых газов, для выполнения международных обязательств.

**Ключевые слова:** парниковые газы, климатическое регулирование, адаптация, сокращение выбросов, климатические проекты.

---

Российское законодательство в области борьбы с выбросами парниковых газов развивается стремительными темпами. В рамках климатической повестки формируются три направления: выполнение международных соглашений, сокращение выбросов парниковых газов, и адаптация к изменению климата.

Выполнение международных соглашений начинается с принятия Парижского соглашения и ратификации Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН). Обязательства Российской Федерации, согласно данным международным документам, заключаются в том числе в предоставлении отчетности о выбросах парниковых газов с территории страны, отчетности о планируемых мерах по адаптации, а также отчетности о принятой национальной политике по устойчивому развитию с низким уровнем выбросов парниковых газов.

Для выполнения последнего обязательства и обозначения направления развития национальной экономики была разработана стратегия, утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». Данная стратегия описывает сценарии развития экономики при отсутствии значительных изменений в выбросах парниковых газов и при их значительном снижении, а также содержит мероприятия по достижению указанных ожидаемых результатов в разных секторах экономики.

Стратегия содержит множество мероприятий, как пример можно рассмотреть «принятие отраслевых и региональных планов по адаптации к изменениям климата и энергопереходу». Данное мероприятие также является одним из трех главных стратегических направлений всей системы борьбы с изменением климата.

Для реализации данной стратегии уже разработаны некоторые отраслевые стратегии по адаптации к изменению климата, например, Приказ Минэкономразвития России от 13 мая 2021 г. № 267 «Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата». Нормативно-правовой акт содержит инструкции по составлению планов по адаптации к изменениям климата. Данными инструкциями должны руководствоваться ведомства для составления отраслевых планов по адаптации, а также регионы для составления аналогичных региональных планов на основе отраслевых.

---

Среди отраслевых планов присутствуют на данный момент приказы от МЧС, Минстроя, Минприроды и Минсельхоза. В данных документах, как и в стратегиях других ведомств, содержится перечень адаптационных мероприятий (суть, сроки, результирующие документы, ответственные инстанции) и оценка климатических рисков (отрасль, технологическая операция, наблюдаемые воздействия изменения климата, уровень опасности, вероятность, период оценки) [1].

Основным национальным законодательным актом наряду со стратегией развития с низким уровнем выбросов парниковых газов в области борьбы с изменением климата является Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов». Ограничение выбросов парниковых газов, согласно закону, должно проводиться с учетом принципов по обеспечению устойчивого развития экономики, обязательности предоставления отчетности о выбросах парниковых газов, обязательности выполнения целевых показателей по сокращению выбросов, добровольности реализации климатических проектов и научной обоснованности и комплексности подходов к ограничению выбросов [2].

В меры по ограничению выбросов входит государственный учет, который предполагает сбор данных в реестре выбросов парниковых газов, установление целевых показателей по сокращению выбросов парниковых газов и государственную поддержку деятельности по сокращению выбросов или увеличению поглощения парниковых газов, то есть реализации климатических проектов.

Для реализации сбора данных введен ряд нормативно-правовых актов. Распоряжением Правительства РФ № 278-р «О Российской системе оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов» устанавливается роль Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) в качестве органа, выполняющего обязанности по сбору и обработке данных о выбросах парниковых газов на основе данных, предоставляемых Минприроды России, Минпромторгом России, Минэнерго России, Минтранс России, Росстатом, Росреестром, Рослесхозом, Росприроднадзором, ФТС России и Росводресурсами, а также проводящего оценку выбросов, ведущего кадастр выбросов парниковых газов и подготавливающего отчетность для Секретариата РКИК ООН.

В Распоряжении Правительства РФ № 2979-р «Перечень парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет выбросов парниковых газов и ведение кадастра парниковых газов» содержится перечень газов из 33 позиций, в том числе диоксид углерода, метан, закись азота, гексафторид серы, гидрофторуглероды, перфторуглероды, трифторид азота [3].

Несмотря на большое количество указанных в списке парниковых газов, большинство видов деятельности, для которых регламентирован порядок учета выбросов ограничиваются одним-тремя газами, которые должны быть включены в отчет. Порядок учета и наименования парниковых газов необходимых к учету для конкретных видов деятельности представлены в Приказе Минприроды России № 300 «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации». В документе содержатся правила учета, перечень видов деятельности и обязательных для учета парниковых газов, а также сборник методик для расчета выбросов парниковых газов для указанных видов деятельности (всего 19 категорий) [4].

Определение выбросов от потребленной электроэнергии, то есть косвенных выбросов, регламентирует Приказ Минприроды России № 330 «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов». В приказе содержится информация о происхождении косвенных выбросов и методики по их расчету (на основе двух методов: региональный и рыночный) [5].

Для корректной оценки массы парниковых газов, которая в итоге поступила в атмосферу необходимо также учитывать поглощение. Поглотителями парниковых газов могут являться лес, сельскохозяйственные культуры, поглощение может быть увеличено за счет рекультивации земель, лесных массивов и т.д. Порядок учета поглощений регламентирует Распоряжение

Минприроды № 20-р «О методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов».

Для реализации сбора данных также выпущен Приказ Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу ОС № 40 «Об утверждении Порядка централизованного учета документов о выбросах и стоках парниковых газов и результатов климатических проектов, снижающих антропогенные выбросы или увеличивающих стоки парниковых газов субъектами хозяйственной деятельности, осуществляющими свою деятельность на территории Российской Федерации». В документе описан четкий алгоритм работы Росгидромета по получению и хранению данных о выбросах и стоках парниковых газов и о реализации климатических проектов.

Формы статистической отчетности, правила ведения реестра углеродных единиц, кадастра выбросов парниковых газов и правила ведения реестра климатических проектов на данный момент находятся на стадии законопроектов.

Вторая мера для ограничения выбросов парниковых газов – установление целевых показателей по их сокращению. Целевые показатели по сокращению выбросов устанавливаются правительством [1], но на данный момент таковых показателей не было установлено. Действующим является только Указ Президента Российской Федерации № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов», который устанавливает уровень сокращения в 70% от выбросов 1990 года.

Еще одна мера по ограничению выбросов парниковых газов, указанная в Федеральном законе № 296 – реализация климатических проектов. Климатические проекты – мероприятия, направленные на сокращение выбросов парниковых газов или увеличение их поглощения. Данные проекты позволят компаниям снизить влияние на климат и выпустить углеродные единицы, которые будут приниматься внутри страны и за рубежом для покрытия квот на выбросы парниковых газов.

Согласно принятому Федеральному закону от 06.03.2022 № 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации», организации Сахалинской области и других регионов, которые присоединятся к эксперименту, должны будут поддерживать выбросы в рамках квот или, в случае их превышения, покрывать их за счет углеродных единиц, выпущенных в результате климатических проектов.

Таким образом, несмотря на добровольность реализации климатических проектов, их развитие будет стимулироваться возможностью выпуска углеродных единиц, которые предприятие будет иметь возможность продавать или засчитывать для выполнения квоты. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 01.03.2022 № 367-р утверждает операторов реестра углеродных единиц акционерное общество «Контур».

Правила ведения реестра углеродных единиц, выпуска, зачета и продажи углеродных единиц находятся на данный момент на стадии законопроекта, как и ставки за квоты, критерии отнесения организаций к регулируемым, то есть к тем, которые будут обязаны сдавать отчетность о выбросах и реализации климатических проектов, выполнении и невыполнении квот.

Для выпуска углеродных единиц организации необходимо будет пройти верификацию отчетности о реализации климатического проекта. Верификатор – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, который прошел аккредитацию органа по верификации. На данный момент существует стандарт серии ISO, переведенный на русский язык, по проведению валидации и верификации сведений о результатах климатических проектов, а также нормативно-правовые акты, которые определяют требования к верификаторам:

- ГОСТ Р ИСО 14064-3-2021 «Газы парниковые. Часть 3. «Требования и руководство по валидации и верификации заявлений в отношении парниковых газов»;
- Приказ Минэкономразвития России № 707 (ред. от 30.12.2020) «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации»;
- ГОСТ Р ИСО 14065-2014 «Газы парниковые. Требования к органам по валидации и

верификации парниковых газов для их применения при аккредитации или других формах признания»;

- ГОСТ Р ИСО 14066-2013 «Парниковые газы. Требования к компетентности групп по валидации и верификации парниковых газов».

Также шесть организаций стали официально аккредитованными верификаторами: ФГБОУ ВО «Московский Государственный Технический Университет Имени Н.Э. Баумана (Национальный Исследовательский Университет)», «Российский университет дружбы народов», «Сертифицированный центр «ВНИИГАЗ-Сертификат», «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Сибирскому федеральному округу» (ФГБУ «ЦЛАТИ по СФО»), «Университет Иннополис», ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля».

Правила верификации климатических проектов пока находятся на стадии законопроекта. Но так как присутствует нормативно-техническая база в виде государственных стандартов, а также уже аккредитованные верификаторы – данное направление будет полностью оформленным и готовым к реализации после принятия законопроекта «Об утверждении Правил верификации результатов реализации климатических проектов».

Таким образом, формируется мягкая система регулирования, которая подразумевает сдачу обязательной отчетности о выбросах парниковых газов, но не обязывает организации выполнять климатические проекты. На данный момент эксперимент по квотированию планируется к проведению только на территории Сахалинской области с планами на присоединение других регионов и реализации системы квотирования, которая будет стимулировать реализацию климатических проектов и формирование рынка углеродных единиц. Направление по адаптации на данный момент развито слабо, не все регионы и отрасли экономики утвердили планы по адаптации.

## Литература

1. КонсультантПлюс: Приказ МЧС России от 19.10.2021 № 706 «Об утверждении отраслевого плана адаптации к изменениям климата в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_400814/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_400814/) (дата обращения: 22.12.2021).
2. Официальный интернет-портал правовой информации: Федеральный закон от 02.07.2021 № 296 ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020031> (дата обращения: 22.12.2021).
3. Информационно-правовой портал Гарант.ру: Распоряжение Правительства РФ от 22 октября 2021 г. № 2979-р «Об утверждении перечня парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет выбросов парниковых газов и ведение кадастра парниковых газов». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/402963806/> (дата обращения: 16.12.2021).
4. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: Приказ Минприроды России № 300 «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420287801> (дата обращения: 15.12.2021).
5. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: Приказ Минприроды России № 330 «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456079014> (дата обращения: 17.12.2021).

УДК 664.834.1

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЖМЫХА МОРКОВИ В ТЕХНОЛОГИИ СУХИХ ПОРОШКОВ

*Басковцева А.С.<sup>1</sup> (студент), Кыздарбек У.<sup>1</sup> (аспирант)*

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: baskovtseva.ang@yandex.com, kyzdarbekova.ulbosyn@mail.ru, 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».*

---

Жмых моркови – это побочный продукт соковой промышленности, который легко портится из-за высокого содержания влаги и обычно рассматривается как отходы; однако, это ценный продукт с большим количеством биологически активных соединений. Сушка жмыха и дополнительное измельчение лежат в основе технологии получения морковного порошка, который может быть использован во многих областях промышленности, что делает его перспективным продуктом. Экспериментами доказана и перспективность использования жмыха с научной точки зрения, путем определения бета-каротина в образцах и их сравнении.

**Ключевые слова:** морковный жмых, морковный порошок, бета-каротин, технология сухих порошков, ферментные препараты.

---

С каждым годом натуральные порошки, полученные из овощей и фруктов, набирают популярность в пищевой индустрии. Их применение обширно: от красителей до компонентов функциональных продуктов. Кроме того, такие порошки могут быть использованы в фармацевтической и сельскохозяйственной промышленности. Чтобы польза для организма таких порошков была максимальна, необходимо подбирать оптимальные режимы для технологических операций при их производстве.

Морковь обладает высокой питательной и медицинской ценностью, так как содержит каротиноиды, в частности бета-каротин, который является сильным антиоксидантом и провитамином А и не синтезируется в организме человека. Однако, свежая морковь является скоропортящимся продуктом, поскольку содержание влаги в ней может достигать 90%. Это приводит к росту микроорганизмов и порче. Создание порошка из моркови призвано решить проблему хранения, сохраняя сенсорные характеристики и пищевую ценность продукта. Когда морковь превращается в порошок с микроструктурой, ее площадь поверхности и пористость значительно увеличиваются, дисперсность, растворимость и функциональность продукта заметно усиливаются, что делает его легко перевариваемым и всасываемым в организме человека [1]. Возможности использования такого порошка обширны: в качестве красителя он может выступать в кондитерском производстве и кулинарии, в качестве функциональной составляющей – в производстве молочных продуктов, сыров и масел.

Помимо самой моркови, сырьем для создания морковного порошка может служить жмых, который остается после производства морковного сока. Жмых является побочным продуктом, но имеет потенциал рационального использования. Такое сырье имеет уже хорошо разрушенную клеточную стенку благодаря измельчению, нагреванию и пектолитическим ферментам, которые часто используют на производстве соков [2]. Порошок из жмыха может

содержать меньше каротиноидов, так как часть их уходит вместе с соком, но они будут хорошо экстрагироваться и усваиваться организмом.

Целью данной работы было получить порошок из морковного жмыха и оценить его качество с помощью количественного анализа на содержание бета-каротина.

Для экспериментов были взяты свежие образцы моркови, натертой на терке, из части моркови был выжат морковный сок с помощью центробежной соковыжималки Bork S701. Часть жмыха, полученная в результате измельчения и отжима в соковыжималке, была обработана ферментным препаратом Фруктоцим МА, который показал хорошие результаты в предыдущих экспериментах с цельной морковью [3]. Данный комплексный ферментный препарат пектолитического действия содержит следующие ферменты: альфа-амилазу, экзо-бета-глюконазу, пектиназу, эндо-полигалактуроназу, ксиланазу и целлюлазу. Дозировка составляла 100 мл на 1 т. в растворе с водой, где ферментного препарата было 0,01%. Также жмых был высушен методом конвективной сушки воздухом, нагретым до 50°C и дополнительно измельчен на роторно-ножевом измельчителе Bosch TSM6A01.

Метод определения содержания бета-каротина в растительном сырье включал в себя: экстракцию органическим растворителем гексаном, анализ полученного раствора с помощью спектрофотометра при длине волны 440 нм и дальнейшую обработку результатов с помощью расчетной формулы [4]. Во всех образцах была измерена влажность с помощью анализатора влажности.

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке.

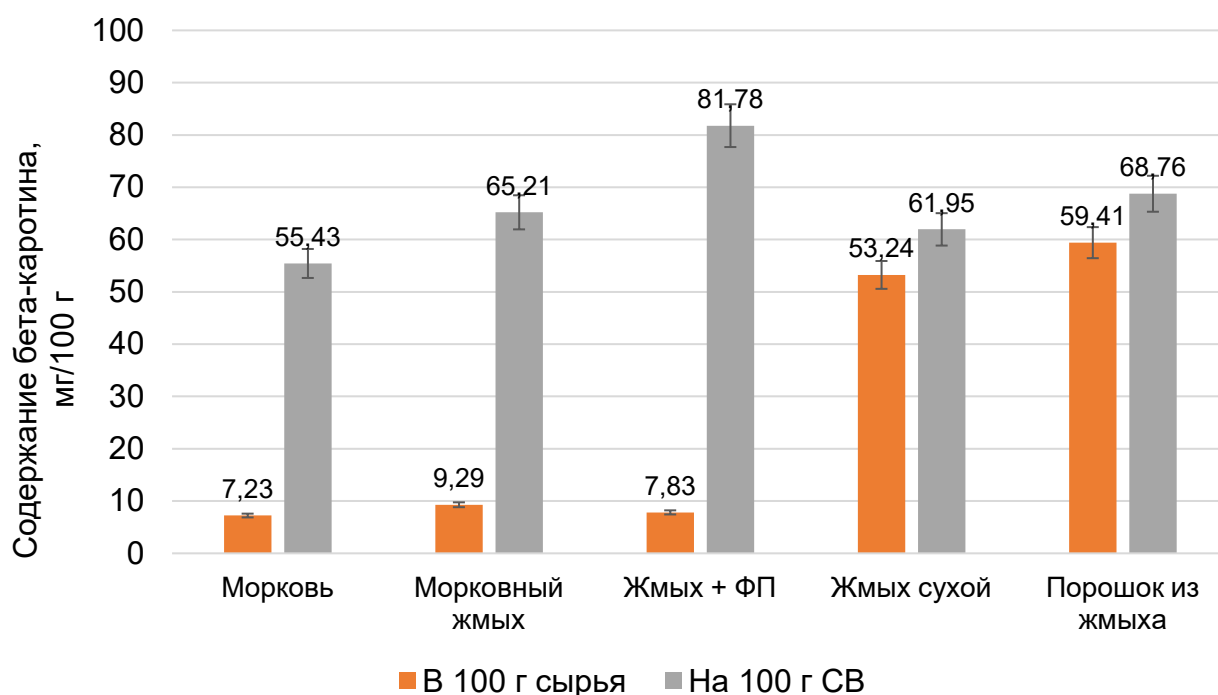


Рисунок. Содержание бета-каротина в образцах моркови, жмыха и порошка из жмыха

По полученным результатам до сушки можно было сказать, что содержание бета-каротина на 100 г. сырья в жмыхе выше всего, а ферментный препарат не дал результата. Однако, поскольку с ферментным препаратом к жмыху добавилось значительное количество воды, целесообразно было бы учесть влажность сырья и сделать пересчет на сухие вещества. После пересчета можно сделать вывод, что на 100 г. сухих веществ приходится больше всего бета-каротина в образце жмыха с добавлением ферментного препарата Фруктоцим МА. После сушки жмыха можно сказать, что по количеству бета-каротина на 100 г. сырья самый высокий результат у порошка из жмыха, но на 100 г. сухих веществ больше всего содержание бета-каротина все-таки у образца сырого жмыха, обработанного ферментным препаратом.

Установлено положительное влияние обработки сырого жмыха пектолитическим ферментным препаратом Фруктоцим МА (увеличение бета-каротина в 1,3 раза). Дополнительное измельчение, как на соковыжималке, так и на роторно-ножевом измельчителе также повысило выход бета-каротина на 100 г. сырья.

Доказана перспективность использования жмыха в технологии морковного порошка. В дальнейших экспериментах имеет смысл объединить два опыта и получить порошок из морковного жмыха, предварительно обработанный ферментным препаратом перед сушкой.

### **Литература**

1. Gong Y., Deng G., Han C., Ning X. Process optimization based on carrot powder color characteristics // *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. – 2015. – V.8. – №3. – Pp. 137–142.
2. Karama M.C., Petit J., Zimmera D., Djantoub E.B., Schera J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review // *Journal of Food Engineering*. – 2016. – №188. – Pp. 32–49.
3. Басковцева А.С., Кыздарбек У., Баракова Н.В. Влияние ферментных препаратов на выход каротиноидов из растительного сырья // *Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (SEWAN–2021): сборник трудов III международной научной конференции*. – 2021. – 332 с.
4. Базарнова Ю.Г. Методы исследования сырья и готовой продукции: учебно-методическое пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ. – 2013. – 76 с.



УДК 504.06

## ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОФЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ

*Белышева Д.А.<sup>1</sup> (студент)**Научный руководитель – Савоскула В.А.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: belysheva-98@mail.ru

В работе рассмотрен и проведён количественный показатель оценки воздействия на окружающую среду для анализа кофейного производства – оценка жизненного цикла (ОЖЦ). Также предложена схема жизненного цикла кофейной продукции, которая может рассматриваться как конечная и обозначены дальнейшие шаги работы.

**Ключевые слова:** оценка жизненного цикла, кофе, жизненный цикл, воздействие на окружающую среду, кофейное производство.

Кофе – это второй по объёму коммерциализации продукт в мире после нефти. Он так популярен благодаря своим ароматическим и вкусовым характеристикам, а также своим стимулирующими и освежающими свойствами [1].

В связи с его экономическим значением и растущим спросом во всем мире, важно оценить воздействие на окружающую среду, связанное с процессом производства кофе, а также его цепочкой поставок. Оценка жизненного цикла – это систематическая методология, направленная на идентификацию и количественную оценку экологических нагрузок, связанных с продуктом или услугой на протяжении всего срока его полезного использования [1]. Полезный инструмент в управлении окружающей средой, поскольку он качественно и количественно показывает воздействие на окружающую среду, начиная от добычи сырья до окончательной утилизации. Он определяет использование материалов и энергии, а также отходы, сточные воды и выбросы, образующиеся на каждой фазе системы

продукта. Что позволяет сосредоточить внимание на горячих точках, которые можно улучшить, уменьшив их нагрузку на окружающую среду. Цепочка производства кофе может иметь разную степень воздействия на экосистемы из-за этапов производства в зависимости от методов обработки.

Метод, используемый для текущей оценки жизненного цикла, основан на стандартах ГОСТ Р ИСО 14040-2010 [2]. Структура оценки жизненного цикла представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Стадии ОЖЦ [2]

Инвентаризационный анализ жизненного цикла является второй стадией метода. На данном этапе предлагается рассмотреть заданный жизненный цикл кофейной продукции (рис. 2).

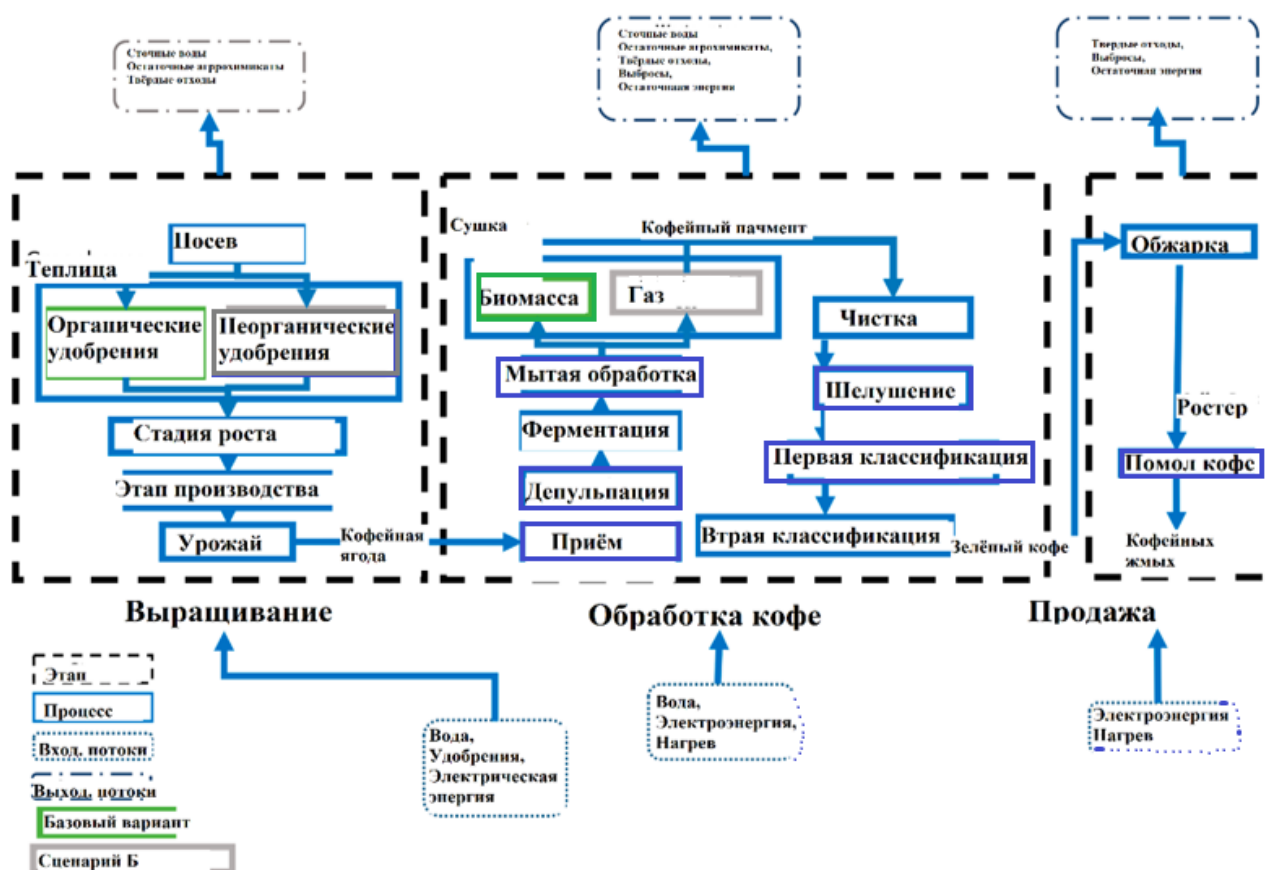


Рис. 2. Жизненный цикл кофейной продукции

В дальнейшей работе предлагается найти способы переработки или повторного использования побочных продуктов (рис. 3).



Рис. 3. Основные побочные продукты кофейного производства:  
а – шелуха, b – мякоть, c – кожица, d – кофейный жмых

Одной из важных проблем являются сточные воды, которые образуются вследствие обработки кофейной ягоды. Воздействие на окружающую среду мытой и полумытой обработки значительно. Проблемы возникают из-за того, что большое количество сточных вод сбрасывается в водотоки, сильно загруженные органическими веществами. При превышении самоочищения водотока микробная деградация снижает уровень кислорода до анаэробных условий, при которых невозможна высшая водная жизнь.

Количество кофейных сточных вод зависит от применяемой технологии обработки. Современные машины для механического удаления слизи, производящие полумытую обработку кофе, используют только около  $1 \text{ м}^3$  на тонну свежей ягоды, тогда как традиционная технология полностью мытой без переработки использует до  $20 \text{ м}^3$  на тонну ягоды. Чтобы очистить сточные воды должным образом и с разумными затратами, необходимо минимизировать количество сточных вод [3].

Оценка воздействия жизненного цикла – третья фаза оценки. Цель ОВЖЦ состоит в том, чтобы оценить данные ИАЖЦ производственной системы для наилучшего понимания их экологической значимости. В таблице указан водный след, углеродный след и энергетический

след выращивания и обработки кофе, которые являются релевантными количественными оценками воздействия на окружающую среду для определения поведения производственной системы.

Таблица. Предполагаемые категории воздействия

| Категория воздействия | Описание                                                                                                                                                                                     | Единица измерения           |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Углеродный след       | Этот индикатор оценивает влияние выбросов парниковых газов, связанных с производственной системой                                                                                            | CO <sub>2</sub> -эквивалент |
| Водный след           | Показывает все воздействия, связанные с потреблением воды. Это относится к воде, которая потребляется, и поэтому она больше не доступна для людей или экосистем                              | м <sup>3</sup>              |
| Энергетический след   | Этот индикатор суммирует поставки энергии из продуктовой системы через структуру «снизу вверх», а также количественно оценивает цепочку поставок традиционных и нетрадиционных видов топлива | МДж                         |

Оценка жизненного цикла является полезным инструментом для целей данного исследования, поскольку она позволяет количественно оценить воздействие на окружающую среду, связанное с производством и цепочкой поставок, от входов и выходов производственной системы. Для дальнейшего исследования планируется изучать такие категории воздействия, как углеродный, энергетический и водный след. Также предлагается изучить возможное дальнейшее использование побочных продуктов кофейного производства.

### Литература

1. Gurram R., Al-Shannag M., Knapp S., Das T., Singaas E., Alkasrawi M. Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: A renewable feedstock // Clean Technol. Environ. Policy. – 2016. – №18. – Pp. 269–278.
2. ГОСТ Р ИСО 14040-2010. Экологический менеджмент ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА Принципы и структура. – Введен 06.01.2010. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 2010. – 23 с.
3. Von Enden J.C. Review of coffee waste water characteristics and approaches to treatment // Coffee Research Report: Kainantu. – 2012. – №15. – Pp. 91–102.

УДК 35.24.12

## РАЗРАБОТКА БИЗНЕС-ПЛАНА ПРОЕКТА ПО ВНЕДРЕНИЮ НАИЛУЧШЕЙ ДОСТУПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО УТИЛИЗАЦИИ МЕЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВОДОЭМУЛЬСИОННЫХ КРАСОК ООО «ТИККУРИЛА»

*Богданова П.А.<sup>1</sup> (студент)**Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: ollol0401@gmail.ru, liya974@mail.ru

В работе рассмотрена проблема утилизации осадка лакокрасочной продукции в промывных сточных водах. При производстве лакокрасочной продукции образуется большое количество осадков после промывки оборудования. На предприятии не разработаны программы для переработки данного вида отходов, поэтому его передают на утилизацию сторонней лицензированной организации.

**Ключевые слова:** осадок, мел, промывные воды.

Одной из актуальных проблем в наше время является недостаточная развитость отрасли утилизации осадков сточных вод лакокрасочной промышленности. При производстве лакокрасочной продукции образуется большое количество осадков после промывки оборудования [1]. На предприятии не разработаны программы для переработки данного вида отходов, поэтому его передают на утилизацию сторонней лицензированной организации.

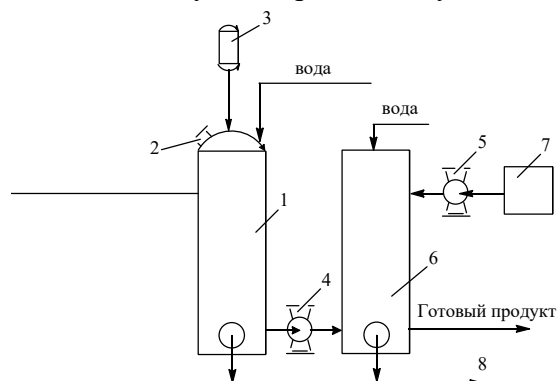


Рис. 1. Технологическая схема производства водно-дисперсионной краски: 1 – диссоolver;

2 – грузочный люк; 3 – мерник;

4, 5 – насосы;

6 – финишный танк;

7 – емкость для латекса;

8 – отвод промывных сточных вод

Готовый продукт из финишного танка 6 отправляется на фасовочную линию, а диссоolver 1 и финишный танк 6 промываются водой. Промывочная вода сливается в кубы, взвесь мела осаждается и утилизируется сторонней сертифицированной компанией.

При производстве красок основным источником отходов выступают промывочные сточные воды, загрязненные остатками продукции. Для данного вида отходов на производстве

Цель работы – разработка проекта, направленного на сокращение количества утилизируемого осадка лакокрасочной продукции.

Для сокращения количества утилизируемого осадка в составе сточных вод, содержащего мел и диоксид титана, был предложен проект по переработке осадка с получением нового продукта – «Мел белый школьный».

Для выявления источника образования отходов был изучен технологический процесс производства водно-дисперсионной краски, представленный на рисунке 1.

Технологический процесс состоит из нескольких этапов: приготовление полуфабриката загустителя, подготовка и диспергирование пасты, производство краски.

очистка производится путем отстаивания. Осадок, образовавшийся во время отстаивания, утилизируется сторонними компаниями.

Преимущество предлагаемой технологии переработки заключается в простоте производства мелков (путем прессования). Данная технология подразумевает повторное использование отходов, что тоже является положительным качеством. В настоящее время мелки для рисования являются популярным товаром, особенно среди детей и учителей.

На рисунке 2 представлена технологическая схема производства мелков. В загрузочный люк 1 вручную оператором загружается заранее подготовленная смесь мела с водой и склеивающим материалом (ПВА). Затем смесь подается в отсадочную машину 2. Смесь отсаживается на съемный пресс 3. К одной установке в комплекте идет 4 пресса. Упаковка производится вручную. Мелки упаковываются по 100 шт. Вес одного мелка в среднем составляет 12 г, вес упаковки соответственно 1,2 кг.

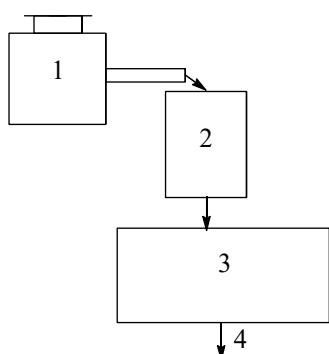


Рис. 2. Технологическая схема производства мела школьного белого

Линия производства занимает небольшую площадь относительно производственной площадки (180x115x80 см), поэтому нет необходимости в аренде нового помещения. На производственной площадке присутствует незадействованное место для организации производства мелков.

Общая стоимость такой производственной линии от китайского производителя (Tianyuyoudo) составляет 308 465,55 рублей (далее 309 000 рублей, что составляет 26 523,26 юаней по курсу от 20.02.2022) [2].

В состав мелков входят следующие материалы: клей ПВА, вода и мел. Для производства мелков в осадок необходимо добавить клейкий материал – ПВА. Так как в спектр производимой продукции компании входит клей ПВА, компания может использовать клей, с подходящим к концу сроком годности.

Сумма инвестиционных затрат внедрения проекта с учетом приобретения оборудования, разработки проекта, монтажных и пуско-наладочных работ, транспортно-заготовительных расходов, обучения персонала и прочего составила 450 000 рублей.

Сумма годовых эксплуатационных затрат с учетом потребляемой электроэнергии, упаковки, технического обслуживания и оплаты труда составила 7 750 000 рублей.

Таблица 1. Чистая годовая экономия

| Мероприятия                                 | Текущая ситуация          |                     | После мероприятия |                     | Экономия |                     |
|---------------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------|---------------------|
|                                             | Кол-во, т                 | Сумма, тыс.руб./год | Кол-во, шт        | Сумма, тыс.руб./год | Кол-во   | Сумма, тыс.руб./год |
| Экологические сбережения, т                 | 260                       | 780                 | 0                 | 0                   | 260      | 780                 |
| Доход от реализации переработки осадка, шт. | 0                         | 0                   | 233 500           | 39 695              | 233 500  | 39 695              |
| Эксплуатационные расходы                    | 0                         | 0                   | -                 | 7 750               | -        | 7 750               |
| Итого                                       | Чистая годовая экономия В |                     |                   |                     |          | 32 725              |

Положительным эффектом внедрения данного проекта является повторное использование отходов производства. При этом исключается необходимость утилизации 260 т/год отходов, на которую тратится 780 000 руб. (3 руб. за кг по данным [3]). Отрицательным моментом можно считать то, что для этого вводится новая линия, следовательно, эта линия тоже будет иметь отходы, для которых необходимо разработать план сокращения.

Для расчета чистой годовой экономии была составлена таблица 1. Среднерыночная стоимость одной пачки мелков (1,2 кг) составила 170 рублей.

Экономический срок службы проекта составляет 10 лет. Процентная ставка проекта, как оценка заимствований при внедрении проекта принята за 20%. Внутренняя норма

рентабельности, выступающая показателем эффективности внедрения проекта, составила 34%, что на 14% больше процентной ставки. Из этого можно сделать вывод, что проект рентабелен. В таблице 2 приведены основные показатели рентабельности проекта. Индекс доходности проекта значительно превышает 1, что говорит о высокой экономической выгоде внедрения проекта.

Таблица 2. Показатели рентабельности проекта

| Наименование                    | Обозначение | Ед. измерения | Величина |
|---------------------------------|-------------|---------------|----------|
| Общие инвестиции                | $I_0$       | тыс. руб./год | 450      |
| Чистая экономия                 | $B$         | тыс. руб./год | 32 725   |
| Период окупаемости              | $PB$        | год           | 0,014    |
| Чистый дисконтированный доход   | $NPV$       | тыс. руб.     | 76 742,2 |
| Индекс доходности               | $PI$        | -             | 170,5    |
| Внутренняя норма рентабельности | $IRR$       | %             | 34       |

В ходе исследования был разработан проект, направленный на переработку утилизируемого осадка лакокрасочной продукции. Была проведена технико-экономическая и экологическая оценка проекта.

### Литература

1. Васильева К.В., Нечитайло Н.П. Очистка сточных вод от лакокрасочного производства с помощью коагулянта и флокулянта // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2009. – №5(136). – С. 35–38.
2. Aliexpress Chalk forming machine. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://a.aliexpress.com/\\_9u2oF2](https://a.aliexpress.com/_9u2oF2) (дата обращения: 20.02.2022).
3. Утилизация отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://utilizaciya-otxodov-spb.ru/> (дата обращения: 20.02.2022).

УДК 504.00

## АНАЛИЗ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМОГО МАТЕРИАЛА

*Васильева М.О.<sup>1</sup> (студент), Николаев Е.М.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: vasileva223344@gmail.com, nikolaev\_evgeniy\_97@mail.ru, nrmolodkina@itmo.ru*

В данной работе рассчитан материальный и экономический баланс производства биоразлагаемых материалов, кроме того, проведено сравнение себестоимости 1 изделия из биоразлагаемого материала с обычной пластиковой тарелкой.

**Ключевые слова:** биоразлагаемость, материальный баланс производства, экономический баланс производства, биоразлагаемая посуда, рисовая шелуха, отходы пищевых производств.

Материальный баланс – это вещественное выражение закона сохранения массы вещества, согласно которому во всякой замкнутой системе масса веществ, вступивших во взаимодействие, равна массе веществ, образовавшихся в результате этого взаимодействия, т.е. приход вещества  $\Sigma G_{\text{прих}}$  равен его расходу  $\Sigma G_{\text{расх}}$ . Таким образом, уравнение материального баланса можно представить в виде:

$$\Sigma G_{\text{прих}} = \Sigma G_{\text{расх}}.$$

Расчет материального баланса основан на 2 объективных законах:

- закон сохранения массы (применительно к расчету материального баланса) – общая масса всех поступающих в реактор материалов (приход) равен общей массе выходящих материалов (расходу);
- закон стехиометрических соотношений, который можно сформулировать следующим образом: если известна масса хотя бы одного участника реакции, можно определить массы всех остальных, предварительно рассчитав молярные массы всех участников реакции.

При составлении практического материального баланса учитывают состав исходного сырья и готовой продукции, степень превращения сырья, потери сырья и готового продукта и т.д. [1]. Данные, взятые для приготовления материала, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Состав биоразлагаемого материала [2]

| Вещество                 | Вес, г                 |
|--------------------------|------------------------|
| крахмал                  | 13                     |
| вода                     | 35                     |
| рисовая шелуха (w=6,62%) | 25                     |
| PLA                      | 30% от массы пластинки |
| <b>Итого</b>             | <b>73</b>              |

Из взятых компонентов был получен «коммок», весом 67,81 г. (5,19 г – потери). Измерена влажность полученного материала с помощью влажностра  $w = 51,52\%$  и вычислена  $m_{\text{сух}} = \Sigma m_{\text{сух}}$ , которая составила 38 г. Далее, при подготовке материала к прессованию были изготовлены два пласта определенного размера ( $8,5 \times 13,5 \times 0,2$  см = 115 см<sup>3</sup>). В таблице 2 приводятся сравнение двух пластов материала для расчета материального баланса.

Таблица 2. Данные влажности и массы двух пластов материала для расчета материального баланса

| Показатель                           | 1     | 2     | Итого |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Масса влажного, г                    | 28,47 | 22,9  | 51,37 |
| Масса подвергнутого прессованию, г   | 20,03 | 15,17 | 35,2  |
| Влажность после прессования, %       | 26,83 | 26,72 | 26,77 |
| Масса PLA, г                         | 8,5   | 6,9   | 15,5  |
| Влажность после прессования с PLA, % | 21,2  | 21,41 | 21,3  |

Таблица 3. Энергозатраты на производство биоразлагаемого материала

| № | Процесс                                                 | Энергозатраты, кВт | Экономические затраты, руб |
|---|---------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | Гидролиз крахмала с помощью СВЧ-печи в течение 30 сек.  | 0,01               |                            |
| 2 | Прессование материала при помощи пресса в течение 3 мин | 0,045              |                            |
| 3 | Прессование PLA при помощи пресса в течение 1,5 мин     | 0,0225             |                            |
| 4 | Прессование PLA с материалом в течение 1 мин            | 0,015              |                            |
|   | <b>Итого</b>                                            | <b>0,096</b>       | <b>0,35</b>                |

В таблице 4 представлены данные пересчета производства на 1 дм<sup>2</sup> материала.

Таблица 4. Ресурсные затраты на производство биоразлагаемого материала

| Ресурс         | Затраты, г на 1 дм <sup>2</sup> |
|----------------|---------------------------------|
| Рисовая шелуха | 0,73                            |
| Крахмал        | 0,38                            |
| Вода           | 1                               |
| PLA            | 0,6                             |
| Потери         | -0,15                           |
| Энергозатраты  | 0,096 кВт                       |

Таким образом, исходя из данных, приведенных в таблице 4 можно провести экономический расчёт (табл. 5) производства 1 дм<sup>2</sup> биоразлагаемого материала.

Таблица 5. Экономический расчёт производства 1 дм<sup>2</sup> биоразлагаемого материала

| Ресурс         | Затраты, г | Стоимость, руб | Примечание                                                       |
|----------------|------------|----------------|------------------------------------------------------------------|
| Рисовая шелуха | 0,73       | 0,0018         | 2,5 руб./кг                                                      |
| Крахмал        | 0,38       | 0,0798         | 42 руб./200г                                                     |
| Вода           | 1          | 0,027          | 27,11 руб./м <sup>3</sup>                                        |
| PLA            | 0,6        | 0,72           | 1200 руб./кг                                                     |
| Потери         | -0,15      | 0,046          | В состав потерь входит всё, кроме PLA. Т.е стоимость 0,31 руб./г |
| Энергозатраты  | 0,096, кВт | 0,35           |                                                                  |
| Итого          |            | 1,2246         |                                                                  |

Таким образом, стоимость производства 1 дм<sup>2</sup> биоразлагаемого материала, без учета трудозатрат, составила 1,2246 рублей.

Для сравнения возьмем одноразовую тарелку пластиковую, диаметром 167 мм (рисунок), стоимостью 1,96 руб./шт. Площадь тарелки, диаметром 167 мм составляет 21 893 мм<sup>2</sup>, т.е. 219 дм<sup>2</sup>. Отсюда, стоимость 1 дм<sup>2</sup> – 0,009 руб.

Более высокая стоимость тарелки, полученной из биоразлагаемого материала, рациональна в связи с компостируемостью данного изделия.





Рисунок. Одноразовая тарелка 167 мм «Диапазон» [3]

### Литература

1. Karamanlioglu M., Robson G.D. The influence of biotic and abiotic factors on the rate of degradation of poly(lactic) acid (PLA) coupons buried in compost and soil. Polym. Degrad. Stab. – 2013. – №98(10). – Pp. 2063–2071.
2. Биоразлагаемое вещество на основе природных полимеров [Текст]: пат 2709883 С1 Российская Федерация, МПК С08L 3/02 (2006.01), С08K 5/053 (2006.01), С08K 5/09 (2006.01), С 08L 101/16 (2006.01).
3. Тарелка пластиковая 167 мм "Диапазон" белая 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hozkin.com/catalog/plastic/tarelki-miski/tarelka-plastikovaya-167mm-diapazon-belaya/> (дата обращения: 19.01.2021).

УДК 544.015.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРАХ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА

**Волкович М.И.<sup>1</sup>** (студент)

**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Захарова В.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Университет ИТМО

e-mail: meri.volkovich@mail.ru

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования аккумуляторов тепловой энергии».*

---

В данной работе выполнен анализ на основе численного моделирования нестационарного теплопереноса в процессе фазового перехода теплоаккумулирующего вещества. В качестве тепловой модели рассматриваются ячейки теплового аккумулятора, состоящие из стальных цилиндрических трубок, пронизывающих вещество с фазовым переходом. Моделирование поперечного сечения ячеек осуществляется в программе Ansys Fluent без учета теплоносителя. Оценивается влияние естественной конвекции на особенности теплопередачи. В зависимости от расположения ячейки аккумулятора теплоты приложены различные начальные условия и тепловые нагрузки. Изучено влияние параметра естественной конвекции на количественное соотношение плотностей фаз и скорость плавления. Представленные результаты при соответствующей обработке могут иметь практическую значимость для проектирования аккумуляторов теплоты с веществом с фазовым переходом. Предложенная методика разбиения позволяет полноценно охарактеризовать процесс плавления, происходящий в аккумуляторе.

**Ключевые слова:** конвективный теплообмен, тепловой аккумулятор, вещество с фазовым переходом, тепловой поток, нестационарный теплообмен, численное моделирование.

---

Исследование процессов в системах с фазовыми переходами и конвекцией в последнее время идет с возрастающей интенсивностью [1, 2]. Естественная конвекция существенно влияет не только на температурное поле объекта, но и на положение фронта между фазами [3]. В силу нелинейности уравнений, описывающих поведение данных систем, применяются методы инженерного анализа и численного моделирования. Целью работы является изучение поведения тепловых потоков в аккумуляторе теплоты с применением веществ с фазовым переходом, как при отсутствии, так и при наличии конвективного влияния.

Основой для данного исследования послужил ранее выполненный эксперимент по оценке эффективности применения жирных кислот в качестве вещества с высокой скрытой теплотой плавления для аккумулятирования [4]. Система тонких стальных трубок теплового аккумулятора пронизывает весь объем плавящегося вещества. Циркулирующий по цилиндрическим трубкам теплоноситель передает тепло рабочему веществу путем конвективного теплообмена (рис. 1 и 2).

Утверждение о том, что в системе граница фазового перехода четко выражена – ошибочно, так как в ходе проведения эксперимента наблюдалось повторное затвердевание фронта ввиду конвективного влияния извне.

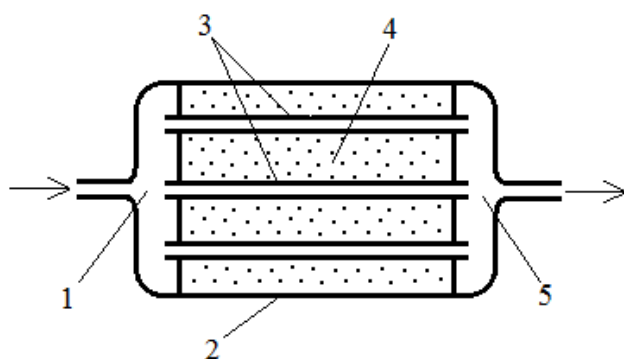


Рис. 1. Конструкция теплового аккумулятора  
1 – входной коллектор; 2 – корпус; 3 – трубки;  
4 – плавящееся вещество; 5 – выходной коллектор

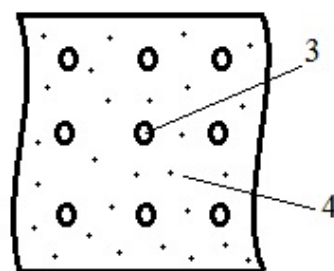


Рис. 2. Поперечное сечение теплового аккумулятора

В [5] авторы статьи также столкнулись с проблемой развития неустойчивости, обусловленной ростом выступов твердой фазы внутри расплава. Нижняя граница теплоаккумулирующего слоя, как правило, поддерживается при большей температуре, чем верхняя.

В связи с этим, в настоящем исследовании было принято решение разбить систему на три ячейки в соответствии с рядами трубок аккумулятора и смоделировать процесс плавления рабочего вещества в упрощенном варианте без учета теплоносителя в программе Ansys Fluent.

#### Методика расчета

Со стороны отверстия трубки оказывает воздействие тепловой поток. На верхней и нижней ячейке аккумулятора учитывается влияние естественной конвекции, стенки средней ячейки адиабатичны. Так как в работе моделируется 1/60 часть конструкции, к боковым граням присваивается условие симметрии (рис. 3).

Для организации эффективного теплообмена в качестве вещества с фазовым переходом рассматривается жирная кислота  $C_{18}H_{36}O_2$  (стеариновая кислота). Необходимые для моделирования свойства представлены в таблице.

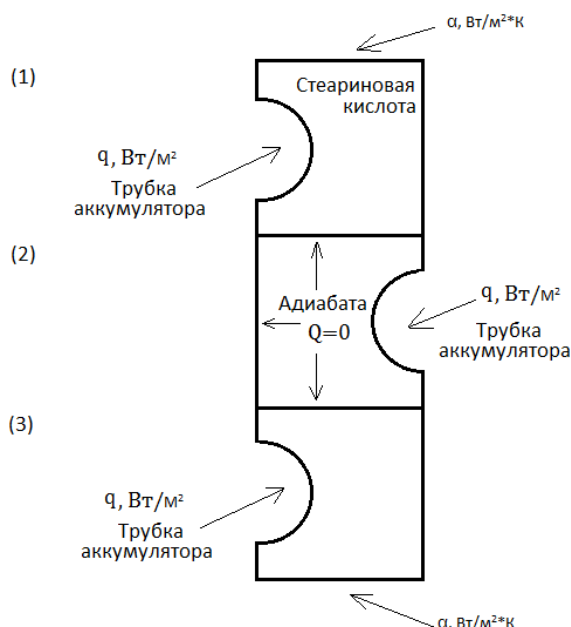


Рис. 3. Внешние тепловые нагрузки

Таблица. Теплофизические свойства стеариновой кислоты

| Свойство ( $C_{18}H_{36}O_2$ ) | Значение       |
|--------------------------------|----------------|
| Температура фазового перехода  | 69,3 °C        |
| Теплота плавления              | 192,1 кДж/кг   |
| Плотность жидкой фазы          | 847 кг/м³      |
| Теплопроводность жидкой фазы   | 0,166 Вт/м*К   |
| Вязкость                       | 0.00987 кг/м*с |
| Теплоемкость                   | 1671 Дж/кг*К   |

В результате исследования получены графики изменения температуры рабочего вещества (рис. 4 – 6).

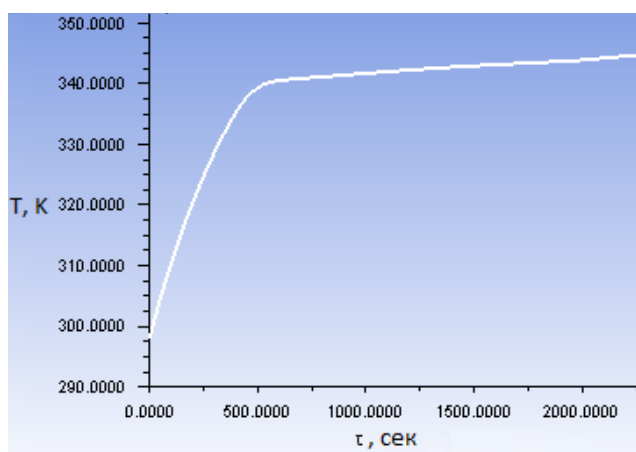


Рис. 4. Характер изменения температуры в верхней ячейке аккумулятора

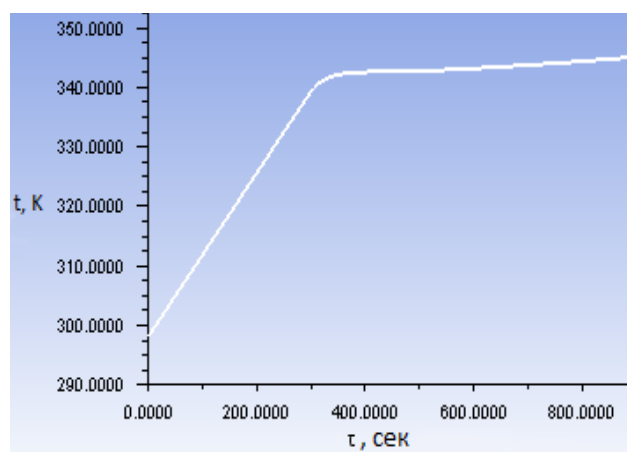


Рис. 5. Характер изменения температуры в средней ячейке аккумулятора

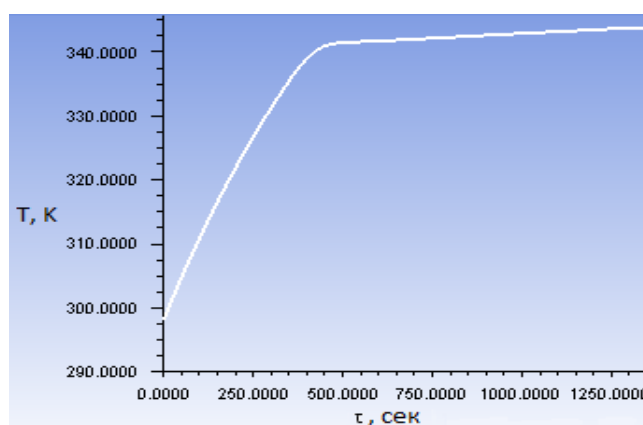


Рис. 6. Характер изменения температуры в нижней ячейке аккумулятора

Для достижения температуры фазового перехода при различных начальных условиях потребовалось 8, 5 и 6,5 минут, соответственно. Полученные графики демонстрируют плавное приращение температуры с последующей стабилизацией.

Также на рисунке 7 продемонстрировано количественное соотношение жидкой и твердой фракции для трех случаев.

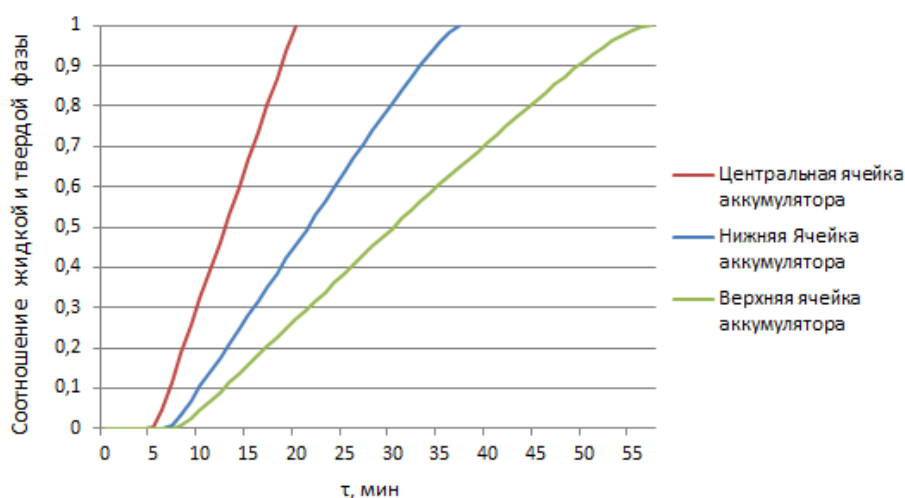


Рис. 7. Соотношение твердой и жидкой фазы на различных участках системы

В данном случае достижение единицы символизирует то, что рабочее вещество полностью перешло в жидкое состояние. Расплав полного объема рабочего вещества

составил 20, 37 и 56 минут для верхней, средней и нижней ячейки аккумулятора. Характерно, что для полного расплава рабочего вещества модели без учета конвекции потребовалось в 2,5 раза меньше времени чем, для модели, учитывающей конвекцию сверху.

Полученные численным путем результаты моделирования позволяют оценить конвективное влияние на тепловой поток в аккумуляторе с веществом с фазовым переходом. Модель, не учитывающая естественную конвекцию, может быть рекомендована в качестве оптимального варианта для определения времени полного расплава рабочего вещества в достаточно краткие сроки. Данное исследование позволяет полноценно проанализировать процесс, происходящий в основном теле, учитывая внешние тепловые нагрузки на различных участках системы. Представленная методика пригодна для сферы проектирования теплофизических процессов в аккумуляторах теплоты.

### Литература

1. Семин М.А., Левин Л.Ю., Желнин М.С., Плехов О.А. Исследование естественной конвекции в обводненном породном массиве в условиях искусственного замораживания // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – №2. – С. 151–163.
2. Волкович М.И., Захарова В.Ю., Кораблев В.А. Экспериментальный и теоретический анализ энергоэффективного использования теплоаккумулирующего вещества для обеспечения теплового режима прибора // Материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск) / М-во образования Ом. обл. – Омск: Изд-во ОмГТУ. – 2022. – С. 165–166.
3. Александров Д.В., Малыгин А.П. Влияние конвекции, анизотропии и неоднородности среды на структурно-фазовые переходы в процессах кристаллизации // Доклады академии наук. – 2010. – Т.434. – №3. – С. 327–331.
4. Рамазанов М.М., Булгакова Н.С. Влияние теплоты фазового перехода на возникновение фильтрационной конвекции в смесях жидкостей с ограниченной взаимной растворимостью // Инженерно-физический журнал. – 2021. – Т.94. – №6. – С. 1606–1616.
5. Борбров А.М., Баранов А.А. Модель мантийной конвекции с неньютоновской реологией и фазовыми переходами: структура течений и поля напряжений // Физика Земли. – 2016. – №1. – 133 с.

УДК 504.06

## **ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ МИНЕРАЛ-КОЛЛАГЕНОВЫХ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ОТХОДОВ РЕСТОРАННОГО БИЗНЕСА**

*Гаврецкая А.В.<sup>1</sup> (студент), Шестель А.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научные руководители – д-р техн. наук, профессор Куприна Е.Э.<sup>1</sup>,*

*канд. техн. наук Овсяук Е.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: gavretskaya@yandex.ru, 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».*

---

Работа посвящена проведению оценки жизненного цикла продукции. Представлены основные понятия, связанные с выполнением исследования. Осуществлен анализ технологической схемы по переработке минерал- и коллагенсодержащих отходов от разделки ракообразных. Реализован расчёт степени влияния данного производства на окружающую среду. Предложены рекомендации, позволяющие снизить негативное воздействие процесса.

**Ключевые слова:** жизненный цикл, окружающая среда, оценка, ИСО-стандарты, отходы.

---

Непрерывная индустриализация, бурный рост городов, модернизация промышленности и активное развитие новых технологий – все это является действительностью XXI века. Научно-технический прогресс в мире только начинает набирать свою мощь и с каждым годом количество производств непрерывно увеличивается, что, несомненно, повышает уровень жизни человека. К сожалению, такой подъем промышленного производства несет в себе не только пользу, но и колоссальный вред, наносимый природе. С каждым годом масштаб экологических проблем увеличивается, человек наносит непоправимый ущерб фауне и флоре, нерационально потребляет природные ресурсы, что значительно снижает качество жизни человека. Многие болезни «молодеют», а также появляются новые, неизученные; разрушительные природные явления происходят все чаще и с большей силой; животный мир становится все менее разнообразным.

В современном мире насущной проблемой является снижение пагубного влияния промышленных предприятий на окружающую среду. Важно отметить, что ущерб наносится природе не только при производстве каких-либо материалов и продукции, но и на подготовительных стадиях, таких как добыча, обработка сырья. Также экологические проблемы могут возникать на этапах жизненного пути продукции, то есть на стадиях потребления изделия и утилизации его отходов. В связи с этим очень важно проводить оценку всех стадий жизненного цикла продукции.

### **Метод оценки жизненного цикла**

Анализ экологических и экономических воздействий в системах производства продукции и утилизации отходов осуществляется с помощью метода оценки жизненного цикла.

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) – метод исследования, позволяющий выявить и идентифицировать, и оценить влияние на окружающую среду, оказываемое на каждой из стадий производства и потребления продукта (от получения сырья до утилизации отходов).

---

Метод ОЖЦ основан на серии ИСО-стандартов (International Organization for Standardization, ISO) и представляет собой систему взаимосвязанных политических мер и практических инструментов, способствующих снижению экологического воздействия при производстве.



Рис. 1. Жизненный цикл продукции рисунок 1.

Так же важно отметить, что ОЖЦ носит повторяющийся характер, поэтому данные, полученные на последующих этапах, являются «обратной связью» для более ранних этапов и способствуют их корректировке. Структура ОЖЦ приведена на рисунке 2 [2].

С помощью оценки жизненного цикла можно изучить воздействие производимого товара на окружающую среду и снизить это пагубное влияние. Важно отметить, что ОЖЦ предоставляет необходимую информацию для решения экологических проблем, но не решает их. Принципы, содержание, требования этапов проведения ОЖЦ регламентируются стандартами ISO.

В соответствии с группой 14040 серии ИСО ОЖЦ включает в себя четыре стадии (рис. 2):



Рис. 2. Структура и стадии ОЖЦ

1) Определение цели и области исследования – в зависимости от поставленной цели определяется глубина и широта ОЖЦ.

2) Инвентаризационный анализ (ИАЖЦ) – этап количественной оценки входных и выходных потоков исследуемой системы, включающий в себя сбор данных, которые необходимы для достижения цели проводимого анализа.

3) Оценка воздействий (ОВЖЦ) – стадия, которая позволяет получить дополнительную информацию, способствующую проведению более качественного анализа результатов ИАЖЦ в отношении производственной системы, для оценивания их экологического значения.

4) Интерпретация – обобщение и обсуждение итогов ИАЖЦ и ОВЖЦ, на основе которых делают выводы, составляют рекомендации и принимают решения в соответствии с поставленной целью и установленной областью исследования.

### Жизненный цикл минерального преципитата

Пищевые отходы являются актуальной проблемой современности. Значительную часть от твердых коммунальных отходов составляют пищевые отходы. Низкий процент их вторичного использования приводит к загрязнению почвы, подземных вод, размножению различных микробов и появлению токсинов. Нерациональное использование природных ресурсов приводит к экономическим потерям. Сохранить природные ресурсы и использовать их вторично помогает оценка жизненного цикла пищевых отходов. Например, большое количество пищевых отходов ресторанов образуется при разделке морепродуктов. При этом такие отходы содержат большое количество ценных компонентов, среди которых минеральный преципитат, белковый гидролизат, жир.

Анализ расчета ОЖЦ демонстрирует соотношение затрат ресурсов и образующихся выбросов и сбросов при переработке минерал- и коллагенсодержащего сырья. На основе полученных данных делают выводы о возможных негативных воздействиях на окружающую среду и способствуют оптимизации технологических процессов еще до начала производства.

Отходы от разделки морепродуктов не являются опасными с точки зрения воздействия на природу. Несмотря на это необходимо производить оценку всего жизненного цикла, в том числе стадий вторичной переработки, поскольку последующие стадии могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Технологическая схема процесса представлена на рисунке 3.

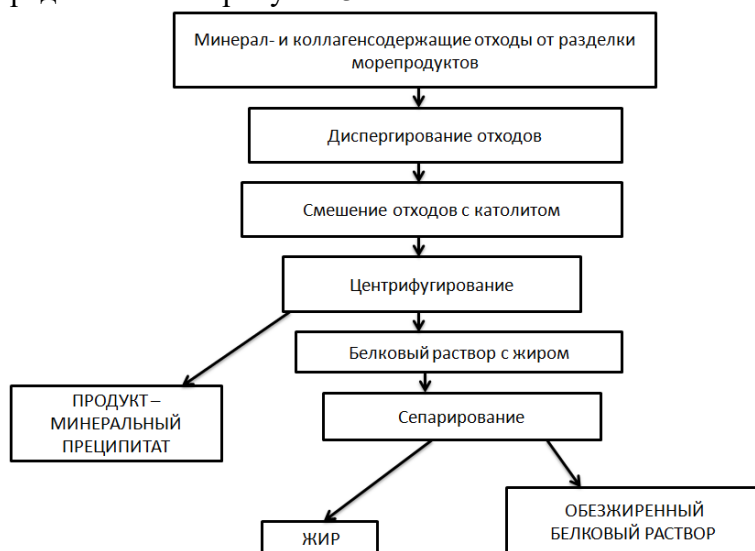


Рис. 3. Технологическая схема переработки преципитата

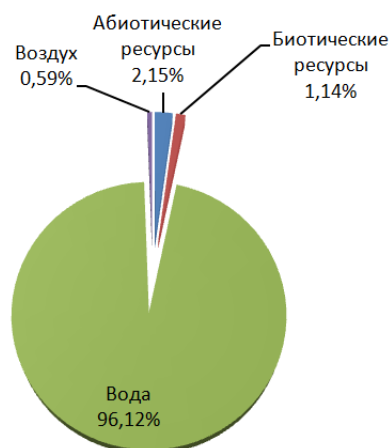


Рис. 4. Круговая диаграмма категорий воздействия входных потоков

При расчете ОЖЦ было выявлено, что основной вклад в загрязнение окружающей среды вносят сточные воды, образующиеся в процессе производства, однако, их состав не содержит агрессивных источников загрязнения. Основное воздействие на окружающую среду оказывали расход электрических и водных ресурсов. Диаграмма с соотношением категорий воздействия входных потоков (MIPS) приведена на рисунке 4.

Важно отметить, что проведение ОЖЦ позволяет оценить различные факторы негативного воздействия, возникающие в ходе производства и потребления продукции. В связи с этим, целесообразным является проведение ОЖЦ еще на стадии планирования производства, чтобы снизить возможные негативные факторы и оптимизировать технологию производства (сохранение временных, сырьевых, финансовых, энергетических и других ресурсов).

На основе полученных данных при расчете ОЖЦ минерального преципитата было выявлено, что данный процесс переработки отходов является выгодным, как с экономической, так и с экологической точки зрения. Продукты, полученные в ходе переработки, могут быть использованы в различных областях, например, изготовление пищевых добавок или фармацевтических препаратов и т.п.

## Литература

1. Сергиенко О.И., Копыльцова С.Е. Determination of food products environmental indicators based on a product life cycle assessment // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2011. – №1. – С. 284–298.
2. ГОСТ Р ИСО 14040-2010 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура – 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200077762> (дата обращения: 16.12.2021).



УДК 338

## ВЫБОР НАИЛУЧШЕЙ ДОСТУПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

*Галашова О.И.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: galashova\_o@mail.ru*

---

В работе приведен обзор и анализ существующих наилучших доступных технологий для переработки пластиковых отходов, их технологические, экономические и экологические показатели. В работе выбрана одна из технологий и предложена для внедрения на предприятие «СИБУРа». За счет внедрения одной из двух предлагаемых технологий повышается уровень дохода от реализации переработанной продукции на рынке и улучшается экологическая ситуация внешней среды.

**Ключевые слова:** наилучшая доступная технология, пластиковые отходы, утилизация, пиролиз, механическая переработка, экономическая оценка.

---

«СИБУР» – крупная нефтегазохимическая компания. Она производит и продает на Российском и международном рынках нефтехимическую продукцию в двух бизнес – сегментах: олефинах, полиолефинах (полипропилен, полиэтилен, БОПП и др.) и пластиках, эластомерах, промежуточных продуктах (синтетические каучуки, пенополистирол, ПЭТ и др.). Годовой оборот в 2021 году составил около семи миллиардов долларов США. Численность сотрудников составляет более 22 000 человек, в том числе административно-управленческий персонал – совет директоров 24 человека [1].

Актуальность данной работы заключается в том, что предприятие производит продукцию из пластика, данное производство имеет большое негативное влияние на окружающую среду, а именно накопление и утилизация отходов производства. В РФ согласно ФЗ N 7 "Об охране окружающей среды" обеспечение снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду должно достигаться путем использования наилучших доступных технологий (НДТ) с учетом экономических и социальных факторов. Предприятие относится к объектам первой категории негативного воздействия на окружающую среду, поэтому, в соответствии с законодательством, предприятию необходимо применять наилучшие доступные технологии в своем производстве [2].

После изучения технологических процессов производства продукции, описанной выше компании, была выделена проблема, решить которую возможно по средствам внедрения наилучшей доступной технологии в производство компании. Была выделена следующая проблема – на предприятии отсутствует система утилизации и переработки пластиковых отходов в качестве сырья.

Экологическая проблема была выделена в технологическом процессе «Переработчик полимеров». В аппарат поступают гранулы уже готового полимерного сырья, далее гранулы расплавляются до подвижного состояния, затем происходит экструзия, материал полностью подготовлен. Далее идет выдувное формование или литье под давлением, затем получившаяся форма проходит водяное охлаждение, процесс заканчивается сушкой.

Для производства пластиковых гранул используется следующее оборудование:

- печь для разогрева преформ (в ней преформы вращаются и перемещаются по печному тоннелю – за счет этого детали размягчаются и становятся пластичными);

- машина для выдува ПЭТ-бутылок с компрессором;
- пресс-форма для литья изделий (литье под давлением).

Для решения данной проблемы в статье рассматриваются две наилучшие доступные технологии: НДТ 1 – Механическая утилизация пластиковых отходов и НДТ 2 – Утилизация пластиковых отходов методом пиролиза. Далее рассмотрим подробнее каждую из предложенных технологий [3].

*НДТ 1 – Механическая утилизация пластиковых отходов.*

Основные этапы механической утилизации включают: предварительное измельчение отходов, повторную сортировку, промывку и сушку, агломерацию частиц пластика и дальнейшее изготовление гранул (затем затаривание в БигБэги и складирование).

Проект НДТ 1 – Техническая оценка представлена в таблицах 1, 2 и 3. Для внедрения данной технологии мы рекомендуем использовать оборудование со следующими характеристиками:

Таблица 1. Оборудование необходимое для производства вторичных гранул [4, 5]

| Наименование оборудования | Потребление электроэнергии, кВт | Производительность, т/год | Продолжительность работы, сут/год | Необходимое количество техники, шт |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Гранулятор                | 91,87                           | 5112                      | 355                               | 5                                  |
| Линия переработки         | 109,9                           | 3408                      | 355                               | 5                                  |

Таблица 2. Количество и стоимость оборудования НДТ 1 [4, 5]

| Наименование оборудования | Количество единиц оборудования, ед | Стоимость одной единицы оборудования, руб./ед | Общая стоимость оборудования, руб./год |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Гранулятор                | 5                                  | 1 250 000                                     | 6 250 000                              |
| Линия переработки         | 5                                  | 5 511 830                                     | 27 559 150                             |
| <b>ИТОГ</b>               | -                                  | -                                             | <b>33 809 150</b>                      |

Таблица 3. Структура инвестиционных затрат НДТ 1

| № п/п | Наименование статьи затрат          | Стоимость, руб.   | Примечание  |
|-------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1     | Приобретение оборудования           | 33 809 150        | -           |
| 2     | Разработка проекта                  | 8452287,5         | 25% от п.1  |
| 3     | Монтажные и пусконаладочные работы  | 4057098           | 12% от п.1  |
| 4     | Транспортно-заготовительные расходы | 1690457,5         | 5% от п.1   |
| 5     | Обучение                            | 1352366           | 4% от п.1   |
| 6     | Прочие расходы                      | 845228,75         | 2,5% от п.1 |
|       | <b>ИТОГО: I<sub>0</sub></b>         | <b>50 206 588</b> | —           |

Проект НДТ 1 – Экологические результаты. Организация системы переработки и сортировки отходов производства V и IV классов (брака) во вторичные гранулы позволит сократить плату за размещения отходов (бракованных изделий), и снизить негативное воздействие на окружающую среду со стороны предприятия, а именно, предприятие не складировать отходы в размере 16 333 т/год и экономит около 5 557 303 руб./год. Проект НДТ 1 – Экономические результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Экономическая оценка НДТ 1

| Наименование статей экономии (или затрат) | Текущая ситуация  |                 | После внедрения   |                 | Экономия          |                    |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
|                                           | кол-во тыс. т/год | стоимость, руб. | кол-во тыс. т/год | стоимость, руб. | кол-во тыс. т/год | стоимость, руб.    |
| Сокращение захоронения отходов (брака)    | 16,333            | 5 557 303       | 0                 | 0               | 16,333            | 5 557 303          |
| Эксплуатационные затраты                  | 0                 | 0               | -                 | 46 044 564      | -                 | - 46 044 564       |
| Доход от продажи вторичных гранул         | 0                 | 0               | 130664            | 256000000       | -                 | 256 000 000        |
| <b>Итого, чистая годовая экономия</b>     |                   |                 |                   |                 |                   | <b>218 893 654</b> |

Период окупаемости данного проекта составит  $PB = 0,229$  года.

*НДТ 2 – Утилизации пластиковых отходов методом пиролиза.*

В основу технологии утилизации положен метод термодинамической деструкции полимерных отходов, термическое разложение без доступа кислорода с образованием пиролизных газов и твердого углеродного остатка, называемого коксозольным, процесс описан на рисунке.

Жидкие продукты пиролиза схожи по своим свойствам с нефтепродуктами и относятся к синтетическим топливам [3].

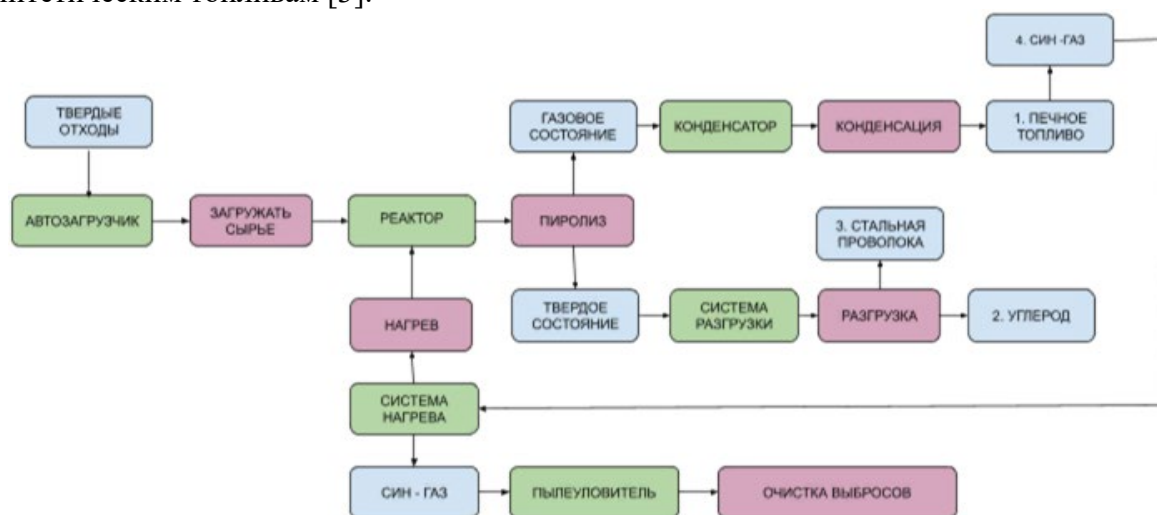


Рисунок. Технологическая схема утилизации отходов пиролизом

Проект НДТ 2 – Техническая оценка представлена в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Оборудование необходимое для переработки отходов с помощью пиролиза [6]

| Наименование оборудования                                        | Потребление электроэнергии, кВт | Производительность, т/год | Продолжительность работы, сут/год | Необходимое количество техники, шт |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Пиролизная установка по переработке отходов пластика НУ2800*8000 | 15                              | 3550                      | 355                               | 2                                  |

Таблица 6. Количество и стоимость оборудования НДТ 2 [6]

| Наименование оборудования                                        | Количество единиц оборудования, ед | Стоимость одной единицы оборудования, руб./ед | Общая стоимость оборудования, руб./год |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Пиролизная установка по переработке отходов пластика НУ2800*8000 | 2                                  | 6 900 000                                     | 13 800 000                             |

Инвестиционные затраты для реализации данного проекта составят 20 493 000 руб.

Проект НДТ 2 – Экологические результаты. Организация системы переработки отходов производства V и IV классов опасности позволит уменьшить плату за размещение в размере 55 939 т/год, а именно экономия составит 26 586 504 руб./год.

Проект НДТ 2 – Экономические результаты описаны в таблице 7.

Выпускаемая продукция: Печное топливо – используется непосредственно в промышленном или котельном отоплении, в качестве альтернативы мазуту. Шлак – используется для изготовления необожженного кирпича или в дорожном строительстве.

Таблица 7. Экономическая оценка НДТ 2

| Наименование статей экономии (или затрат)                  | Текущая ситуация  |                 | После внедрения   |                 | Экономия          |                    |
|------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
|                                                            | кол-во тыс. т/год | стоимость, руб. | кол-во тыс. т/год | стоимость, руб. | кол-во тыс. т/год | стоимость, руб.    |
| Сокращение захоронения отходов IV и V классов опасности    | 55939             | 18994802        | 0                 | 0               | 55939             | 26586504           |
| Эксплуатационные затраты                                   | 0                 | 0               | –                 | 6 361 752       | –                 | - 6361752,00       |
| Доход от продажи печного топлива (литры)                   | 0                 | 0               | 55939             | 875871607,5     | 58391440          | 875 871 607        |
| Доход от продажи шлака для дорожного строительства (тонна) | 0                 | 0               | 55939             | 18459870        | –                 | 18 459 870         |
| <b>Итого, чистая годовая экономия</b>                      |                   |                 |                   |                 |                   | <b>906 964 527</b> |

Проект рентабелен, так как внутренняя норма рентабельности  $IRR = 34,39\% > 20\%$ , т. е.  $IRR > r$ .  $PI = 86,96 \Rightarrow$  проект рентабельный. Экономический эффект = 90 696 452 руб./год. Исходя из приведенных выше данных можно сделать вывод, что НДТ 2 будет более экономически выгодна после внедрения на предприятие, чем НДТ 1. Рекомендуем НДТ 2 – Утилизация пластиковых отходов методом пиролиза к внедрению на производство компании «СИБУР».

### Литература

1. ПАО «СИБУР Холдинг». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sibur.ru/> (дата обращения: 21.12.2021).
2. Федеральный закон N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/928be6671acc6ba6e6da54aec949a23259a65002/#dst100158](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/928be6671acc6ba6e6da54aec949a23259a65002/#dst100158) (дата обращения: 25.12.2021).
3. ИТС 15-2016 Утилизация и обезвреживание отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docinfo.ru/its/its-15-2016/> (дата обращения: 16.01.2022).
4. Гранулятор 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://1pilorama.com/p243256269-granulatory-ogm1.html> (дата обращения: 16.01.2022).
5. Линия переработки ПЭТ бутылок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.prostanki.com/board/item/365179> (дата обращения: 16.01.2022).
6. Пиролизная установка по переработке пластика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://huayinpyrolys.ru/products/> (дата обращения: 20.01.2022).

УДК 636.087.25

## АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

*Гиматдинова А.Г.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: g\_alsu1999@mail.ru*

---

В работе рассмотрен состав различных фракций твёрдых коммунальных отходов, в том числе, фракция пищевых органических отходов, а также представлен анализ по источникам и количеству образования пищевых отходов, приведены эффективные пути утилизации пищевых отходов.

**Ключевые слова:** твёрдые коммунальные отходы, пищевые отходы, вторичное сырьё, отдельный сбор отходов, полигоны, анаэробное сбраживание, компостирование, сжигание.

---

Внимание к проблеме пищевых отходов привлекает в первую очередь то, что они составляют основную часть твердых бытовых отходов (ТБО). По данным Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфиловой, в Москве процент пищевых отходов по массе составляет 24,2.

Во-вторых, пищевые отходы содержат ценные органические вещества, в том числе крахмал, жиры, белки, углеводы, которые с помощью современных технологий можно перерабатывать в различные полезные продукты. По данным IFC World Bank Group, средний биологический потенциал твердых бытовых отходов в России оценивается в 55%, энергетический – в 35%, потенциал вторичного сырья – в 40%, что подтверждает возможность и целесообразность переработки [1].

Актуальность проблемы обусловлена огромными объемами захоронения пищевых отходов, а также размещением их на открытых свалках, что безусловно увеличивает воздействие вредных выбросов в атмосферу [2].

Научная новизна данного исследования заключается в представлении анализа данных по образованию пищевых отходов в Санкт-Петербурге впервые.

Итак, объектом исследования являются пищевые отходы города Санкт-Петербург и Ленинградской области. Предметом исследования являются способы утилизации органических пищевых отходов.

Целью исследования является рассмотрение основных пищевых отходов и мест их образования. Эта цель достигается решением следующих задач:

- 1) приведение статистики образования отходов в регионе;
- 2) учет источников пищевых отходов в регионе;
- 3) изучение возможности использования образующихся отходов;
- 4) приведение наиболее эффективных способов рационального использования и утилизации пищевых отходов.

В состав ТБО входят бумага и картон – 35%, пищевые отходы – 41% (25,8 млн т/год), пластмассы – 3%, стекло – 8%, металлы – 4%, текстиль и др. – 9%. В среднем перерабатывается 10 – 15% отходов, пищевые отходы перерабатываются в количестве 3 – 4%, что составляет всего 0,7 – 1 млн тонн в год.

---

Пищевые отходы – это пищевые продукты, полностью или частично утратившие свои первоначальные потребительские свойства в процессе их производства, переработки, использования или хранения.

Рассмотрение основных источников пищевых отходов показывает, что различные торговые сети, мясо- и хлебоперерабатывающие предприятия, пивоваренные заводы и теплицы производят основную часть пищевых отходов в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

Отходы кухонь, после соответствующей стерилизации для обезвреживания инфекционных агентов, могут использоваться для откорма свиней вместе с комбикормом. Отходы в основном имеют среднее содержание белка и высокое содержание жира.

По мнению рестораторов, органика — это основной мусор на кухне, составляющий 70 – 80% всех отходов. По оценкам экспертов, одно предприятие производит в среднем около 100 кг пищевых отходов в сутки. По данным городского комитета по развитию предпринимательства и потребительского рынка, в Санкт-Петербурге насчитывается 8 264 кафе и ресторанов, что составляет уже 826 тонн органических отходов в сутки и 301 490 тонн в год. И это без учета заводов, торговых сетей и прочих компаний.

В настоящее время в Санкт-Петербурге ежегодно образуется 9,7 млн. м<sup>3</sup> или 1700 тыс. тонн твердых бытовых отходов в результате деятельности населения, промышленных организаций, магазинов и предприятий. На долю пищевых отходов приходится примерно 697 тыс. тонн. Учитывая, что перерабатывается только 3 – 4% пищевых отходов (20 – 21 тыс. т/год), то остальные 676,09 тыс. т/год вывозятся на полигоны и утилизируются.

На сегодняшний день действуют полигоны «Красный Бор» и «Новый Свет». Частный полигон ООО «Новый Свет-Эко» расположен в Гатчинском районе Ленинградской области севернее поселка Новый Свет. Общая площадь 43,15 га, складская площадь полигона 35,7 га, по проекту – 18 млн т. Годовая мощность – 900 тыс. т., эксплуатируется с 2001 г. Красный Бор – полигон для размещения и хранения промышленных токсичных отходов предприятий Санкт-Петербурга и Ленинградской области I – V класс опасности, за исключением радиоактивных отходов. Площадь полигона составляет 64,7 га. Это единственный объект захоронения опасных промышленных отходов в Северо-Западном федеральном округе.

Основные причины неблагоприятной экологической обстановки, связанной с хранением, размещением, накоплением отходов производства и потребления: недостаточное экологическое просвещение, недостаточное количество контейнеров для раздельного сбора отходов, отсутствие систематического сбора и вывоза отходов из региона, наличие несанкционированных мест размещения отходов, отсутствие технического контроля за полигонами и мусоровозами. Также в России сложная ситуация с поиском данных и отчетов по образованию и размещению отходов на полигонах, что усложняет составление статистической картины и изучение эффективных решений.

Успех в ситуации с отходами может быть достигнут только в случае одновременного принятия законодательных актов, внедрения инфраструктуры раздельного сбора отходов по всей стране.

Необходимо осознать, что пищевые отходы представляют собой перспективное сырьё, способное принести значительную экономическую выгоду [6].

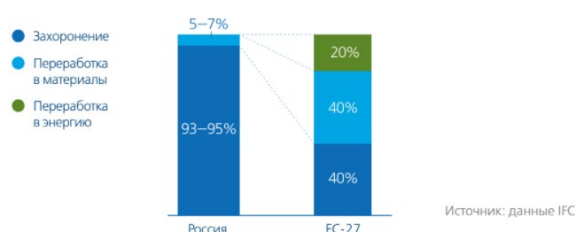


Рис. 1. Уровень переработки ТКО в России и ЕС [1]

Несмотря на большую долю перерабатываемых фракций, имеющих в твердых бытовых отходах России, а именно 23% пищевых отходов, уровень утилизации, по самым оптимистичным оценкам, составляет не более 5 – 7% (рис. 1). Остальные твердые бытовые отходы выбрасываются.

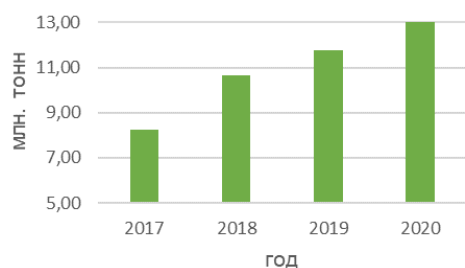


Рис. 2. Объем образующихся отходов производства и потребления

На рисунках 3 и 4 представлена информация об объемах образования и утилизации органических пищевых отходов основными торговыми сетями Санкт-Петербурга, а именно X5 Retail Group за 2019 и 2020 год соответственно [3].

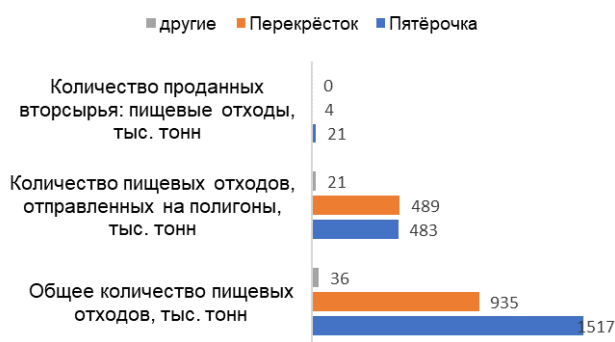


Рис. 3. Динамика образования и утилизации пищевых отходов X5 Retail Group в 2019 г.



Рис. 4. Динамика образования и утилизации пищевых отходов X5 Retail Group в 2020 г.

Процентное соотношение образования пищевых отходов ОАО «Магнит» показано на рисунке 5 [4].

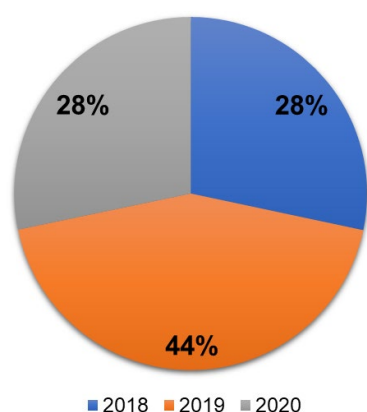


Рис. 5. Процентное соотношение образования пищевых отходов за 2018–2020 гг. по ОАО «Магнит»

Представленные данные показывают, что ситуация с системой обращения с пищевыми отходами негативная. Объемы образования и размещения пищевых отходов на полигонах Санкт-Петербурга продолжают стремительно расти из года в год, что требует вмешательства на законодательном уровне. Далее будут рассмотрены эффективные способы переработки пищевых отходов.

Пищевые отходы как правило, характеризуются как сильно гнилостное, быстро разлагающееся сырьё с высоким содержанием влаги и объёмной плотностью. Существует несколько видов пищевых отходов: чистые, смешанные и опасные. Способы эффективного использования пищевых отходов зависят от их состава. Таблица демонстрирует разницу между способами утилизации пищевых отходов, а именно процессами компостирования, анаэробного сбраживания и массового сжигания.

Наиболее эффективными способами утилизации бытовой органики являются компостирование или анаэробное сбраживание. Процесс высокоэффективен и имеет экономическую выгоду за счёт возможности получения биотоплива в случае анаэробного сбраживания. С другой стороны, компостирование приводит к увеличению количества полезных бактерий и органических веществ в компосте, которые создают и улучшают структуру почвы, а также обеспечивает питательными веществами и микроорганизмами,

необходимыми для роста растений. Подытоживая, можно сделать вывод о том, что это может быть реализовано только при наличии достаточных финансовых вложений и законодательной поддержке со стороны государства, поскольку оборудование достаточно дорогое и требует соответствующего законодательного регулирования. Раздельный сбор отходов и предотвращение пищевых отходов могут быть полезными при переходе к эффективной утилизации пищевых отходов.

Таблица. Сравнительная характеристика способов утилизации пищевых отходов

| Название метода        | Преимущества                                                                                                      | Недостатки                                                  |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Компостирование        | самый простой и дешевый способ                                                                                    | компостирование с кислородом, присутствующим на свалках     |
|                        | улучшает структуру почвы, обеспечивая питательными веществами и микроорганизмами, необходимыми для роста растений | низкая скорость образования компоста                        |
|                        | увеличивает задержку воды                                                                                         | требует много места                                         |
|                        | уменьшает образование метана (и его выброс) в атмосферу                                                           | требует раздельного сбора и транспортировки                 |
| Анаэробное сбраживание | обеспечивает бескислородное разложение органических веществ                                                       | дорого и технологически сложно                              |
|                        | преобразует отходы в энергию (биотопливо)                                                                         | общее содержание твёрдых веществ должно быть 4 – 10%        |
|                        | 2 побочных продукта - вода, богатая питательными веществами, и твёрдое вещество, похожее на компост.              |                                                             |
|                        | высокая скорость брожения из-за отсутствия кислорода                                                              |                                                             |
| Сжигание               | самая распространенная и простая форма сжигания                                                                   | пепел вывозят и закапывают                                  |
|                        | вырабатываемый пар приводит в действие турбину электрогенератора                                                  | уничтожение перерабатываемых отходов                        |
|                        |                                                                                                                   | потребность в сложных системах очистки атмосферных выбросов |

## Литература

1. Итоговый отчет IFC Отходы в России: мусор или ценный ресурс? Сценарии развития отрасли обращения с твердыми бытовыми отходами – 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biotech2030.ru/wp-content/uploads/2018/04/Othody-v-RF.pdf> (дата обращения: 03.02.2022).
2. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 г. / Под ред. Д.С. Беляевой, И.А. Серебрицкий – Ижевск.: ООО «ПРИНТ». – 2021. – С. 162–163.
3. Отчёт об устойчивом развитии X5 RETAIL GROUP – 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.x5.ru/ru/X5\\_Sustainability\\_Report\\_2020\\_RUS.pdf](https://www.x5.ru/ru/X5_Sustainability_Report_2020_RUS.pdf) (дата обращения: 03.02.2022).
4. Отчет об устойчивом развитии ПАО «Магнит» – 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.magnit.com/ru/media/press-releases> (дата обращения: 03.02.2022).
5. Wünsch, C. Municipal solid waste management in Russia: potentials of climate change mitigation. / C. Wünsch, A. Tsybina // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2022. – Vol.19. – Pp. 27–42.



УДК 579.67

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СЕНСОРНОГО ПРОФИЛЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ГОРОХА ЖЕЛТОГО

Глинская М.А.<sup>1</sup> (студент)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Баракова Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Университет ИТМО

e-mail: mglinskys@gmail.com, barakova@corp.ifmo.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 подчеркнута актуальность создания новых продуктов на основе бобовых в качестве альтернативы продуктам животного происхождения. Рассмотрена возможность ферментации горохового белка молочнокислыми бактериями, дрожжами как способа повышения его пищевой, биологической ценности и улучшения сенсорного профиля. Выполнен обзор применения различных микроорганизмов для модификации или улучшения вкуса, аромата горохового белка, повышения его выхода в процессе экстракции.

**Ключевые слова:** бобовые, гороховый белок, люпин, бобовый вкус, ферментация, молочнокислые бактерии, дрожжи,

---

Во всем мире популярность продуктов из растительного сырья в качестве альтернативы продуктам животного происхождения динамично растет. Все больше людей предпочитают сокращать или исключать мясные и молочные продукты из своего рациона по соображениям здоровья, экологической устойчивости, по этическим соображениям. Согласно прогнозам, этот рост продолжится [1, 2].

По данным NielsenIQ продажи растительных аналогов молочных и мясных продуктов в России за год к октябрю 2021 года выросли на 19% в натуральном выражении, в то время как оборот продуктов животного происхождения за этот же период сократился на 1%. За последние два года продажи этих категорий продуктов в РФ удвоились [3]. Стремясь удовлетворить потребительский спрос, пищевая промышленность ищет новые способы и технологии обработки растительного сырья и создания продуктов на его основе. На рынок выходит все больше и больше растительных продуктов, имитирующих продукты животного происхождения, такие как мясо, рыба, яйца, молоко, сыр [4]. Вместе с тем пищевая промышленность сталкивается с трудностями в обеспечении приемлемого сенсорного восприятия в имитации текстуры и вкуса.

Разработка высокобелковых растительных продуктов на основе бобовых является перспективным направлением в развитии пищевой индустрии. Бобовые (горох, нут, чечевица, фасоль, люпин) являются важным источником пищевых белков, имеющих высокую биологическую ценность и обладающих функциональными свойствами, играющими важную роль в производстве продуктов питания, такими как растворимость, водо- и жиросвязывающая способность, эмульгирование и пенообразование [5]. Желтый горох (*Pisum sativum*) вызывает особый интерес благодаря его доступности, качественному аминокислотному составу и

---

низкому уровню аллергенности. Технологии переработки семян гороха позволяют создавать из него белковые концентраты и изоляты, на основе которых готовятся гидролизаты и применяются как сырье для разработки инновационных растительных продуктов питания [6, 7].

Однако, использование гороха и горохового белка в пищевой промышленности ограничено характерным бобовым вкусом и ароматом, связанными с молекулами альдегида, в основном гексаналя. Помимо молекул альдегидов, другие соединения, такие как кетоны, спирты, пиразины и фураны также способствуют формированию характерного запаха бобовых. Большая часть этих компонентов образуется в результате окисления и ферментативного расщепления ненасыщенных жирных кислот во время сбора урожая, хранения и дальнейшей обработки [8]. Кроме того, привлекательность гороха снижает наличие антипитательных факторов, таких как фитиновые кислоты, алкалоиды, сапонины, не перевариваемые углеводы, ингибиторы трипсина, химотрипсина, лектины. В результате их действия аминокислотный коэффициент усвояемости белков необработанных бобовых обычно находится в диапазоне от 0,4 до 0,7 [9].

Существуют различные методы, помогающие преодолеть эти ограничения. Их можно разделить на 3 группы:

1. Физические:

- термическая обработка, в том числе микроволновая обработка и инфракрасное облучение;
- облучение электронным пучком (EBI);
- обработка под высоким давлением: высокое гидростатическое давление (ННР), динамическое высокое давление (DHP);
- экструзия;
- ультрафильтрация.

2. Химические:

- гликирование;
- фосфорилирование.

3. Биологические:

- применение энзимов (трансглутаминаза, папаин, алкалаза и др.);
- применение микроорганизмов (молочнокислых бактерий, дрожжей, грибов) [10].

Ферментация с помощью микроорганизмов традиционно применяется для сохранения пищевых продуктов, а также для модификации или улучшения вкуса, текстуры пищи, повышения питательных свойств продуктов питания с сохранением натуральности [11]. Эта технология используется в основном для создания продуктов на основе овощей, молока и сои. Относительно недавно исследователей особенно заинтересовала возможность применения ферментации в отношении бобовых и продуктов их переработки.

В данном случае под ферментацией понимается обработка субстратов (гидролизатов) микроорганизмами. Она заключается в модификации сырья микроорганизмами (бактериями, плесенью и дрожжами), которые растут и потребляют часть субстрата и обогащают его продуктами своего метаболизма. Во время ферментации микроорганизмы вырабатывают ферменты, которые расщепляют белки, углеводы, липиды, органические кислоты и генерируют предшественников нелетучих и летучих соединений и таким образом, влияют на аромат, текстуру и вкус. Микроорганизмы повышают биодоступность питательных веществ, разлагают токсичные компоненты и антипитательные вещества, продуцируют антиоксидантные и антимикробные соединения, биологически активные пептиды, витамины, стимулируют пробиотические функции и обогащают пищевые продукты полезными для здоровья биоактивными соединениями [12]. В результате ферментированные продукты обеспечивают множество преимуществ для здоровья, таких как антиоксидантное, антимикробное, противогрибковое, противовоспалительное, антидиабетическое и антиатеросклеротическое действие [13].

В качестве микроорганизмов для ферментации используются молочнокислые бактерии, дрожжи и грибы. Молочнокислые бактерии (LAB) представляют наибольший интерес для ферментации пищевых продуктов, в том числе для ферментации бобовых. Белки гороха являются подходящими субстратами для молочнокислых бактерий, относящихся к *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactococcus lactis* и *Lactobacillus casei* [10]. Потенциал для улучшения аромата экстрактов горохового протеина показали *Lactobacillus plantarum* и *Pediococcus pentosaceus*. В ходе эксперимента, где в течение 48 часов ферментировали жидкие белковые экстракты гороха, было зафиксировано уменьшение содержания гексанала и произошел эффект маскировки «бобового» запаха [14].

Новые возможности для повышения принятия потребителями продуктов на основе горохового белка открывает создание микробных консорциумов, способных активно ферментировать гороховые белки и влиять на ароматический профиль продукта, уменьшая ноты бобового аромата и имитируя новые ароматы. При сравнении с помощью сенсорной группы образцов не ферментированного 4% раствора горохового белка и ферментированного в присутствии молочнокислых бактерий с дрожжами (*Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces marxianus* или *Torulaspora delbrueckii*) и без дрожжей был отмечен более сильный эффект снижения бобовых «нот» в растворах горохового протеина при ферментации совместно с дрожжами. В присутствии дрожжей произошло создание новых нот, которые изменили восприятие сенсорных дефектов гороха. Анализ профилей летучих соединений с помощью газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией подтвердил изменения в ферментированных образцах по сравнению с незасаженным образцом. Большинство молекул альдегида, фурана и кетона были деградированы, а также присутствовали сложные эфиры, которые могли вызвать маскирующий эффект на сенсорные дефекты гороха [8].

Исследование 55 различных штаммов микроорганизмов группой ученых из Франции позволило выделить два микробных консорциума, способных расти на 100% эмульсии горохового белка, не содержащей углеводов и на горохово-молочной эмульсии (соотношение 50:50), содержащей лактозу. Эти консорциумы состояли из шести-девяти штаммов, включая дрожжи *Geotrichum Candidum*, *Kluyveromyces marxianus* и *Candida catenulata*, молочнокислые бактерии *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus casei* и бактерии *Hafnia alvei*. Результаты показали, что ферментации 100% эмульсии гороха привела к образованию аромата жареного/жареного на гриле, а сбраживание горохово-молочной эмульсии вызывало образование ароматов банана и абрикоса. Также зафиксировано снижение уровня гексанала, ответственного за бобовый аромат [12].

Таким образом, микробные сообщества из-за синергетического эффекта имеют огромный потенциал улучшить качество ферментированных продуктов на растительной основе. Процесс ферментации с использованием совместного культивирования молочнокислых бактерий и дрожжей может компенсировать сенсорные дефекты продукта на основе горохового протеина без добавления искусственных ароматических соединений.

Также установлено, что ферментация горохового белка *Lactobacillus plantarum* приводит к повышению содержания биологически активных соединений (аминокислот, фенолов, пептидов); увеличению усвояемости белка за счет снижения уровней соединений, которые ингибируют пищеварительные ферменты; улучшению биодоступности минералов [15]. А экстракция белка из семян гороха путем ферментации молочнокислыми бактериями *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium lactis* показала увеличение выхода белка на 20 – 30% и повышение фракции альбумина по сравнению с экстракцией за счет добавления минеральной кислоты, что означает увеличение растворимости и пенообразующей способности белка [16].

Данный обзор показал, что ферментация гороха и продуктов его переработки может использоваться как метод для сохранения и увеличения доступности питательных микроэлементов, улучшения сенсорных свойств и повышения пользы для здоровья. Горох имеет потенциал стать лучшим ингредиентом в высокобелковых продуктах на растительной основе, чем любые другие растения, благодаря высокой доступности, содержанию белка,

почти вдвое превышающему цельнозерновые и псевдозерновые, низкой стоимости и аллергенности по сравнению с орехами. Присутствие в горохе и белковых экстрактах гороха антипитательных факторов, а также их бобовый вкус и аромат могут быть сглажены в процессе ферментации микроорганизмами. Однако, исследований о влиянии ферментации на сенсорные характеристики ферментированных продуктов на основе гороха пока недостаточно. Необходимы дальнейшие исследования, раскрывающие механизмы взаимодействия различных представителей бактериального, грибкового, дрожжевого сообществ и компонентов гороха, влияние ферментативного процесса на высвобождение различных ароматических соединений, а также оценивающие восприятие потребителей для подбора подходящих микробных комбинаций и дизайна новых ферментированных продуктов.

## Литература

1. U. S. retail market data for the plant-based industry. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gfi.org/marketresearch/> (дата обращения: 06.12.2021).
2. Plant-based Foods Market to Hit \$162 Billion in Next Decade, Projects Bloomberg Intelligence. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/company/press/plant-based-foods-market-to-hit-162-billion-in-next-decade-projects-bloomberg-intelligence/> (дата обращения: 06.12.2021).
3. Развивающийся тренд: как устроен рынок растительного мяса? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nielseniq.com/global/ru/insights/education/2021/razvivayushchijsya-trend-kak-ustroen-rynok-rastitelnogo-myasa/> (дата обращения: 06.12.2021).
4. McClements DJ., Grossmann L. The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs // *Compr Rev Food Sci Food Saf.* – 2021. – №20(4). – Pp. 4049–4100.
5. Boye J.I., Zare F.Y., Pletch A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed // *Food Research International.* – 2010. – №43. – Pp. 414–431.
6. Корнева Л.Я., Королев А.А. Применение гороха как источника белка и способ его комплексной обработки // *Тенденции развития науки и образования.* – 2020. – №68-3. – С. 22–26.
7. Lam A.C.Y., Karaca A., Tyler R.T., Nickerson M.T. Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality // *Food Reviews International.* – 2018. – №34. – Pp. 126–147.
8. El Youssef C., Bonnarme P., Fraud S., Péron A.C., Helinck S., Landaud S. Sensory Improvement of a Pea Protein-Based Product Using Microbial Co-Cultures of Lactic Acid Bacteria and Yeasts // *Foods.* – 2020. – №9(3). – 349 p.
9. Mefleh M., Pasqualone A., Caponio F., Faccia M. Legumes as basic ingredients in the production of dairy-free cheese alternatives: a review // *J Sci Food Agric.* – 2021. – №102. – Pp. 8–18.
10. Nikbakht M., Sedaghat Doost A., Mezzenga R. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products // *Food Hydrocolloids.* – 2021. – №118. (<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>).
11. Hugenholtz J. Traditional biotechnology for new foods and beverages // *Current Opinion in Biotechnology.* – 2013. – T.24. – №2. – Pp. 155–159.
12. Ben-Harb S., Saint-Eve A., Panouillé M., Souchon I., Bonnarme P., Dugat-Bony E., Irlinger F. Design of microbial consortia for the fermentation of pea-protein-enriched emulsions // *Int J Food Microbiol.* – 2019. – №293. – Pp. 124–136.
13. Şanlıer N., Gökçen B.B., Sezgin A.C. Health benefits of fermented foods // *Crit Rev Food Sci Nutr.* – 2019. – №59(3). – Pp. 506–527.
14. Schindler S., Zelena K., Krings U., Bez J., Eisner P., Berger R. Improvement of the Aroma of Pea (*Pisum sativum*) Protein Extracts by Lactic Acid Fermentation // *Food Biotechnology.* – 2012. – №26. – Pp. 58–74.
15. Çabuk B., Nosworthy M.G., Stone A.K., Korber D.R., Tanaka T., House J.D., Nickerson M.T. Effect of Fermentation on the Protein Digestibility and Levels of Non-Nutritive Compounds of

Pea Protein Concentrate // Food Technol Biotechnol. – 2018. – №56(2). – Pp. 257–264.

16. Emkani M., Oliete B., Saurel R. Pea Protein Extraction Assisted by Lactic Fermentation: Impact on Protein Profile and Thermal Properties // Foods. – 2021. – №0(3). – 549 p.

УДК 504.06

## ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ НЕПРИЯТНО ПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Гнатенко К.В.<sup>1</sup> (студент), Твердая А.В.<sup>1</sup>, Орипова А.А.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: kristina\_lagan@mail.ru, naz.nastasya@gmail.com,  
oisergienko@itmo.ru, aaoripova@itmo.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620148 «Развитие методологии экологического мониторинга на основе внедрения технологий Интернета вещей».*

---

В статье проводится обзор современных методов экологического контроля выбросов неприятно пахнущих веществ. При выборе того или иного метода необходимо оценивать особенности применения и существующие ограничения в конкретных условиях, и особенно учитывать, какую информацию требуется получить. В работе анализируются методы измерения запаха, рассматриваются их достоинства и недостатки. В качестве критериев для сравнения методов выбраны принципы действия сенсоров, типы предоставляемой информации, условия применения и существующие ограничения.

**Ключевые слова:** неприятно пахнущие вещества, сенсоры, электронный нос, категории, инструментальный способ.

---

Человеческое обоняние – один из важных элементов «сенсорной системы» человека, позволяющий получать существенную информацию об окружающем мире. Благодаря чувству обоняния люди могут распознать опасность быстрее, чем это сделает слух или зрение. О таких опасностях, как распространение дурно пахнущих веществ, сигнализируют жалобы населения. Запахи влияют на физиологическое состояние человека.

Многие виды экономической деятельности и землепользования, например компостирование или захоронение отходов, очистные сооружения, интенсивное разведение домашнего скота, загрязняют атмосферу дурно пахнущими веществами до уровня, который потенциально представляет угрозу качеству жизни населения, проживающих по соседству с предприятиями.

В последние десятилетия было изучено и разработано несколько методов мониторинга запахов окружающей среды, как на уровне выбросов, так и на уровне рецепторов, однако, необходимо учитывать условия их применимости и ограничения.

В настоящее время можно выделить четыре категории методов определения дурно пахнущих веществ в зависимости от нескольких аспектов:

- сенсорный (чувственный);
- инструментальный: используется человеческий нос в качестве рецептора;
- методы, применяемые на уровне источника выбросов;
- методы, применяемые на уровне рецепторов, т.е. там, где непосредственно проживает население [1].

На рисунке 1 схематически представлены существующие методы оценки воздействия запаха в соответствии с описанной выше классификацией.

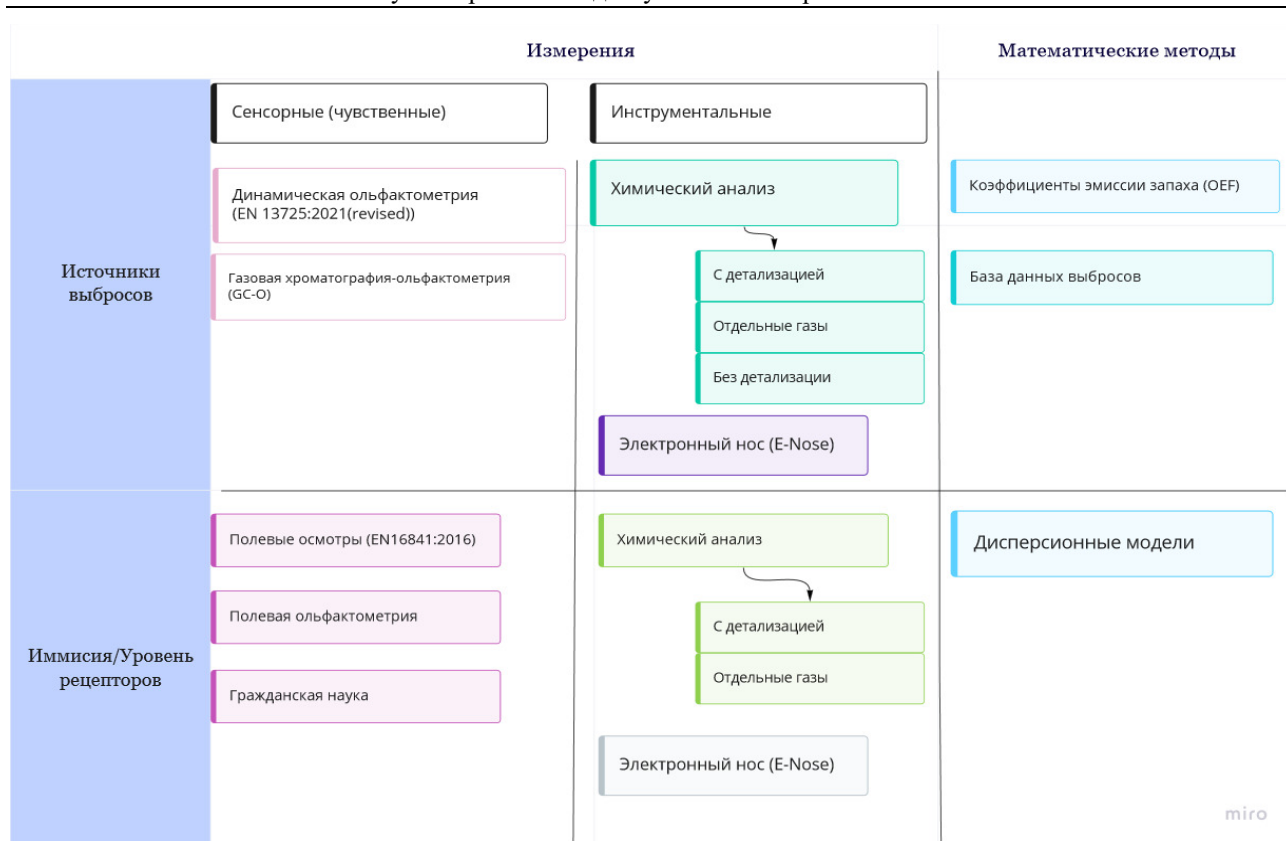


Рис. 1. Обзор методов оценки воздействия запаха, как с точки зрения типа измерения, так и с точки зрения выделения или эмиссии (рецепторов)

В настоящее время среди методов на *уровне источника выбросов* дурно пахнущих веществ применяют динамическую ольфактометрию, химический анализ, газовую хроматографию-ольфактометрию (GC-O), инструментальный мониторинг с применением электронного «носа» (E-NOSES).

На *уровне рецепторов* выделяют полевой осмотр, полевую ольфактометрию, гражданскую науку (Citizen Science), химический анализ, инструментальный мониторинг с применением электронного «носа» (E-NOSES).

Так как вышеупомянутые методы основаны на разных принципах, в целях систематизации информации об их применимости в экологическом мониторинге, далее рассмотрим пределы применимости каждого метода и их ограничения (таблица) [2].

Таблица. Применимость и ограничения различных методов измерения запаха

| Метод измерения             | Уровень применимости | Применимость                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ограничения                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Динамическая ольфактометрия | Источник выбросов    | <ul style="list-style-type: none"> <li>измерение концентрации запахов, исходящих от источника;</li> <li>проверка соблюдения нормативных пределов;</li> <li>предоставление информации, которая может быть использована в качестве исходных данных для моделирования рассеивания с целью оценки воздействия запахов на граждан</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>непостоянный мониторинг выделения запаха (прерывистый метод);</li> <li>нет информации о качестве запаха и гедоническом тоне запахов; нельзя идентифицировать запахи или различать разные запахи</li> </ul> |

## Продолжение таблицы

| Метод измерения                              | Уровень применимости            | Применимость                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ограничения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Химический анализ с детализацией             | Выбросы и/или окружающий воздух | <ul style="list-style-type: none"> <li>предоставление информации о химическом составе запахов;</li> <li>идентификация и количественный анализ обнаруженных химических соединений, которые могут быть использованы для оценки воздействия на окружающую среду и здоровье человека</li> </ul>                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>не всегда эффективен, особенно при измерениях сложных запахов, из-за синергетического и маскирующего действия одорантов;</li> <li>трудно оценимая корреляция между химическим составом и концентрацией запаха смеси;</li> <li>менее чувствительный, чем человеческий нос, к зловонным соединениям с низким порогом обоняния</li> </ul> |
| Газовая хромато-графия-ольфактометрия (GC-O) | Источник выбросов               | <ul style="list-style-type: none"> <li>получить информацию о характере запаха, связанного с различными молекулами, содержащимися в образце запаха, и, таким образом, о качестве запаха;</li> <li>высокая чувствительность: человеческий нос более чувствителен, чем инструментальный детектор</li> </ul>                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>нет информации о концентрации запаха в образце: из-за разделения образца на отдельные компоненты обонятельные свойства образца в целом не учитываются;</li> <li>не предоставляет информацию о воздействии запаха, а также не может использоваться непосредственно в качестве исходных данных для моделирования дисперсии</li> </ul>    |
| Химический анализ без детализации            | Источник выбросов               | <ul style="list-style-type: none"> <li>обнаружение утечек газа, потенциально связанных с диффузными или летучими выбросами запахов;</li> <li>очень полезен при обнаружении неорганизованных выбросов из оборудования или трубопроводов на нефтеперерабатывающих заводах или при утечках в почву от свалок</li> </ul>                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>нет информации о свойствах запаха анализируемого газа</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Химический анализ – отдельные газы           | Выбросы и/или окружающий воздух | <ul style="list-style-type: none"> <li>количественное определение концентрации отдельных газов в выбросах или в окружающем воздухе;</li> <li>оценка концентрации запаха в выбросах в тех редких случаях, когда выделяемый запах напрямую связан с трассерами;</li> <li>измеряет влияние запаха в окружающем воздухе в тех редких случаях, когда запах напрямую связан с трассерами, а источник может быть однозначно идентифицирован</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>бесполезен в случае сложных пахучих смесей, в которых концентрация запаха не связана с концентрацией одного компонента;</li> <li>нет информации о составе сложных смесей</li> </ul>                                                                                                                                                    |



Продолжение таблицы

| Метод измерения                                                         | Уровень применимости            | Применимость                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ограничения                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Инструментальный мониторинг с применением электронного «носа» (E-NOSES) | Выбросы и/или окружающий воздух | <ul style="list-style-type: none"> <li>• непрерывный и быстрый результат при ограниченном бюджете;</li> <li>• непрерывное измерение концентрации запаха на выбросах, например, для постоянного контроля эффективности систем борьбы с запахом;</li> <li>• прямое определение воздействия запаха на рецепторы и определение источника запаха</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• нет информации об интенсивности и приятности запаха</li> <li>• не может заменить динамическую ольфактометрию</li> </ul>                                                       |
| Полевой осмотр                                                          | Окружающий воздух               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• оценка степени раздражительности по времени запаха в определенной проблемной зоне (метод сетки);</li> <li>• определение протяженности шлейфа запаха от объекта при определенных метеорологических условиях (шлейфовый метод);</li> <li>• при соответствующем обучении оценщики могут предоставить информацию о качестве запаха</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• нет информации о концентрации запаха;</li> <li>• трудоемкий и дорогой (метод сетки)</li> </ul>                                                                                |
| Гражданская наука                                                       | Окружающий воздух               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• активное участие граждан в выявлении и решении проблем с запахом;</li> <li>• оценка степени раздражительности путем непосредственного воздействия на граждан</li> </ul>                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• риск необъективной информации;</li> <li>• вряд ли применим в конфликтных ситуациях (например, в судебных процессах);</li> <li>• высокая вариативность результатов.</li> </ul> |

Таким образом, динамическая ольфактометрия представляет собой стандартизированный метод измерения концентрации запахов в выбросах, который можно использовать для проверки соответствия концентрации запаха нормативным пределам, оценки эффективности системы очистки и предоставления информации, которая может быть использована в качестве исходных данных для моделирования рассеивания с целью оценки воздействия запахов на граждан [3]. Однако, это прерывистый метод, и его нельзя использовать при выбросах.

Другие сенсорные методы, т. е. полевой осмотр или ГХ-О, имеют, как и динамическая ольфактометрия, преимущество в более высокой чувствительности человеческого носа по отношению к аналитическим методам. Тем не менее, они не всегда применимы, на них может влиять субъективность, и они требуют больших затрат времени и средств. С другой стороны, аналитические подходы, основанные на химическом анализе, не подвержены человеческим ошибкам, но менее эффективны при количественном определении запаха, особенно в случае сложных смесей [4].

Преимущество электронных носов заключается в том, что они обеспечивают непрерывные и быстрые результаты при ограниченном бюджете, что позволяет осуществлять непрерывный мониторинг эффективности систем борьбы с запахами или прямое определение

воздействия запаха на рецепторы. И наоборот, они не могут предоставить информацию об интенсивности запаха и гедонистическом тоне. Более того, они не могут заменить динамическую ольфактометрию, поскольку для адекватной тренировки прибора необходимо знать концентрацию запаха в образцах.

В заключение следует отметить, что для выбора того или иного метода измерения запаха или их сочетания необходимо оценивать особенности применения и ограничения каждого метода, и особенно учитывать какую конкретную информацию можно получить. Во многих случаях комплексный подход, сочетающий различные методы, является лучшим решением для получения исчерпывающей и полной картины проблемы, а также для определения правильной стратегии для ее решения [5].

### **Литература**

1. Dentoni L., Capelli L., Sironi S., Rosso R., Zanetti S., Della Torre M. Development of an Electronic Nose for Environmental Odour Monitoring // MDPI. – 2012. – Pp. 1–20.
2. Brattoli M., de Gennaro G., de Pinto V., Demarinis Loiotile A., Lovascio S., Penza M. Odour Detection Methods: Olfactometry and Chemical Sensors // MDPI. – 2013. – Pp. 1–33.
3. Bax C. Sironi S., Capelli L. How Can Odors Be Measured? An Overview of Methods and Their Applications // MDPI. – 2020. – Pp. 1–27.
4. Lucernoni F., Capelli L., Sironi S. Odour sampling on passive area sources: Principles and methods. Chem. Eng. Trans. –2016. – 54 p.
5. Capelli L., Bax C., Diaz C., Izquierdo C., Arias R., Salas Seoane N. Review on odour pollution, odour measurement, abatement techniques // D-NOSES, H2020-SwafS-23-2017-789315. – 2019. – Pp. 1–81.

УДК 628.987

## СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Демченко К.Д.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. архитектуры Быстрынцева Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: ksende1999@mail.ru*

---

В работе рассмотрены виды архитектурного освещения и их отличие для объектов разного функционального назначения. Также были проанализированы количественные и качественные методы оценки эффективности освещения зданий, которые могут быть использованы для оценки рентабельности использования искусственного освещения ТРЦ.

**Ключевые слова:** освещение, торгово-развлекательные центры, эффективность, фасад, характеристики, методика.

---

Основная идея исследования заключается в определении метода оценки параметров и характеристик, которые будут определять эффективность освещения здания торгово-развлекательного центра (ТРЦ), в пределах нормативно-технических значений. Основное назначение архитектурного освещения заключается в передаче художественной выразительности и привлечения внимания зрителя к разного рода информации, связанной с навигацией, культурными ценностями, событиями и т.д. Основной задачей для архитектурного освещения ТРЦ является привлечение внимания и интереса к посещению объекта. Кроме художественной задачи необходимо выполнить и бизнес-функцию. И между бизнес и художественными задачами необходимо соблюсти баланс. Кроме этого, любое освещение ТРЦ связано с тратой больших экономических и энергетических ресурсов, использованием большого количества осветительных устройств, медиа решений, что приводит к усилению светового загрязнения, утомляемости, а также часто является негативным фактором для исторически важных объектов города. Освещение Торговых центров является самым сложным и многофакторным процессом среди всех типов архитектурного освещения. Таким образом, для рационального использования искусственного света важно разработать методику оценки решений ТРЦ.

Давней проблемой, которую всячески пытаются решить светотехники и световые дизайнеры, является фрагментарность и беспорядочность архитектурного освещения. Для решения данной проблемы необходимо вывести классификацию, которая позволит разделить искусственное освещение фасадов по характерным признакам. Сегодня существует большое количество способов освещения торговых центров. Согласно имеющейся литературе [1 – 3], выделяют несколько основных видов:

1. Общее заливающее освещение. Этот способ создает лучшее целостное восприятие объекта. Этот способ подходит для отдельно стоящих объектов, по типу памятников, соборов, цирк.
2. Контурное освещение. В этом типе освещения светом выделяется контур здания. Выделения производят по граням на усмотрение проектировщика, будь то одна грань или по всему периметру или все границы строения.
3. Локальным освещением или акцентное архитектурное. Такой вид освещения используется при расстановке акцентов конкретных элементов на фасаде здания.

Локальная подсветка считается наиболее универсальной и, следовательно, самой распространенной подсветкой фасадов различных типов архитектурных зданий.

4. Фоновое или силуэтное архитектурное освещение фасадов зданий ещё называют фоновой заливкой.
5. Цветодинамическое освещение. Оно используется для освещения фасадов с изменением яркости, а также цветовых оттенков света в течение заданного промежутка времени.
6. Световые фасады. Этот тип подходит для зданий со сплошным остеклением. Стекло в этом случае участвует в освещении и становится частью системы освещения.

По всему миру существует очень большое количество ТРЦ и каждый из них освещен разнопланово, но можно выделить основные приемы. Во-первых, практически не используют фоновое освещение. Во-вторых, довольно часто использовалось заливающее освещение, но в последнее время от него не редко отказываются, т.к много паразитного света исходит от приборов. В то время как развивается использование световых фасадов и цветодинамического освещения, что часто ведет к потере уникальности торговых комплексов. В любом случае, для того чтобы придать торговому центру свое «лицо» можно использовать абсолютно разные инструменты, но важно смотреть на сам объект, его окружение и его особые качества, учитывать конкурентов и их принципы формирования имиджа объекта.

При реализации наружного освещения здания нужно учитывать количественные и качественные факторы эффективности. К количественным относятся характеристики, которые могут быть выражены в виде конкретных числовых значений, например:

- яркость;
- освещенность;
- коэффициент отражения поверхности и др.

Однако, при существовании требований к архитектурному освещению в процессе изучения были выделены следующие проблематики:

1. Высокая интенсивность прохождения мимо освещенного здания, без его посещения.
2. Отсутствие соблюдения яркостного баланса между вывесками на фасаде и освещением самого фасада здания.
3. Стандартность приемов трансляции медиа-информации.
4. Отсутствие целостности решения с окружающим пространством и объектами города.
5. Частое использование динамического освещения и применение элементов для дополнительного привлечения посетителей не выполняет своих функций.
6. Отсутствие вовлеченности объектов в жизнь города, потенциальное изменение освещения в течение года, в зависимости от праздничных мероприятий и т.д.

При работе над этими и другими вопросами важно учитывать не только требования, но и следующие качественные и количественные характеристики:

- контраст объекта различения с фоном;
- показатель ослепленности;
- коэффициент пульсации освещенности;
- показатель дискомфорта;
- цветовая температура;
- индекс цветопередачи и др.

Имеющиеся требования и нормы на сегодняшний день представляют собой усреднённый характер и не решают проблематики, перечисленные выше.

По данным аналитики компании «Colliers international» количество посетителей ТРЦ «Галерея» в г. Санкт-Петербурге в 2011 году в выходные составило около 63 тыс. чел. Также по данным аналитики интегратора передовых технологий Watcom Group в период с 6 по 12 сентября 2021 показатель Shopping Index (число посетителей торговых центров на 1 тыс. м<sup>2</sup> торговых площадей) в торговых центрах северной столицы оказался ниже значения за аналогичный период 2019 года на 5,1%. При этом относительно аналогичного периода в 2020 году аналитики отмечают рост Shopping Index: в Санкт-Петербурге + 5,2%. Хотя оценка эффективности может быть решена с двух сторон.

Таблица 1. Светояркостные характеристики из нормативных документов разных стран

| Документ                              | Характеристики освещения фасада здания (торговый центр)                                                           |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| СП 52.13330.2016 [4]                  | Средняя яркость фасада; средняя освещенность вокруг здания; отношение максимальной освещенности к минимальной     |
| ГОСТ Р 55706-2013 [5]                 | Средняя освещенность и равномерность улицы возле здания                                                           |
| ИСО/МКО 20086:2019 [6]                | Средняя освещенность; однородность; предел оценки ослепления; индекс цветопередачи; общий индекс цветопередачи    |
| Свод законов штата Иллинойс           | Максимальное освещение; минимальная и максимальная яркость; максимальный световой поток используемого светильника |
| Моррисон. Штат Колорадо. Свод законов | Цветовая температура; мощность источника; максимальная яркость                                                    |

Согласно выводам Виталия Львова - генерального директора агентства маркетинговых коммуникаций Promotion Realty о двух простых методиках расчета среднесуточной посещаемости:

1. По общей площади:

- ТЦ с общей площадью 5 000 – 20 000 м<sup>2</sup> в сутки должны посетить 600 – 900 человек на 1000 м<sup>2</sup>;
- ТЦ с общей площадью 20000 – 40000 м<sup>2</sup> – 500 – 700 человек на 1000 м<sup>2</sup>;
- ТЦ с общей площадью 40000 – 80000 м<sup>2</sup> – 350 – 500 человек на 1000 м<sup>2</sup>;
- ТЦ с общей площадью 80000 и более м<sup>2</sup> – 250 – 350 человек на 1000 м<sup>2</sup>;
- ТРЦ «Галерея», площадь которой составляет примерно 192 тыс.м<sup>2</sup>, посещает 250 – 350 человек на 1000 м<sup>2</sup>, что составляет 48 – 67,2 тыс. чел. в сутки.

2. По арендопригодной площади. Среднесуточный показатель посещаемости должен составлять 70% от арендопригодной площади молла. Арендопригодная площадь ТРЦ «Галерея»  $\approx 97$  тыс. м<sup>2</sup>.  $97 \cdot 70\% = 67,9$  тыс.чел в сутки.

В 2013 году его посетило более 25 миллионов человек, что составляет примерно 68,5 тыс. чел. в сутки. Следовательно второй способ является более точным.

Эта информация показывает, что посещаемость торговых центров значительно выше других общественных мест. Например, музей «Эрмитаж» в 2015 году посетило около 3,6 миллионов человек, что составляет примерно 9,8 тыс. чел. в сутки. Соответственно, влияние наружного освещения фасадов торговых центров будет оказывать влияние на большее количество людей. При этом значительно продуктивнее можно исследовать положительные и отрицательные факторы светового восприятия у такого количества пользователей.

На сегодняшний день современные дизайнерские решения архитектурного освещения здания разнообразны, и актуальность их использования существует и растет особенно в нашей стране. Но в процессе проектирования освещения участники ориентируются на стандартные обыденные решения, а не на условия воздействия и оценку влияния решений. Поэтому для качественного и привлекательного освещения фасадов таких зданий, как торговые центры, необходимо устанавливать нормированные показатели в виде качественных и количественных характеристик, регламенты, которые будут учитывать цветовую температуру, светосилу, равномерность и индекс цветопередачи и др. Эти показатели могут быть включены во многие регламенты городов.

Торговые центры - одни из важных часто посещаемых мест города. Для того, чтобы определить характеристики эффективного освещения необходимо учитывать не только сами параметры, но и их восприятие пользователями. Архитектурное освещение – значимая часть объекта, и его необходимо планировать на стадии проектирования, понимая все особенности и сложности построения светового решения. Методика оценки эффективности архитектурного освещения здания ТРЦ позволит выявить сильные и слабые стороны решений и утвердить наиболее рациональный вариант освещения и его привлекательность.

### Литература

1. Запоренко С.Ю. Основы формирования искусственного освещения фасадов архитектурных объектов //EurasiaScience. Сборник статей XXIX международной научно-

- практической конференции. – 2020. – С. 178–182.
2. Лысенко М.С., Соколова Т.В. Виды архитектурного освещения фасадов зданий // Актуальные проблемы гуманитарных наук в России и за рубежом. Сборник научных трудов по итогам III международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 10–12.
  3. Сорокина А.И. Архитектурное освещение зданий // Научное студенческое сообщество. Междисциплинарные исследования. – Том.Ч.1. – 2020. – С. 17–23.
  4. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуальная редакция СНиП 23-05-95\* (с Изменением № 1) Дата введения 08.05.2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 29.01.2022).
  5. ГОСТ Р 55706-2013. Уличное утилитарное освещение. Классификация и нормы Дата введения 01.07.2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200105703> (дата обращения: 28.01.2022).
  6. ИСО/МКО 20086:2019. Свет и освещение – Энергоэффективность освещения в зданиях Дата введения 2019-01.

УДК 504.064

## ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

*Динкелакер Н.Ф.Й.<sup>1</sup> (студент), Аминов Н.С.О.<sup>1</sup> (аспирант), Динкелакер Н.В.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – канд. техн. наук Агаханянц П.Ф.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: nfdinkelaker@itmo.ru, nvdinkelaker@mail.ru,  
natis.aminov@gmail.com, aga-polina@yandex.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620148 «Развитие методологии экологического мониторинга на основе внедрения технологий Интернета вещей».*

---

В работе были разработаны и сформированы признаки загрязнения малых рек и водотоков при использовании дистанционных методов мониторинга. Представлены возможности применения аэрофотосъемки с БПЛА (беспилотных летательных аппаратов) и космическими снимками «Landsat» для исследования последствий биогенного загрязнения малых рек Северо-запада России. Исследованы визуальные характеристики наиболее информативных показателей для выявления последствий загрязнений различной давности в малых водотоках Ленинградской области.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, малые реки, БПЛА, космические снимки, эвтрофирование, водные растения, биогенное загрязнение.

---

Для Северо-западного федерального округа России (СЗФО) характерно разнообразие и обилие водных объектов, и большинство из них имеют значительный уровень антропогенной нагрузки, сниженные показатели качества воды, наличие загрязнителей. Наиболее распространено загрязнение водоемов биогенными веществами, происходящее из многих источников – это и сельское хозяйство, и недостаточная очистка сточных вод, вырубка лесов и другие нарушения почвенно-растительного покрова, приводящие к изменению гидрологического режима поверхностного стока и эрозии почв в водосборных бассейнах водных объектов. Накопление биогенных веществ в воде приводит к таким явлениям, как усиление цветения планктонных водорослей, эвтрофирование, зарастание высшими водными растениями [1].

Мониторинг состояния водных объектов происходит как в рамках единой государственной системы мониторинга (ЕГСМ), так и в рамках производственного экологического мониторинга (ПЭМ) отдельных предприятий и хозяйствующих субъектов. Исследования экологического состояния водных объектов, основанные на проведении измерений и отборе проб воды и донных отложений, часто затруднены вследствие плохой доступности (удаленность от дорог, заболоченность и др.). Наиболее слабо изучено экологическое состояние малых рек и водотоков, что связано также со слабой репрезентативностью космических снимков на таких водных объектах. Тем не менее, именно эти водные объекты чаще всего являются первичными реципиентами загрязненных сбросов и стоков. Их состояние и способность к самоочищению определяют дальнейшее движение загрязнителей в связанных гидросистемах [2, 3]. Мониторинг экологического состояния бассейнов малых водотоков эффективно проводится с использованием материалов космических снимков [2]. За последние десятилетия разработаны и введены в практику экологического мониторинга различные методы автоматического дешифрирования спутниковых снимков различного

разрешения для кадастровых целей, картирования ландшафтов [3]. Наиболее разработана методологическая база для определения границ ландшафтов и объектов, картирование древостоев [4]. Они представлены попиксельными методами на основе спектральных и текстурных характеристик растровых изображений, методами автоматической локализации протяженных геопространственных объектов [3]. Одним из наиболее перспективных направлений является создание автоматизированных систем идентификации на основе обучающих образцов растровых изображений. Такие системы уже применяются в программном обеспечении ArcGIS.

Применение методов ДЗЗ для мониторинга экологического состояния водоемов также значительно развито в таких областях как мониторинг изменений береговой линии, донных отложений, нарушений экологического законодательства (незаконная установка сетей, нарушения режима охраняемых акваторий и особо охраняемых природных территорий), мониторинг опасных природных явлений и их последствий, мониторинг распространения загрязнений, исследование зарастания и эвтрофирования [4]. Однако, использование космических снимков не позволяет решить ряд задач, среди которых мониторинг экологического состояния литоралей малых рек и водотоков, особенно протекающих по лесным территориям [5]. Вопросы идентификации зон эвтрофирования и зарастания различными видами высших водных растений представлены в научных исследованиях в основном для крупных водных объектов, такие исследования речных систем малочисленны и обычно основаны на методах ручной сегментации изображений [4].

В настоящее время алгоритмы дистанционного мониторинга состояния малых рек и водотоков в СЗФО слабо разработаны и практически не применяются в ПЭМ. Это значительно снижает качество последнего, так как химические анализы ввиду сложности и высокой стоимости в программах мониторинга выполняются в ограниченном числе точек, при этом реакция водного объекта в целом на нагрузку или загрязнение на основании таких данных затруднена. Особенно это касается антропогенных воздействий, изменяющих качество поверхностных сточных вод на значительных площадях (лесозаготовка, сельское хозяйство, промышленные предприятия, селитебные зоны и др.). Именно эти воздействия и наиболее часты в СЗФО, непосредственные нарушения водных объектов при строительстве, например, линейных объектов – более редкие ситуации.

Наиболее современным подходом является разработка автоматизированных систем распознавания признаков опасных последствий антропогенного воздействия в водных экосистемах, базирующихся на использовании нейросетей. Такие возможности предоставляет последняя версия ArkGIS. Однако, использование таких систем требует дешифрирования полученной с дистанционных устройств информации, и, соответственно, создания баз образцов изображений основных проявлений опасных экологических процессов в реках (паттернов).

Если для морских и крупных озерных систем такие базы разработаны и широко применяются, то для малых рек и водотоков Северо-запада России такие исследования фрагментарны и недостаточны для создания автоматизированных систем [4].

Цель настоящего исследования заключается в сборе информации о возможностях применения дистанционных методов для диагностики наиболее распространенного типа загрязнения малых водотоков – загрязнения биогенными и органическими веществами для формирования баз данных паттернов

Для этого поставлены задачи:

1. Выявление наиболее значимых визуально регистрируемых последствий биогенного и органического загрязнения водотоков для малых водотоков СЗФО.
2. Исследование возможностей применения данных космических снимков для выявления последствий биогенного и органического загрязнения малых рек СЗФО.
3. Исследование возможностей применения данных БПЛА для выявления последствий биогенного и органического загрязнения малых рек СЗФО.
4. Формирование наборов обучающих образцов растровых изображений цветения водорослей и зарастания разными группами и видами высших водных растений для использования в



дистанционном мониторинге опасных явлений в малых реках СЗФО с использованием космических снимков высокого разрешения и БПЛА.

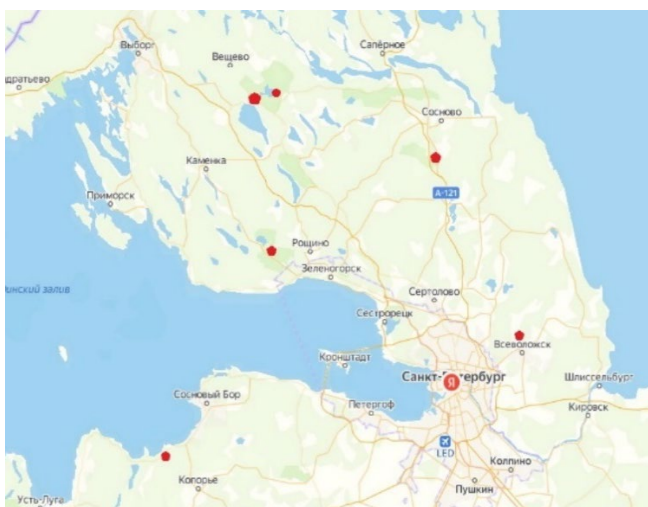


Рис. 1. Расположение мест проведения исследований в Ленинградской области

Методы исследования включали анализ спутников снимков ESRI и Landsat, фотосъемки с БПЛА (открытые материалы Дирекции по особо охраняемым природным территориям Ленинградской области, общественных организаций) и полевые экологические исследования, проведенные в 2020 и 2021 году. Полевые гидрохимические исследования включали в себя геоботанические описания, определение продукции растений, выявление мест массового цветения планктонных водорослей.

Объектами исследования стали 7 малых рек и водотоков в Ленинградской области: р. Пейпия, р. Гладышевка, р. Волчья, р. Булатная, р. Холодный Ручей, р. Лепсари, р. Пчелинка (рис. 1).

Основные причины загрязнения водотоков – эрозия и смыв почв в водосборных бассейнах, водовыпуски мелиоративных каналов сельскохозяйственных угодий, сточные воды.

Наиболее значимыми последствиями загрязнения водотоков являются снижение качества воды и изменения в водных и прибрежно-водных экосистемах, запускающие сукцессии, приводящие к ландшафтным изменениям (заболачивание, обмеление, увеличение меандрирования, изменения русла и др.). Скорость и характер процессов индивидуальны для каждого водотока, тем не менее, могут быть выделены общие процессы, характерные для водотоков при избыточном поступлении биогенных веществ. Их визуально регистрируемые признаки по скорости появления после поступления загрязнения в водоток можно разделить на ранние, средние и поздние (таблица).

Таблица. Признаки загрязнения водоемов дистанционными методами

| Группы признаков | Признаки биогенного загрязнения | Дистанционный мониторинг                                                                                                |                                                                                                              |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |                                 | Преимущества                                                                                                            | Недостатки                                                                                                   |
| Ранние           | Области мутности                | Быстрое выявление, визуально определяемая зона распространения                                                          | Отражает смыв почвы, грунта, стоки, но количество биогенных веществ, в которых может быть различно           |
| Средние          | Цветение водорослей             | Развивается в течение недель после появления загрязнения. Отражает биогенную нагрузку                                   | Плохо различимо при невысокой интенсивности цветения, характерной для рек, регистрируется кумулятивных зонах |
|                  | Развитие погруженных растений   | Развивается в течение 0,5 – 2,0 месяцев после появления загрязнения. Отражает биогенную нагрузку и утилизацию биогенов. | Ослабление реакции к концу сезона. Отражает загрязнения весны-середины лета                                  |

Продолжение таблицы

| Группы признаков | Признаки биогенного загрязнения | Дистанционный мониторинг                                                     |                                                                                       |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |                                 | Преимущества                                                                 | Недостатки                                                                            |
| Поздние          | Заращение Плейстофитами         | Характеризует появление трудно обратимых изменений водных ландшафтов         | Развивается в следующем сезоне и позднее при постоянном или периодическом загрязнении |
|                  | Заросли гелофитов               | Характеризует появление необратимых изменений водных и прибрежных ландшафтов |                                                                                       |
|                  | Береговые молодые сплавины      | Характеризует необратимые ландшафтные изменения, сокращение площади водоема  | Требуется учета площади мелководий и межгодовых изменений за несколько лет            |
|                  | Береговые старые сплавины       |                                                                              |                                                                                       |

В ходе исследования были выбраны наиболее легко регистрируемые ранние, средние и поздние признаки биогенного загрязнения водоемов.

Из ранних признаков биогенного загрязнения выбрано появление источников мутности, наиболее характерное при вырубках леса. В других случаях трудностью использования является то, что биогенное загрязнение в значительной части случаев мало отличается от вод реки по визуальным дистанционным признакам (удобрения и т.д.) (рис. 2).



Рис. 2. Ранние признаки биогенного загрязнения водотоков

Из средних по срокам появления признаков биогенного загрязнения водотоков (2 – 4 недели) наиболее четко визуально определяется массовое цветение водорослей, развивающееся в их биологические пики (сине-зеленые – в июне и августе, зеленые – июле) и развитие погруженных высших форм высших растений (рдесты и т.д.), в тот же месяц, когда пришло загрязнение (в том числе накопленное – в паводковый период) (рис. 3). Цветение планктонных водорослей в водотоках на космических снимках хорошо определяется на широких участках, но в случае изучения узких участков, прибрежных полос может быть плохо обнаружимо. Кроме этого, при наличии в водоеме ряски затруднена сегрегация мест цветения ряски (*Lemna minor*, *Lemna trisulca*) и мест образования скоплений биомассы водорослей. При использовании БПЛА при высоте полета не более 100 м происходит более четкое визуальное разделение этих видов цветения водоемов (рис. 3).



Рис. 3. Средние по срокам появления признаки биогенного загрязнения водотоков: цветение водорослей и массовое развитие азональных высших водных растений, где в.р. — высотное разрешение

Другим, не менее распространенным признаком биогенного загрязнения водотоков, проявляющимся в среднем через месяц после появления загрязнителя, является интенсификация развития погруженных видов высших водных растений (рис. 4). Это различные виды рдестов, урути, роголистника, шелковника, элодея канадская и ряд других видов. На космических снимках обычно хорошо видны пятна зарастания, но виды зарастания определяются плохо, особенно при их пояском расположении под пологом другой растительности или в смешанных ассоциациях. Использование БПЛА также не может обеспечить точное определение вида. Такая задача не выполнима, так как многие виды в пределах родов могут быть определены только по гербарным образцам. Тем не менее, характерные особенности пятен зарастания при высокой подробности снимка в части случая могут помочь определить группы и род растений, что уже является важной информацией о ходе процесса в водотоке. Так, заросли урути хорошо отделяются по цветовым характеристикам (красный оттенок). С помощью БПЛА могут быть определены площади



образовавшихся зарослей. Использование снимков, сделанных с дронов, позволяет обнаружить «скрытые» заросли, находящиеся под пологом прибрежно-водной или древесной растительности.

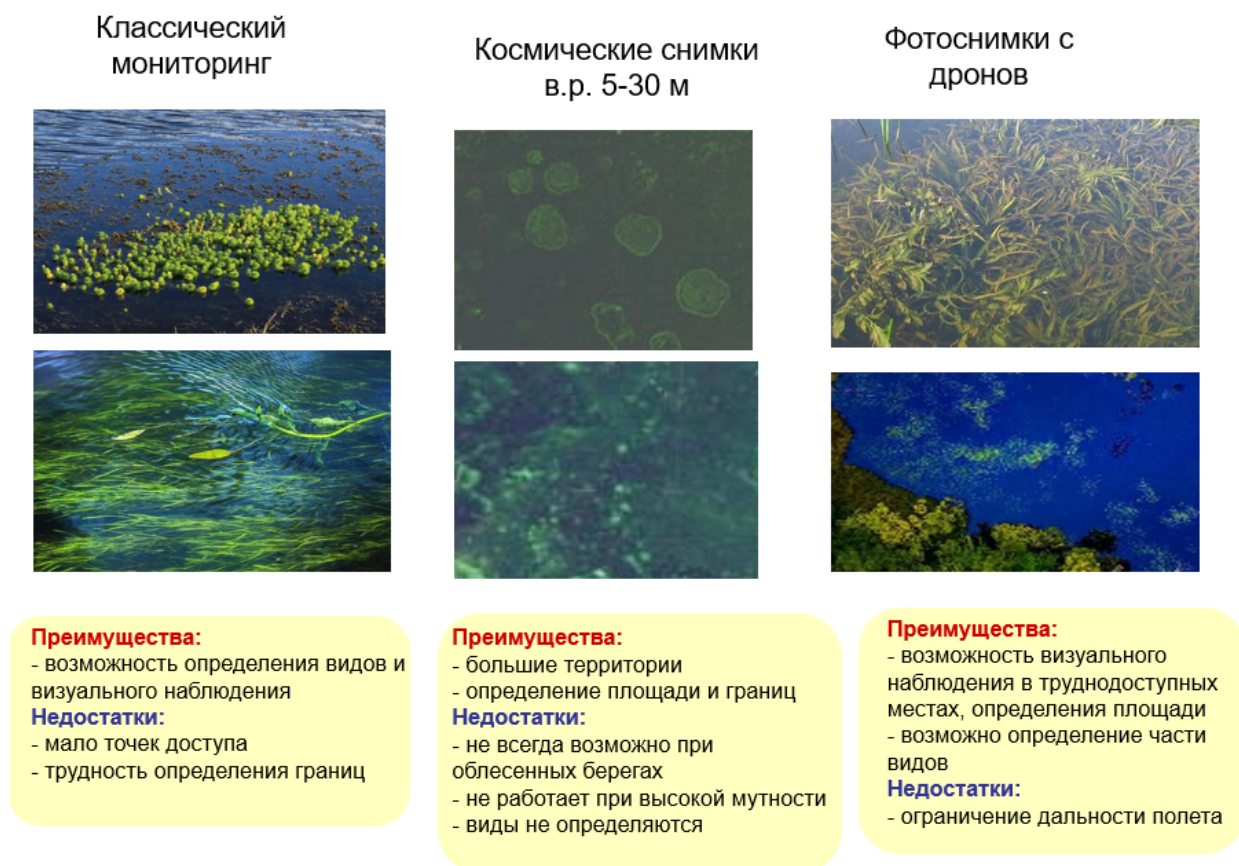


Рис. 4. Средние по срокам появления признаки биогенного загрязнения водотоков: развитие зарослей погруженных высших водных растений, где в.р. — высотное разрешение

К наиболее репрезентативным поздним признакам биогенного загрязнения, развивающимся чаще всего в течение не менее чем нескольких лет, могут быть отнесены такие, как образование зарослей гелофитов и плейстофитов, приуроченных к эвтрофным водам (рис. 5), и ландшафтные изменения вследствие зарастания гелофитами и сплавинообразования (рис. 6).

При многолетнем сохранении уровня загрязненности воды начинаются следующие стадии ландшафтных изменений – сужение русла, развитие береговых сплавин.

#### Выводы

1. Среди рассмотренных показателей, используемых для дистанционных методов мониторинга, наиболее информативным является сочетание мониторинга показателей средней и поздней временной группы, при использовании последней необходим учет межгодовых изменений.
3. Применение показателей ранней группы на малых реках возможно только с использованием БПЛА с высоты не более 100 м.
4. При исследовании рек с облесенными берегами (водоохранные полосы в полях или лесные массивы и т.д.) эффективность исследования космических снимков невысока из-за перекрытия береговой линии кронами. Здесь более эффективно применение аэрофотосъемки с БПЛА, с отдельным просмотром берегов.
5. В результате сегментации изображений сформированы рабочие наборы образцов признаков биогенного загрязнения для малых рек и водотоков равнинного типа Северо-запада России.



Рис. 5. Поздние признаки загрязнения малых рек биогенными веществами – зарастание плейсто- и гелофитами, где в.р. — высотное разрешение



Рис. 6. Поздние признаки загрязнения малых рек биогенными веществами – ландшафтные изменения, где в.р. — высотное разрешение

## Литература

1. Валов М.В. Дельта реки Волги: структурно-динамические особенности каузального влияния дестабилизирующих факторов среды на функционирование почвенно-растительного покрова: дис. ... к. геогр. н.: 25.00.23. Астрахань. – 2018. – 218 с.
2. Лучников А.И., Ляхин Ю.С., Лепихин А.П. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для оценки состояния берегов поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России. – 2018. – №1. – С. 37–46.
3. Кутявина Т.И., Рутман В.В., Ашихмина Т.Я. Дистанционный мониторинг зарастания высшей водной растительностью акватории эвтрофированного водохранилища // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – №3. – С. 36–40.

4. Кутявина Т.И., Рутман В.В., Ашихмина Т.Я., Савиных В.П. Использование космических снимков для определения границ водоёмов и изучения процессов эвтрофикации // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – №3. – С.28–33.
5. Соболев И.С., Хохлов Д.Н. Применение аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для мониторинговых исследований береговой зоны водохранилища // Приволжский научный журнал. – 2016. – №4. – С. 75–77.

УДК 504.06

## МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕПЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО СИМБИОЗА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

*Ерёменко А.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – Савоскула В.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: anastasiayeremenko@gmail.com*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 621286 «Разработка экологически безопасной технологии ускоренной биоконверсии органических отходов».*

---

В ходе написания статьи был проведен анализ использования органических отходов в симбиотических цепочках для получения энергии и других побочных продуктов. Определены современные тенденции и перспективные направления исследований, проводимых в мире.

**Ключевые слова:** промышленный симбиоз, органические отходы, производство энергии, пищевые отходы, валоризация отходов, ресурсоэффективность, управление отходами.

---

Промышленный симбиоз – промышленная экосистема, в рамках которой отходы или побочные продукты одного предприятия используются в производственном процессе другого предприятия. Тем самым промышленный симбиоз позволяет оптимизировать использование ресурсов, снижая воздействие на окружающую среду за счет замыкания ресурсных цепочек, способствуя развитию экономики замкнутого цикла.

Промышленный симбиоз эффективен благодаря межотраслевому разнообразию – для большинства отраслей промышленности 80% операций промышленного симбиоза происходят за пределами собственной отрасли. Причем это могут быть совершенно разные отрасли, ранее не пересекавшиеся, в том числе государственный сектор. Даже в случае отраслевых кластеров промышленный симбиоз может предложить диверсификацию существующей цепочки создания стоимости за счет новых нетрадиционных секторов. Соответственно, для промышленного симбиоза характерно инновационное использование отходов одной компании в качестве ресурса для другой компании.

Существующий опыт показывает, что симбиотические цепочки часто начинают выстраиваться на основе использования различных органических отходов, которые выступают центральным синергетическим побочным продуктом, например, когда в симбиотической сети органические отходы превращаются в биогаз и перерабатываются в биотопливо, а твердый остаток заменяет органические удобрения [1].

Рассматривая органические отходы, накопление и утилизация которых являются одной из основных проблем, с которыми сталкивается сегодня мир в результате линейной экономики и роста городского населения, стоит отметить, что это очень широкое понятие, что, в свою очередь создает определенные сложности. Например, невозможно достоверно установить, сколько именно отходов образуется и сколько утилизируется. Нет единой методологии, существуют разные подходы к определению понятийного аппарата (органические отходы, биоразлагаемые отходы, биоотходы, пищевые отходы), расхождения в статистических данных.

В общем значении этот термин относится к любому биоразлагаемому материалу, полученному из растений или животных. Обычно к органическим отходам относятся биологически разлагаемые садовые и парковые отходы, пищевые отходы, образующиеся в домовладениях, на предприятиях общественного питания и на предприятиях розничной торговли, а также сходные с ними по составу отходы, образующиеся на предприятиях по переработке пищевых продуктов. Сюда не входят отходы лесного хозяйства или сельского хозяйства, навоз, осадок сточных вод или другие биоразлагаемые отходы, такие как натуральный текстиль, бумага или переработанная древесина. Например, в Финляндии к органическим отходам относят органическую фракцию ТКО, осадки сточных вод и навоз. В любом случае, такие отходы все еще чаще всего попадают на полигоны мира, тем самым представляя серьезную проблему для окружающей среды и здоровья человека.

Сегодня предлагается два пути решения проблемы, связанной с органическими отходами – минимизация потерь и вовлечение отходов во вторичный оборот. Существующая практика доказывает, что органические отходы являются отличным ресурсом для производства других продуктов, таких как органические удобрения, корма и кормовые добавки, тепловая энергия, биотопливо и многие другие [2].

В настоящее время в мире наиболее распространены и широко изучены два основных технологических процесса утилизации органических отходов – компостирование и анаэробное сбраживание, оба позволяющие получать энергию и/или биоудобрения.

Компостирование, несмотря на ряд преимуществ, имеет определенные недостатки (включая обнаружение патогенов, низкий уровень питательных веществ, долгий срок компостирования), которые ограничивают широкое промышленное применение и снижают эффективность. К тому же, в ряде стран приняты определенные ограничения в отношении использования отдельных технологий компостирования, что подтверждает необходимость дальнейшего изучения и поиска оптимальных технологических решений.

Анаэробное сбраживание позволяет утилизировать различные органические отходы, включая пищевые отходы, промышленные сточные воды, сельскохозяйственные отходы и навоз. При этом в процессе сбраживания образуется биогаз, который можно использовать для выработки электроэнергии или тепла или перерабатывать в биотопливо и дигестат, используемый в качестве органического удобрения или улучшителя почвы.

Вместе с тем существует много других новых возможностей, обеспечивающих валоризацию органических отходов. Ведь они (органические отходы) являются потенциальным источником химических веществ, продуктов и энергии, что позволяет использовать их в качестве сырья в химической, фармацевтической, энергетической, строительной и других отраслях промышленности. И в этой связи инновации играют важную роль в повышении ценности органических отходов, их валоризации.

С помощью биорефайнинга (производство наукоемкой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе комплексной глубокой переработки растительного сырья непосредственно в регионе произрастания) можно получать ряд химикатов, биоактивных соединений, видов топлива, биопродуктов с добавленной стоимостью. Хотя концепция биорефайнинга не нова, однако, вопросы использования органических отходов в научной литературе стали рассматривать совсем недавно. Что интересно - даже в целом в отношении био-экономики было предложено видение новой био-экономики замкнутого цикла, в отличие от «классической» био-экономики призванной раскрыть полный потенциал всех видов биомассы (включая органические отходы), пожнивных остатков, промышленных вторичных потоков и отходов путем преобразования их в продукты с добавленной стоимостью.

На биоперерабатывающем производстве биомасса перерабатывается в ряд биопродуктов и энергию для получения наибольшей ценности. Продукция биопереработки классифицируется по иерархии биологической ценности, которая указывает на ценность преобразований биомассы на основе новых циркулярных моделей. На вершине пирамиды находятся вещества для тонкой и фармацевтической химии, полезные для синтеза вакцин, антибиотиков и иммунотерапевтических белков. Далее по иерархии продуктов



биопереработки следуют продукты питания и корма, за которыми следуют вещества для химической промышленности, такие как биопластики, смазочные материалы, растворители, клеи, текстильные волокна и красители. В основании пирамиды находятся все вещества для производства биогаза путем ферментации и биотоплива в энергетике [3].

Результаты исследования свидетельствуют о том, что органические отходы часто выступают центральным синергетическим побочным продуктом в симбиотических сетях, например, превращаются в биогаз и перерабатываются в биотопливо, а твердый остаток используется в качестве органического удобрения, способствуя повышению плодородия почвы. Помимо такого распространенного использования, органические отходы могут интегрироваться в симбиотические цепочки в более разнообразных формах (продукты повышенной энергетической ценности, химические вещества с добавленной стоимостью, биоматериалы, биопластик, ферменты и т.д.), позволяя выстраивать новые симбиотические цепочки и обеспечивая синергию с новыми секторами промышленности и/или городского хозяйства.

### Литература

1. Bijon N., Wassenaar T., Junqua G., Dechesne M. Towards a Sustainable Bioeconomy through Industrial Symbiosis: Current Situation and Perspectives. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/su14031605> (дата обращения: 01.03.2022).
2. Bio-waste in Europe – turning challenges into opportunities // European Environment Agency Report. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/344413562\\_Bio-waste\\_in\\_Europe\\_-\\_turning\\_challenges\\_into\\_opportunities](https://www.researchgate.net/publication/344413562_Bio-waste_in_Europe_-_turning_challenges_into_opportunities) (дата обращения: 01.03.2022).
3. Mirata M., Eklund M., Gundberg A. Industrial symbiosis and biofuels industry: business value and organisational factors within cases of ethanol and biogas production. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/321162450\\_INDUSTRIAL\\_SYMBIOSIS\\_AND\\_BIOFUELS\\_INDUSTRY\\_BUSINESS\\_VALUE\\_AND\\_ORGANISATIONAL\\_FACTORS\\_WITHIN\\_CASES\\_OF\\_ETHANOL\\_AND\\_BIOGAS\\_PRODUCTION](https://www.researchgate.net/publication/321162450_INDUSTRIAL_SYMBIOSIS_AND_BIOFUELS_INDUSTRY_BUSINESS_VALUE_AND_ORGANISATIONAL_FACTORS_WITHIN_CASES_OF_ETHANOL_AND_BIOGAS_PRODUCTION) (дата обращения: 01.03.2022).

УДК 504.03

## **ВЫЯВЛЕНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСВЕЩЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПРОВЕДЕНИЕ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ**

*Ермоченко А.И.<sup>1</sup> (студент), Федянина А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – Савоскула В.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Университет ИТМО*

*e-mail: aiermochenko@itmo.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620144 «Разработка функциональных продуктов питания для здорового старения на основе вторичных продуктов переработки молока».*

---

В работе представлены маркетинговые исследования направленные на выявление заинтересованности общества, а также выделение популярных инструментов получения информации в вопросах экологии, природопользования и защиты окружающей среды. Выявлена актуальность экологического просвещения населения, и выдвинуто предложение по созданию проекта по созданию цифровой платформы агрегатора «ЭКОfor».

**Ключевые слова:** экологическое просвещение, маркетинговые исследования, проект, агрегатор, цифровая платформа.

---

Экология – важная тематика XXI века. Поэтому важно доносить всю информацию, связанную с данной областью населению посредством экологического просвещения. Частями 1 и 2 статьи 74 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1] определено, что экологическое просвещение осуществляется посредством распространения экологических знаний об экологической безопасности, информации о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов в целях формирования экологической культуры в обществе, воспитания бережного отношения к природе, рационального использования природных ресурсов, информирования населения о законодательстве в области охраны окружающей среды и о законодательстве в области экологической безопасности. Определение «экологическое просвещение» присутствует во многих научных работах, статьях, исследованиях, конституции РФ, и нормативно-правовой базе. Но более развернутое и сформулированное объяснение привели в Экологическом кодексе Санкт-Петербурга. Экологическое просвещение – это распространение знаний и культуры в вопросах состояния окружающей среды, использовании природных ресурсов и экологической безопасности [2]. Несмотря на огласку, общество не в полной мере получает информацию, нужную для понимания и выявления важности в вопросах экологии, природопользования и защиты окружающей среды. В эпоху Digital люди проводят большое количество времени в интернете, в то время как существует проблема некачественного контента, разрозненной, недостоверной и неподтвержденной информации в экологических вопросах. Пользователи не справляются с потоком данных, затрудняются в поиске, тратя большое количество времени, и далее проявляют сомнение по поводу найденных источников.

Актуальность экологического просвещения подтверждается исследованием Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ) совместно с Фондом национальной энергетической безопасности (ФНЭБ), которое гласит, что после появления

вируса COVID-19 каждый четвертый россиянин стал больше задумываться об экологических вопросах [3]. Для собственного исследования и определения заинтересованности населения, выявления волнующих тем, выделения удобных и популярных инструментов получения информации в вопросах экологии, природопользования и защиты окружающей среды, было проведено маркетинговое исследование в формате опроса. На данном этапе респондентами стали 150 человек, основной массой опрошенных являются жители Санкт-Петербурга (85%).

В результате опроса (рис. 1) было выявлено, что 44,9% респондентов имеют активный интерес к экологии, защите окружающей среды и природопользованию; у 29,9% интервьюированных есть слабый интерес к исследуемой тематике; 11,6% работают в сфере экологии, природопользования, и защиты окружающей среды; 9,5% состоят или участвуют в деятельности общественных экологических организаций; и наименьшую группу составляют люди, незаинтересованные в тематике экологии, природопользования и защиты окружающей среды (4%).

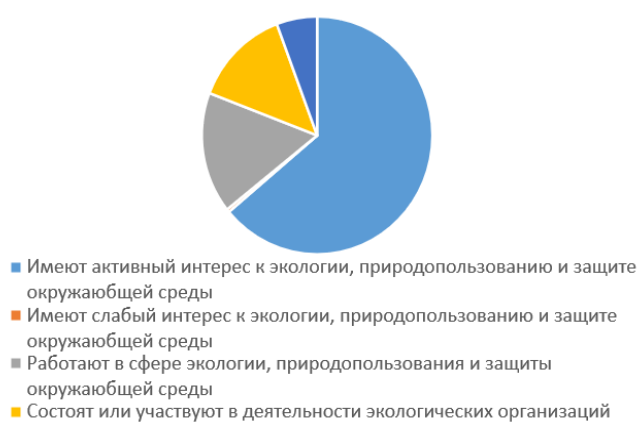


Рис. 1. Статистика заинтересованности респондентов к вопросам экологии, природопользования и защиты окружающей среды

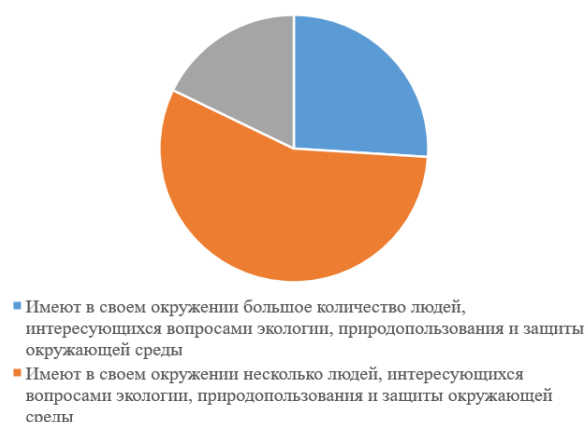


Рис. 2. Статистика заинтересованного окружения респондентов в вопросах экологии, природопользования и окружающей среды

Также, при исследовании было обозначено, что 26% опрошенных людей имеют в своем окружении большое количество людей, которые заинтересованы в вопросах экологии, окружающей среды и природопользовании; 56,2% респондентов находят в своем окружении несколько людей, увлекающихся данной тематикой; и 17,8% анкетированных не имеют знакомых, которые так или иначе связаны с вопросами экологии (рис. 2).

На данном этапе исследования можно сделать вывод, что достаточное количество людей интересуется вопросами экологии, а интерес остальных требуется повышать посредством экологического просвещения и поднятия экологической культуры и воспитания.

Для более качественной реализации проекта, направленного на экологическое просвещение, при помощи анкетирования были выявлены самые интересующие темы для населения. Респондент выставлял каждой предложенной теме соответствующие баллы, где 5 баллов – данная тема является очень интересной, а 0 баллов – данная тема не интересна совсем. При подсчете среднего балла данные показали, что самой волнующей темой является раздельный сбор отходов (3,9 балла), в частности вопрос «Куда сдать вторичное сырье?» (3,8 балла) и местонахождение утилизации отходов (3,4 балла). Далее по значимости выделены темы экологического досуга и мест посещения (3,16 балла), в частности посадка деревьев (3,16 балла); магазины с натуральными, сертифицированными товарами, и товарами без упаковки (3,15 балла); экологические акции (2,95 балла) и общественные некоммерческие экологические организации (2,72 балла); субботники (2,19 балла). Данные наглядно приведены на рисунках 3, 4 и 5.

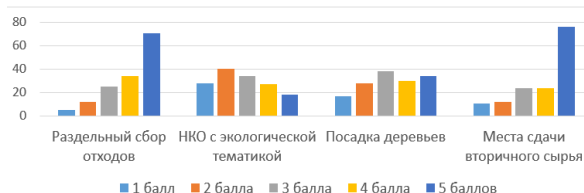


Рис. 3. Статистика заинтересованности респондентов к экологическим тематикам (часть 1)

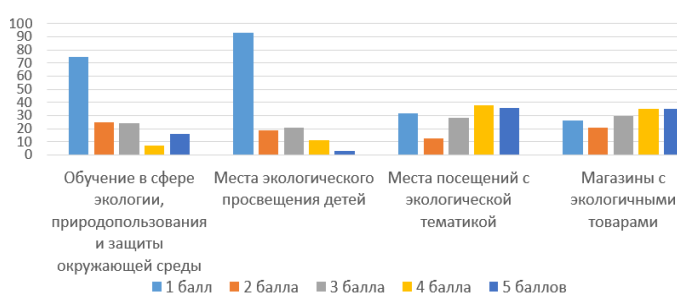


Рис. 4. Статистика заинтересованности респондентов к экологическим тематикам (часть 2)

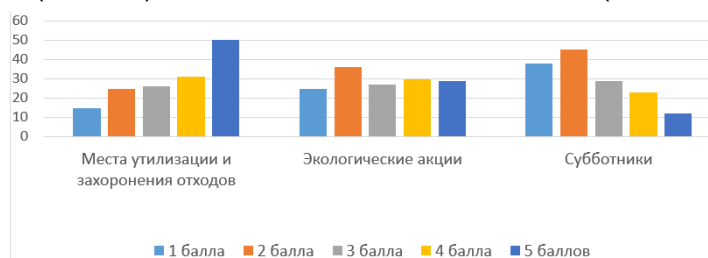


Рис. 5. Статистика заинтересованности респондентов к экологическим тематикам (часть 3)

В результате проведенного исследования была подтверждена актуальность экологического просвещения и заинтересованность населения, выявлены основные волнующие тематики в области экологии, природопользования и защиты окружающей среды. Принято решение реализовать цифровую платформу агрегатор «ЭКОfor», все данные, приведенные в исследовании, будут являться основой для первоначальной разработки структуры сайта.

## Литература

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/) (дата обращения: 20.01.2022).
2. Экологический кодекс Санкт-Петербурга, Закон Санкт-Петербурга от 18 июля 2016 года № 455-88 (1/2). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 20.01.2022).
3. Агентство социальной информации: исследование ВЦИОМ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.asi.org.ru/news/2020/08/19/vtsiom-ekologiya/> <https://mbnspb.ru/project/capsgood/> (дата обращения: 21.02.2021).

УДК 631.95

## ВЫРАЩИВАНИЕ КОЛОНИИ ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ НА ПИЩЕВЫХ ОТХОДАХ: СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТОВ

*Жустерова П.К.<sup>1</sup> (студент), Кузнецова К.Г.<sup>1</sup> (аспирант), Лоскутова А.С.<sup>1</sup> (студент),  
Прокошева А.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: kgkuznetsova@itmo.ru, loskutova.itmo@gmail.com,  
annaprokosheva@gmail.com, polly.polly3122@gmail.com*

---

Данная статья представляет собой работу, написанную в рамках прохождения научно-исследовательской практики. Задача заключается в анализе и подборе оптимального состава субстрата для получения личинок Черной львинки с заданными показателями качества. В статье рассмотрены различные составы субстратов, необходимые для выращивания личинки. Исследования показывают, что рост и развитие личинки зависят от выбранных пищевых отходов. Также, необходимо учитывать, что после переработки отходов получается ценный продукт, представляющий собой биодобавку. Таким образом, личинки, выращенные на отходах, могут помочь решить проблему образования большого количества пищевых отходов путем их вторичного использования. Это открывает новые экономические возможности для мелких предпринимателей в развивающихся странах.

**Ключевые слова:** пищевые отходы, личинка Черной львинки, субстрат, переработка пищевых отходов, белок животного происхождения.

---

Рациональное управление сельскохозяйственной продукцией и отходами пищевой промышленности является одной из самых серьезных проблем XXI века. Подсчитано, что более 30% пищи не потребляется. Отходы могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

Объектом исследования послужили личинки *Hermetia illucens*, питающиеся пищевыми отходами. Личинок кормили только пищевыми отходами растительного происхождения.

Одним из привлекательных методов обработки пищевых отходов является метод биоконверсии. В соответствии с принципами биоконверсии отходы можно перерабатывать с использованием живых организмов, таких как насекомые. Использование личинок насекомых для переработки отходов можно привести в качестве примера альтернативного решения, позволяющего одновременно управлять отходами и производством энергии. Примером могут служить личинки *Hermetia illucens* (муха черного солдата). Эти личинки характеризуются быстрым ростом биомассы, а также высоким содержанием белка и жира в сухом веществе [1].

Личинки черной львинки способны разлагать различные органические отходы, такие как навоз скота и пищевые отходы [2].

Отсутствие надлежащего управления органическими отходами имеет тяжелые последствия для здоровья людей в странах с низким и средним уровнем доходов и серьезное негативное воздействие на окружающую среду во всем мире.

Таким образом, их прожорливость можно использовать для преобразования органической фракции отходов в личиночную биомассу. Личинки, при условии наличия подходящего источника корма и соответствующей температуры, развиваются в последнюю личиночную стадию (предкуколку) в течение 2 – 3 недель. Они состоят примерно

из 35% белка и 30% сырого жира. В процессе отходы сокращаются на 60 – 80% и превращаются в личиночную биомассу при коэффициенте преобразования отходов в биомассу 20% в пересчете на сухое вещество [3].

Переработка пищевых отходов личинкой Черной львинки – это технологический процесс, направленный на выращивание популяции личинок в искусственных условиях. Цель процесса заключается в непрерывном увеличении численности популяции личинок для получения устойчивого выхода биокомпоста.

Для испытаний было выбрано 3 различных субстрата, состав которых был подобран заранее:

- 1:1 сосиски и основной субстрат (хлеб 60%, капуста 20%, картофель 20%) – субстрат 1;
- 1:4 чечевица и основной субстрат (хлеб 60%, капуста 20%, картофель 20%) – субстрат 2 и 2а;
- 1:1 кондитерские отходы и основной субстрат (хлеб, отруби) – субстрат 3.

Культивирование личинки проводилось внутри теплицы с заданными оптимальными условиями. Один из контейнеров, содержащий субстрат 2а, находился вне теплицы. Это было необходимо для отслеживания влияния условий.

Ежедневно проводилось посещение лаборатории студентами в соответствии с планом. Измерялись такие показатели как:

- масса личинок;
- влажность субстратов.

По результатам наибольший прирост массы наблюдался у личинок, выращенных на субстрате 1, состав которого был приведен ранее. Данные по результатам масс приведены в таблице.

Таблица. Масса высушенных личинок

| Субстрат | Масса личинок, г |
|----------|------------------|
| 1        | 22, 261          |
| 2        | 9,473            |
| 2а       | 19,057           |
| 3        | 14,908           |

Помимо сокращения отходов, продукт в форме последней личиночной стадии, так называемой предкуколки, представляет ценную добавку в корм для животных.

В условиях постоянно растущих цен на рыбную муку — на сегодняшний день наиболее распространенный белок животного происхождения в кормах для животных — производство муки из насекомых имеет большой потенциал для предпринимателей. В частности, довольно молодая технология мух черного солдата претерпела значительный инновационный импульс с начала тысячелетия. Около дюжины компаний уже начали или собираются начать производство белка с использованием Черной львинки и заявляют о мощности ввода сырья от 200 до 1000 тонн в день [3].

## Литература

1. Czekala W., Janczak D., Cieslik M. Et al. Food waste management using the *Hermetia illucens* insect // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – Vol.21. – No.4. – Pp. 212–216.
2. Choi Y., Choi J., Kim M. et al. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) // *International Journal of Industrial Entomology*. – 2009. – Vol.19. – No.1. – Pp. 171–174.
3. Diener S., Lalander C., Zurbrugg C. et al. Opportunities and constraints for medium-scale organic waste treatment with fly larvae composting // *Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium* – 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/283072268\\_Opportunities\\_and\\_constraints\\_for\\_medium-scale\\_organic\\_waste\\_treatment\\_with\\_fly\\_larvae\\_composting](https://www.researchgate.net/publication/283072268_Opportunities_and_constraints_for_medium-scale_organic_waste_treatment_with_fly_larvae_composting) (дата обращения: 17.03.22).

УДК 664

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ВОСПОЛНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ЛИКОПИНА И ВИТАМИНА В<sub>12</sub>

*Золотарева Д.В.<sup>1</sup> (студент)*

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

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: ms.vaygen@mail.ru, barakova@corp.ifmo.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».*

---

Определены функциональные свойства продуктов, которые используются для приготовления биопродукта. Была выбрана категория больных, для которых будет производиться функциональный биопродукт. Выполнен обзор микроорганизмов, которые можно использовать в качестве источника витамина В<sub>12</sub>.

**Ключевые слова:** функциональные биопродукты, ликопин, тыква, пропионовокислые бактерии, молоко и продукты на его основе, витамин В<sub>12</sub>.

---

Одной из актуальных на сегодняшний день тем является здоровое питание населения. Так было принято решение разработать функциональный биопродукт на основе молока с добавлением растительного сырья и пропионовокислых бактерий.

Основной компонент биопродукта – молоко. Его роль в питании человека достаточно велика. Молоко и продукты на его основе обладают высокой биологической и пищевой ценностью. Кроме того, в них содержатся легкоусвояемые и сбалансированные между собой белки, жиры, углеводы, а также витамины, минеральные вещества и ферменты. Именно поэтому молоко и продукты на его основе являются неотъемлемой частью питания человека с целью профилактики или даже лечения определенных заболеваний, таких как заболевание верхних дыхательных путей. Также при его употреблении уменьшается риск возникновения болезней сердца и сосудов. Было отмечено, что люди, пьющие коровье молоко, реже страдают от рака кишечника и груди.

Научно доказанные факты подтверждают пользу молочных продуктов для зубов и костей. В состав молока входит лактоза, которая не вызывает кариес в отличие от сахарозы.

Однако, учеными было доказано, что в России 48% людей, которые склонны к непереносимости молочной продукции (лактазной недостаточности). При этом 6% населения России являются веганами или вегетарианцами.

При установлении функциональности молока и молочных продуктов была выделена такая категория, как онкология или онкологические заболевания. По данным Всемирной организации здравоохранения, наша страна находится на 49 месте в мире по заболеваемости раком: 234,3 диагноза на 100 тысяч жителей в 2020 году. По уровню смертности от новообразований – на 33 месте: 113,7 случая на 100 тысяч населения.

В качестве следующего компонента было выбрано растительное сырье, а именно тыква. Она была выбрана из-за содержания в ней ликопина, который является функциональным составляющим. Он относится к антиоксидантам, которые нейтрализуют свободные радикалы.

Продукты с большим содержанием ликопина, в том числе тыкву, употребляют в пищу для профилактики и уже имеющихся заболеваний, а именно: снижает риск воспаления и перехода клеток желудка и кишечника в раковые клетки.

Ликопин из тыквы, арбуза, грейпфрута, абрикосов, розовой гуавы, папайи, томатов и продуктов, их содержащих, обеспечивает более 85% ликопина в питании. Для здорового человека количество потребляемого ликопина должно составлять 5 – 10 г, но для онкобольных людей суточная норма гораздо выше и составляет 30 – 60 г.

Завершающим компонентом функционального биопродукта являются пропионовокислые бактерии.

Имеется описание пропионовокислых бактерий. Пропионовокислые бактерии (*Propionibacterium*) – это грамположительные анаэробные палочковидные бактерии, названные в честь их уникального метаболизма: они способны синтезировать пропионовую кислоту, используя для этого необычные ферменты транскарбоксилазы [1].

Представители рода *Propionibacterium* широко используются в производстве витамина В<sub>12</sub>, тетрапиррольных соединений и пропионовой кислоты, а также в производстве пробиотиков и сыра. Для культивирования пропионовокислых бактерий была подобрана среда МРС. При изучении функциональных свойств бактерий было выявлено, что они используются при профилактике и лечении рака желудка и колоректальной карциномы [2].

Таким образом, готовым продуктом будет тыквенный йогурт с добавлением пропионовокислых бактерий, как источника витамина В<sub>12</sub>, который, в свою очередь, защищает организм от возникновения плоскоклеточного рака шейки матки. А при пониженном содержании витамина в сыворотке крови в постменопаузе у женщин риск развития рака молочной железы достоверно повышается [3].

Следовательно, обеспеченность организма этими витаминами существенно влияет на процессы канцерогенеза [4]. Глубокий дефицит витамина В<sub>12</sub>, который присутствует у пациентов после тотальной гастрэктомии в связи с опухолевыми заболеваниями желудка, сопровождается соответствующими неврологическими симптомами. Пациенты с дефицитом витамина В<sub>12</sub> (< 200 пг/мл, n = 30) получали перорально витамин В<sub>12</sub> (1500 мкг/сут) в течение трех месяцев. До начала лечения у 29 пациентов отмечены неврологические симптомы, характерные для гиповитаминоза В<sub>12</sub>. После курсового приема витамином В<sub>12</sub>, 28 из 29 пациентов испытали облегчение симптомов, а у 16 пациентов симптомы полностью регрессировали [5].

Данная тема является актуальной, поскольку число заболевших растет: 234,3 диагноза на 100 тысяч жителей в 2020 году. Таким образом, для уменьшения количества принимаемых лекарственных препаратов необходимо включить в рацион питания функциональный биопродукт, представленный тыквенным йогуртом с суточной нормой пропионовокислых бактерий и ликопина. Кроме того, данный биопродукт подойдет как для людей с начальной стадией рака, так и для людей, у которых 3 и 4 стадии, а также для пациентов после и во время химиотерапии.

## Литература

1. Marzo I., Brenner C., Zamzami N., Susin S.A., Beutner G., Brdiczka D., Rémy R., Xie Z.H., Reed J.C., Kroemer G. 1998a The permeability transition pore complex: a target for apoptosis regulation by caspases and Bcl-2-related proteins J. Exp. Med. – №187. – Pp. 1261–1271.
2. Jacotot E., Ravagnan L., Loeffler M., Ferri K.F., Vieira H.L., Zamzami N., Costantini P., Druillennec S., Hoebeke J., Briand J.P., Irinopoulou T., Daugas E., Susin S.A., Cointe D., Xie Z.H., Reed J.C., Roques B.P., Kroemer G. 2000 The HIV-1 viral protein R induces apoptosis via a direct effect on the mitochondrial permeability transition pore J. Exp. Med. – №191. – Pp. 33–46.
3. Wu K., Helzlsouer K.J., Comstock G.W. et al. A prospective study on folate, В<sub>12</sub>, and pyridoxal 5'-phosphate (В<sub>6</sub>) and breast cancer. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. – 1999. – №8(3). – Pp. 209–217.



4. Gruber B.M. B-Group Vitamins: Chemoprevention? Adv Clin Exp Med. – 2016. – №25(3). 561–8. DOI: 10.17219/acem/33847.
5. Kim H.I., Hyung W.J., Song K.J. et al. Oral vitamin B<sub>12</sub> replacement: an effective treatment for vitamin B<sub>12</sub> deficiency after total gastrectomy in gastric cancer patients. Ann Surg Oncol. – 2011. – №18(13). DOI: 0.1245/s10434-011-1764-6.

УДК 621.59

## МАЛОТОННАЖНЫЙ ОЖИЖИТЕЛЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА

*Иконникова А.Ю.<sup>1</sup> (студент)**Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Баранов А.Ю.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: aikonnikova@niuitmo.ru

В работе произведена оценка возможности применения повышенного давления сырьевого потока природного газа для повышения энергоэффективности установки малотоннажного ожижителя природного газа. Разработан математический аппарат для выполнения численных исследований. Выполнен расчет параметров цикла для различных значений начальных параметров природного газа. Произведена оценка удельных энергетических затрат на охлаждение и ожижение природного газа с помощью детандерного азотного цикла для всех рассмотренных случаев.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ, СПГ, энергоэффективность, давление и температура конденсации, малотоннажное производство.

С повсеместным ростом потребления энергии и сопутствующим усложнением экологической ситуации, использование природного газа в качестве основного ее источника становится все более актуальным. Производство сжиженного природного газа (СПГ) позволяет решить ряд вопросов не только его транспортировки, но и хранения за счет увеличения плотности при сжижении в 600 раз. С ростом объемов производства сжиженного природного газа встает вопрос о необходимости повышения эффективности, что позволит не только сократить энергозатраты, но и повысить экологичность производства.

Для анализа возможных решений в области повышения энергоэффективности циклов получения сжиженного природного газа использовались относительно простые схемы решений, опубликованные в современных научных статьях [1]. Традиционно основным источником повышения энергоэффективности циклов ожижения считаются увеличение числа ступеней охлаждения и включение в цикл ступеней, содержащих источники холодопроизводительности, например детандеров.

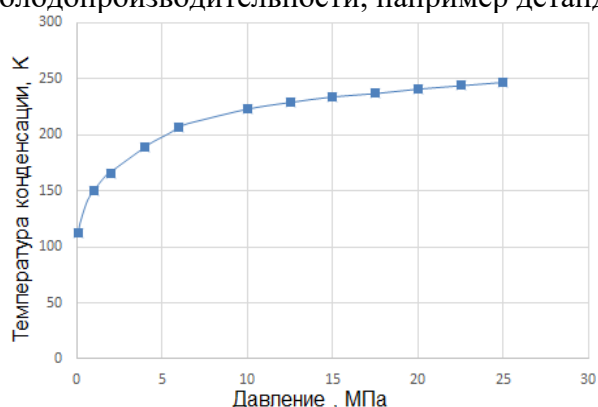


Рис. 1. Зависимость средней температуры конденсации природного газа от давления

Анализ процесса перевода природного газа в жидкое состояние говорит о том, что возможен ещё один способ повышения энергоэффективности процесса ожижения.

Моделирование процесса ожижения природного газа при разных давлениях показало, что по мере роста давления потока на входе в блок ожижения повышается значение температуры жидкости на линии насыщения (рис. 1). Одновременно увеличивается диапазон температур, в котором происходит процесс конденсации.

Перенос основной тепловой нагрузки процесса получения СПГ на более высокий температурный уровень создает предпосылки для снижения затрат энергии в рефрижераторном цикле. В то же время в отдельных научных работах сообщается, что такой метод недостаточно эффективен [2].

В качестве основного метода исследования применимости данного способа предложено моделирование относительно простого цикла, применяемого при малотоннажном ожижении. Например, опубликованная схема в которой получение сжиженного природного газа достигается за счёт внешнего цикла охлаждения, который представляет собой детандерный цикл высокого давления [3].

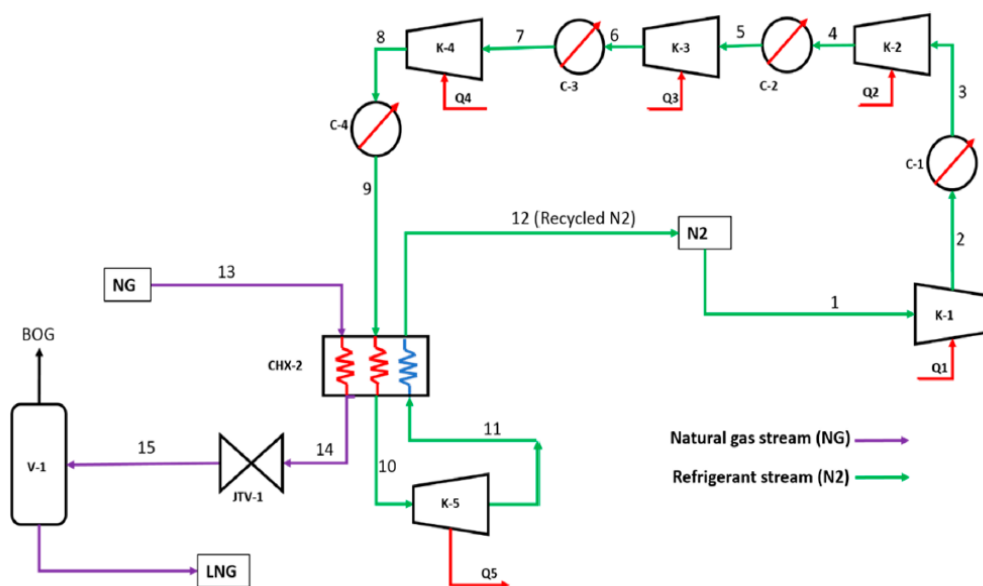


Рис. 2. Азотный цикл получения СПГ с одним детандером [3]

Оригинальная схема цикла, приведённая на рисунке 2, включает в себя 4 ступенчатый компрессор с промежуточными холодильниками, основной теплообменник и детандер для охлаждения потока циркулирующего газообразного азота. Холодопроизводительность детандерного цикла используется для перевода сырьевого природного газа в сжиженное состояние. Для этого поток природного газа направляется через основной теплообменник, охлаждается до состояния близкого к насыщению, затем проходит через дроссельный вентиль и поступает в отделитель жидкости, где разделяется на жидкую и газообразную фракцию. Метод утилизации газообразной фракции в данном источнике не указан.

Схема, представленная на рисунке 2, не соответствует ГОСТу Российской Федерации, поэтому для использования её в рамках данного исследования схема была отредактирована в соответствии с действующим ГОСТом на обозначения в области криогенных технологических схем. Результаты редактирования представлены на рисунке 3. Учитывая, что для рассматриваемой задачи устройства, в частности количество ступеней в компрессорном агрегате, значения не имеют, схема, представленная на рисунке 2, не детализирует компрессорный узел и представляет его в виде турбокомпрессора без обозначения теплообменников используемых для отвода теплоты сжатия в окружающую среду. Это позволяет значительно упростить схему и облегчает её понимание с точки зрения задачи исследования.

В оригинальной схеме теплообменник представляет собой трёхпоточный теплообменник, причём каждый из потоков движется в трубном пространстве. Применительно к данному технологическому решению, подача всех потоков через трубное пространство ухудшает перенос теплоты от прямых потоков к обратному потоку рефрижераторного цикла и увеличивает металлоёмкость основного теплообменника, так как объёмный расход обратного потока достаточно велик и для его отогрева в трубном пространстве потребуется значительное количество труб. Поэтому было предложено

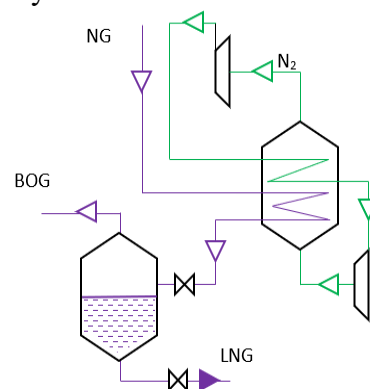


Рис. 3. Схема азотного цикла получения СПГ с одним детандером

изменить технологическое решение и реализовать этот теплообменный аппарат как классический кожухотрубный трёхпоточный теплообменник (рис. 4). Практика показывает, что в данном случае азотный цикл выполняет собой роль внешней ступени охлаждения, то есть фактически вырабатывает холодопроизводительность, которая затем используется для перевода сырьевого потока из газообразного состояния в жидкое [4]. С учетом этого рационально представить основной трёхпоточный теплообменник в виде двух теплообменников, в которых обратный поток газообразного азота отводит теплоту от потоков высокого давления, в частности от потока природного газа и потока азота, который циркулирует в детандерном цикле. Такая схема представлена на рисунке 4.

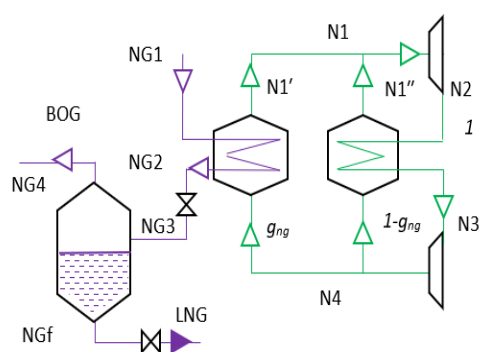


Рис. 4. Схема цикла с разделением основного теплообменника на 2 двухпоточных

Краткое описание принципа действия технологической схемы представленной на рисунке 4: газообразный азот N1 сжимается в центробежном компрессоре до состояния N2, затем проходит через двухпоточный теплообменник, в котором за счёт обмена с обратным потоком низкого давления его температура снижается до состояния N3. Затем газовый поток расширяется в детандере и охлаждается до состояния N4. Часть потока в количестве  $1-g_{ng}$  направляется в межтрубное пространство теплообменника 1. Вторая часть потока в количестве  $g_{ng}$  направляется в теплообменник, который обеспечивает охлаждение природного газа. Природный газ поступает в этот теплообменный аппарат, контактирует с обратным потоком циркулирующего азота, отдает ему теплоту, переходит в парожидкостное состояние, дросселируется в разделитель жидкости и выводится из аппарата в виде двух потоков: сжиженного природного газа LNG и потока паров газа BOG.

Анализ установки проводился для различных начальных параметров сырьевого потока природного газа, в частности при различных давлениях потока на входе в блок охлаждения (от 7 до 20 МПа). В качестве базового принято давление газа в магистральной трубе – 7 МПа. Принято давление потока азота на выходе из компрессорного агрегата 20 МПа, изотермический КПД компрессора 0,65, адиабатный КПД детандера 0,7, разность температур на тёплом конце теплообменников 20 К. Цикл рассчитывался из предположения, что в жидкое состояние перейдет не менее 95% природного газа.

В процессе анализа для каждого из вариантов работы циклы составлены энергетические балансы и определены соотношения массовых расходов потоков.

Баланс энергетической установки:

$$h_{N2}G_{N2} + h_{NG}G_{NG} + \Sigma Q_{OC} = h_{N1}G_{N2} + h_{LNG}G_{NG} \cdot x + h_{BOG}G_{NG} \cdot (1 - x) + L\delta,$$

где  $G_{NG}$  – расход природного газа,

$G_{N2}$  – расход азота,

$L\delta$  – работа детандера,

$\Sigma Q_{OC}$  – суммарный теплоприток от окружающей среды,

$h$  – энтальпии потоков.

Выделение потока циркулирующего азота в отдельный теплообменный аппарат позволило упростить построение математической модели теплообменников, так как в данном случае было необходимо оптимизировать и смоделировать работу двух двухпоточных теплообменников. Единственную технологическую трудность представляет перераспределение обратного потока, который выходит из детандерного агрегата состояния N4 и делится между двумя теплообменниками: в котором охлаждается прямой поток азота высокого давления и в котором охлаждается прямой поток природного газа. Распределение обратного потока рассчитано с помощью теплового баланса двух теплообменных аппаратов [5].

Доли потока азота определены из энергетических балансов теплообменных аппаратов. Энергетический баланс азотного теплообменника:

$$h_{N2}G_{N2} + h_{N2}G_{N2} \cdot (1 - g_{ng}) + Q_{OC} = h_{N3}G_{N2} + h_{N1''}G_{N2} \cdot (1 - g_{ng}),$$

где  $g_{ng}$  – доля потока азота после детандера на охлаждение природного газа.

Энергетический баланс ожижителя природного газа:

$$h_{NG}G_{NG} + h_{N4}G_{N2} \cdot g_{ng} + Q_{OC} = h_{NG2}G_{NG} + h_{N1'}G_{N2}g_{ng}.$$

В ходе моделирования для каждого из вариантов давлений сырьевого потока были также построены графики изменения температур потоков по длине теплообменных аппаратов (рис. 5), разделенных на 10 условных сечений. Значения температур определялись с помощью энергетических балансов соседних участков теплообменников. Построение графиков позволило производить расчет циклов с большей точностью, поскольку отслеживалось наличие температурных засечек в теплообменных аппаратах.

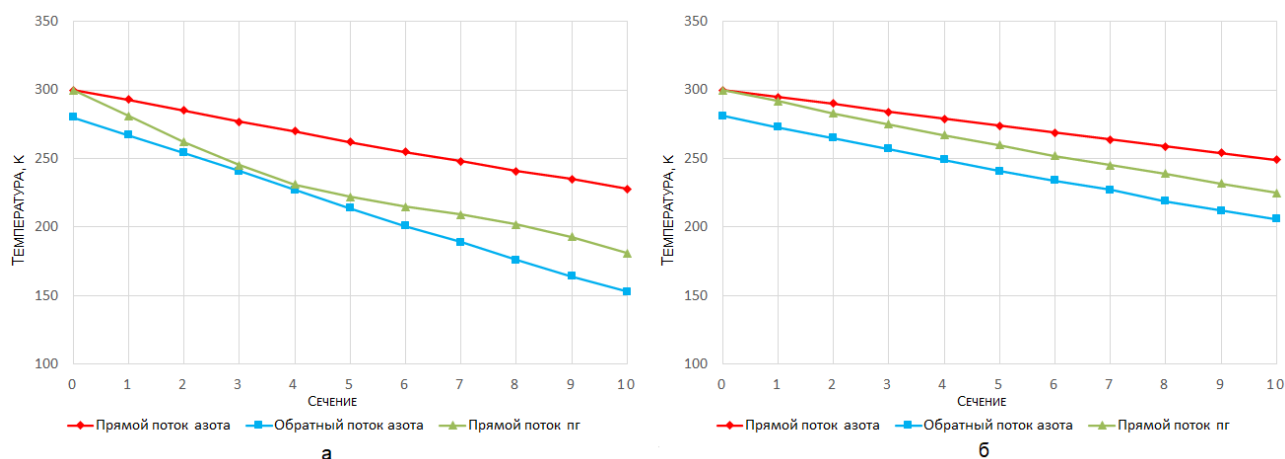


Рис. 5. Изменение температур потоков по длине теплообменных аппаратов при различном давлении природного газа на входе а) 7 МПа, б) 15 МПа

Для итогового анализа возможности повышения энергоэффективности циклов ожижения природного газа с помощью увеличения давления сырьевого потока на входе в блок ожижения, определены затраты энергии для каждого из вариантов. Результаты расчета по формуле (1) приведены на рисунке 6.

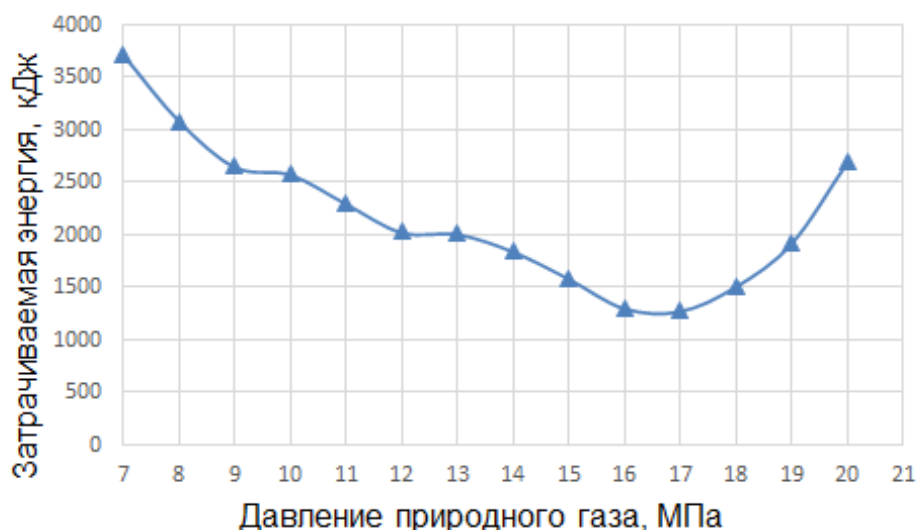


Рис. 6. Зависимость затрат энергии на ожижение 1 кг природного газа от его давления

$$W = L_{KN2} + L_{KNG} - L_{DN2} + Q_{OC}, \quad (1)$$

где  $W$  – затрачиваемая энергия,

$L_{KN2}$  – работа сжатия азота,

$L_{KNG}$  – работа дожатия природного газа,

$L_{DN2}$  – работа, выделяемая детандером,

$Q_{OC}$  – теплоприток от окружающей среды.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что увеличение давления сырьевого потока природного газа способствует снижению затрат энергии на его ожижение, однако, только в ограниченном диапазоне значений. Также повышение давления потока приводит к улучшению эффективности процесса теплообмена. При использовании в качестве сырья магистрального газа с давлением 7 МПа, его дожатие до 16 МПа ведет к существенному повышению энергоэффективности, однако, при дальнейшем сжатии затраты энергии начинают возрастать. В качестве следующих этапов исследования предполагается определение возможности расширить диапазон целесообразного повышения давления с помощью модернизации цикла, в частности применением большего количества детандеров.

### Литература

1. Key R.D., Edvardsson T. Choose the best refrigeration technology for small-scale LNG production //Hydrocarbon Processing. – 2014. – №January. – С. 45–52.
2. Pham T.N. et al. Enhancement of single mixed refrigerant natural gas liquefaction process through process knowledge inspired optimization and modification //Applied Thermal Engineering. – 2017. – Т.110. – С. 1230–1239.
3. Qyyum M.A., Qadeer K., Lee M. Comprehensive review of the design optimization of natural gas liquefaction processes: current status and perspectives //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2017. – Т.57. – №17. – С. 5819–5844.
4. Pak J. Nitrogen expansion cycle enhances flexibility of small-scale LNG //Hydrocarbon processing (International ed.). – 2013. – №July. – С. 13–17.
5. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы: в 2 т. – Общество с ограниченной ответственностью Научно-техническое издательство Машиностроение. – 1996. – 576 с.

УДК 665.33; 664.143

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ

**Исаева С.А.<sup>1</sup> (студент), Ушаева И.У.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Джамалдинова Б.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Грозненский государственный нефтяной технический  
университет им. акад. М.Д. Миллионщикова

*e-mail: selimaisaeva17@gmail.com, ushaevaira77@mail.ru, dbirlant@list.ru*

---

В последние годы особенно остро стоит вопрос о безопасности продуктов, выработанных из масел низкой степени очистки, при употреблении которых в организме человека накапливаются свободные радикалы, провоцирующие онкологические заболевания и другие патологии. Разнообразие природных растительных ресурсов конкретного региона является профилактической основой сохранения здоровья населения, в связи с чем рассматривается возможность получения масла косточек кизила, которое обладает противовоспалительными, антибактериальными, ранозаживляющими, регенерирующими, вяжущими свойствами. Для определения жирнокислотного состава исследуемого масла предложен метод ИК-Фурье-спектроскопии.

**Ключевые слова:** свободные радикалы, генофонд, онкологические заболевания, масло косточек кизила, жирнокислотный состав, ИК-Фурье-спектроскопии.

---

Актуальность проблемы безопасности продуктов питания с каждым годом возрастает, поскольку именно обеспечение безопасности продовольственного сырья и продуктов питания является одним из основных факторов, определяющим здоровье людей и сохранения генофонда. Безопасными считаются продукты питания, не оказывающие вредного воздействия на здоровье настоящего и будущего поколений. Особенно благоприятно на здоровье человека влияют продукты питания, приготовленные на основе растительных ресурсов конкретного региона. Данное дикорастущее сырье имеет ценный химический состав и на основе ранее проведенных исследований дикорастущих плодов Северо-Кавказского региона были разработаны технологии переработки этих плодов и их применение в кондитерском производстве [1].

До недавнего времени технологические процессы переработки плодоовощной продукции были организованы таким образом, что из сырья извлекались лишь основные компоненты, а отходы (косточки, кожица, сердцевина семечковых плодов) шли, в лучшем случае, в комбикормовое производство. Коэффициент использования сырья, в среднем, составлял 0,79 и это при том, что плодоовощные отходы богаты углеводами, минеральными веществами и витаминами, а ядра косточковых плодов содержат полиненасыщенные жирные кислоты и другие биологически активные вещества.

В последнее десятилетие ситуация несколько улучшилась и из плодоовощных отходов стали получать полуфабрикаты высокой пищевой ценности, состав которых позволяет вырабатывать продукты питания лечебно-профилактического назначения. Косточки абрикосов, персиков, винограда и другие отходы растительного сырья, содержащие жирные кислоты (табл. 1), перерабатываются и применяются в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности [2].

Важным шагом в решении вопроса глубокой переработки растительного сырья местных сырьевых ресурсов может стать более широкое вовлечение в хозяйственный оборот сырья

растительного происхождения, в частности, рассматривается возможность получения косточкового масла из кизила.

Таблица 1. Химический состав ядер сушеных косточек

| Наименование                    | Жирные кислоты, % |                    |             |             |             |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                 | пальмитиновая     | пальмито-олеиновая | стеариновая | олеиновая   | линолевая   |
| Миндаль-ядро (сладкое/горькое)  | 7,88/7,33         | 0,72/0,55          | 0,52/0,74   | 72,4/73,72  | 18,36/17,66 |
| Абрикосы-ядро (сладкое/горькое) | 5,05/4,6          | 0,74/0,37          | 0,26/0,21   | 66,59/71,75 | 27,66/23,06 |
| Персики-ядро (горькое)          | 7,22              | 0,14               | 0,48        | 72,9        | 19,25       |
| Виноградное масло               | 6,8               | 0,1                | 3,9         | 19,5        | 68,8        |

Из литературных источников известно, что из косточек кизила можно получить до 34% кизилового масла, в котором присутствуют ценные витамины, микроэлементы, а также биологически активные вещества, оказывающие благоприятное действие на работу желудочно-кишечного тракта, способствующие восстановлению клеток печени и заживлению язв, как внутренних, так и наружных. Кизиловое масло рекомендуют при ожогах, острых респираторных заболеваниях, ангине, гриппе и других вирусных инфекциях.

Для определения жирнокислотного состава масла косточек кизила, нами выбран метод ИК-Фурье-спектроскопии, так как является чувствительным, неразрушающим методом анализа различных жиров и липидов [3]. Структурные особенности триглицеридов различных кислот заметно проявляются в колебательных спектрах, позволяя использовать ИК-спектроскопию как инструмент для качественного и количественного определения кислотного состава жиров.

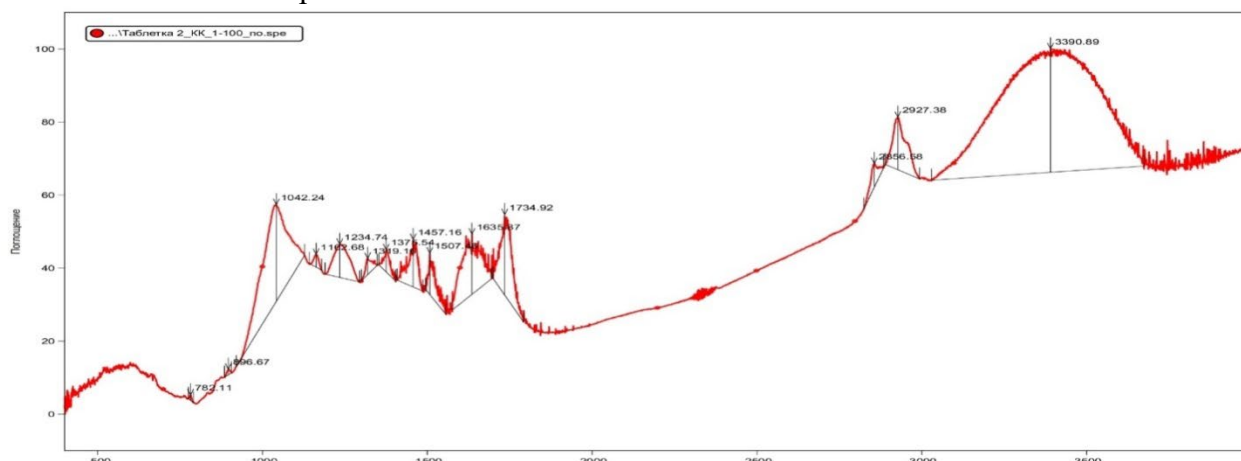


Рисунок. ИК-спектры косточки при соотношении исследуемого порошка косточки кизила и бромида калия 1:100

Подготовка образцов для снятия ИК-спектров проводили следующим образом: косточки кизила для очистки от остатков мякоти загружали в горизонтальный смеситель, заливали водой температурой 25°C в соотношении 1:5 и сбрасывали в течение 72 ч., затем при перемешивании удаляли промывную воду, проводили обезвоживание на механическом сите в течении 10 мин и высушивали естественным путем или в сушилке с потоком воздуха температурой 45°C. После охлаждения косточки подвергали тонкому размолу на диспергаторе, средний гидродинамический радиус частиц 83,4 нм. Приготовление 5 образцов таблеток, в состав которых входил порошок кизила, полученный из косточек, и бромида калия с различным соотношением (1обр. – 1:25, 2обр. – 1:50, 3обр. – 1:100, 4обр. – 1:150, 5обр. – 1:200), осуществляли на пресс-форме ПФ13 с помощью прессы усилием



до 10 Тс в условиях вакуумной откачки (давление в вакуумной системе не более 20 мм рт. ст.). Далее проводили подготовку проб и регистрировали ИК-спектры. Наиболее воспроизводимыми получились полосы поглощения образца №3 при соотношении исследуемого порошка косточки кизила и бромида калия 1:100 (рисунок, табл. 2).

Таблица 2. Спектр поглощения косточки кизила

| №  | Начало  | Максимум | Конец   | Ордината | Высота | Ширина | Площадь | Отн. площадь |
|----|---------|----------|---------|----------|--------|--------|---------|--------------|
| 1  | 775,00  | 782,11   | 790,91  | 1,07     | 0,03   | 6,24   | 0,21    | 0,05         |
| 2  | 884,95  | 896,67   | 906,17  | 1,21     | 0,03   | 11,37  | 0,35    | 0,09         |
| 3  | 920,16  | 1042,24  | 1128,01 | 2,14     | 0,55   | 90,96  | 50,49   | 12,80        |
| 4  | 1142,00 | 1162,68  | 1180,10 | 1,86     | 0,07   | 17,14  | 1,26    | 0,32         |
| 5  | 1190,22 | 1234,74  | 1294,88 | 1,92     | 0,19   | 58,19  | 10,49   | 2,66         |
| 6  | 1300,18 | 1319,16  | 1347,92 | 1,84     | 0,09   | 20,59  | 2,03    | 0,51         |
| 7  | 1353,23 | 1375,54  | 1403,87 | 1,89     | 0,13   | 19,92  | 2,76    | 0,70         |
| 8  | 1408,21 | 1457,16  | 1485,85 | 1,95     | 0,27   | 28,74  | 8,77    | 2,22         |
| 9  | 1495,01 | 1507,46  | 1557,23 | 1,87     | 0,23   | 20,78  | 5,99    | 1,52         |
| 10 | 1575,07 | 1635,87  | 1695,15 | 1,98     | 0,34   | 83,98  | 22,40   | 5,68         |
| 11 | 1699,49 | 1734,92  | 1792,09 | 2,08     | 0,45   | 38,82  | 19,11   | 4,84         |
| 12 | 2824,13 | 2856,58  | 2884,41 | 2,37     | 0,13   | 24,52  | 3,70    | 0,94         |
| 13 | 2889,24 | 2927,38  | 2993,89 | 2,64     | 0,30   | 52,78  | 14,48   | 3,67         |
| 14 | 3030,06 | 3390,89  | 3674,84 | 3,02     | 0,70   | 367,15 | 252,53  | 64,00        |

Сравнительный анализ ИК-спектров контрольных образцов ненасыщенных жирных кислот дает возможность утверждать о присутствии в ядре косточки кизила линолевой, олеиновой и других полиненасыщенных жирных кислот.

Представленные результаты носят промежуточный характер, планируется провести исследование жидких образцов кизилового масла и выработать наиболее эффективный способ подготовки образцов для получения более достоверной информации.

В настоящее время ведется работа по подбору оптимального растворителя и определению количественного состава наиболее важных полиненасыщенных жирных кислот, содержащихся в косточке кизила методами экстракции. Исследования по установлению качественного и количественного состава косточки дикорастущих плодов и ягод будет иметь продолжение.

## Литература

1. Джамалдинова Б.А. Получение и применение полуфабрикатов дикорастущих плодов для обогащения кондитерских изделий: диссерт. канд. тех. наук. Воронеж. – 2007. – 199 с.
2. Марчук Г.С. Перспективы полной утилизации плодовых косточек предприятиями консервной промышленности [Текст] / Г.С. Марчук. – М.: ЦНИИТЭИ. – 1980. – 42 с.
3. Бирбасова А.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование рецептур купажированных масел функционального назначения специальность: автореф. диссерт. канд. тех. наук. Краснодар: 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/teoreticheskoe-i-eksperimentalnoe-obosnovanie-retseptur-kupazhirovannykh-masel-funktsionalno/read>, своб. (дата обращения: 24.02.22).
4. Туртыгин А.В. Скрининг и определение состава триацилглицеринов в растительных маслах и животных жирах в условиях обращенно-фазовой ВЭЖХ: диссерт. канд. тех. наук. Белгород: 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.science.vsu.ru/dissertations/9279/.pdf>, своб. (дата обращения: 24.02.22).

УДК 504.064.43

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЙ И ХРАНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА (CO<sub>2</sub>) И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*Ишутина Е.О.<sup>1</sup> (аспирант), Подледнева Л.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: valeriaabramzon@yandex.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620159 «Разработка и исследование цифрового анализатора фреона».*

---

В данной работе были рассмотрены теоретические основы технологий улавливания, хранения и использования диоксида углерода. В работе также был рассмотрен практический опыт использования данных технологий в мировой энергетике, проанализированы перспективы и возможности их развития в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** диоксид углерода, Парижское соглашение, декарбонизация, промышленности, углеродная нейтральность.

---

Антропогенное влияние на увеличение CO<sub>2</sub> в атмосфере – одна из основных причин, по мнению ряда ученых, обуславливающих глобальное изменение температуры. С целью регулирования мер по снижению содержания углекислого газа в атмосфере, было принято Парижское соглашение [1].

Одним из приоритетных направлений по снижению выбросов парниковых газов является внедрение технологий улавливания диоксида углерода (УХУ). Суть процесса состоит в выделении CO<sub>2</sub>, перевозке и дальнейшем хранении, не допуская выбросов в атмосферу. Помимо хранения, улавливаемый газ можно использовать в промышленных процессах в виде сырья.

Технологии улавливания, хранения и использования диоксида углерода являются одним из вариантов декарбонизации промышленности и энергетического сектора. Первые исследования и практическое применение технологии улавливания и геологического хранения CO<sub>2</sub> появились в 70 – 80-х годах XX века в США. Тогда этот метод использовали для увеличения нефтеотдачи. Закачивая углекислый газ в пласт, повышался коэффициент извлечения нефти на выработанных месторождениях. Сейчас большая часть исследований и разработок направлена на повышение эффективности технологий и внедрение в промышленный процесс. На рисунке 1 изображена схема возможных вариантов развития УХУ.

Общий процесс улавливания можно разделить на три категории в зависимости от производственного процесса или типа рассматриваемой электростанции:

1. Выделение CO<sub>2</sub> от дымовых газов после сжигания первичного топлива. Этот способ подразумевает использование жидкого растворителя для захвата малой доли диоксида углерода. В современных установках зачастую используют органический растворитель моноэтаноламин [2].
2. Выделение CO<sub>2</sub> до сжигания топлива. Суть способа состоит в смешивании первичного топлива с потоком воздуха или кислорода, при котором образуется смесь, состоящая из оксида углерода и водорода. Далее смесь разделяется на CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>. Выделенный водород также можно применять для выработки энергии или тепла [2].

3. Улавливание  $\text{CO}_2$  в системах сжигания с обогащением топлива кислородом перед сжиганием. Этот способ аналогичен второму способу, разница заключается в получении дымового газа при смешивании. Полученный дымовой газ состоит из водяного пара и  $\text{CO}_2$  в высокой концентрации (более 80%). Этот способ находится на стадии исследования.

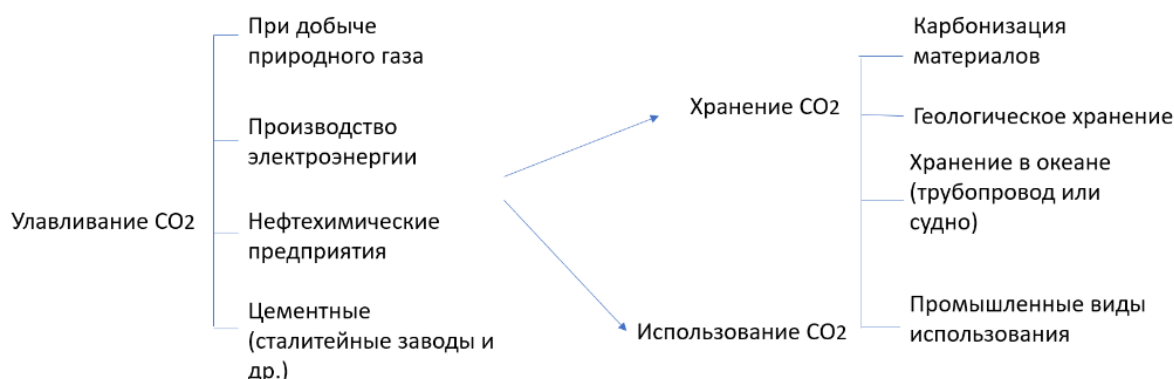


Рис. 1. Диаграмма возможных вариантов улавливания, транспортировки и хранения  $\text{CO}_2$   
Процессы улавливания диоксида углерода представлены на рисунке 2.

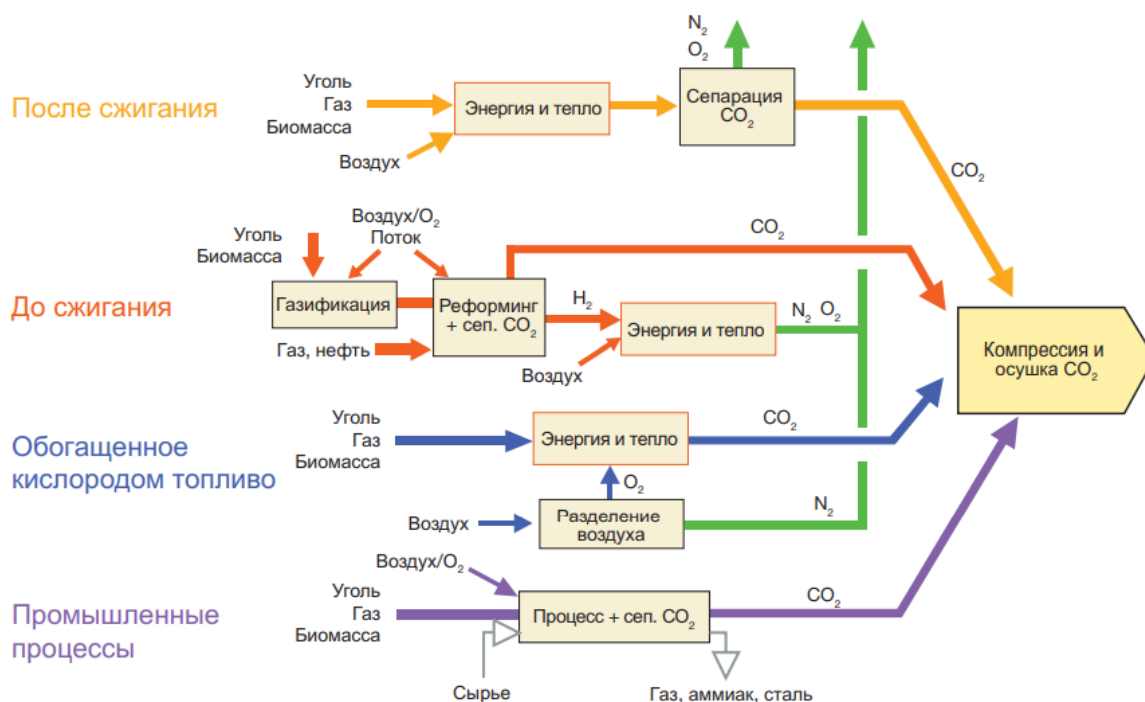


Рис. 2. Схема процессов и систем улавливания  $\text{CO}_2$

Транспортировка улавливаемого  $\text{CO}_2$  может осуществляться в трубопроводах и в виде жидкости судами, наземным транспортом. Трубопровод является распространённым способом передачи газа. Для транспортировки газообразный  $\text{CO}_2$  сжимают до давления более 8 МПа. Сжатие предотвращает двухфазный режим потока и повышает плотность  $\text{CO}_2$ . Это делает транспортировку менее дорогостоящей. Перевоз  $\text{CO}_2$  осуществляется в изолированных цистернах при температуре, которая значительно ниже температуры окружающей среды, и при гораздо более низком давлении [2].

В настоящее время хранение диоксида углерода осуществляется только в геологических формациях: резервуары нефти и газа, глубоко залегающие соленосные формации и не имеющие промышленного значения угольные пласты [2]. Главное условие для геологического резервуара – минимальная глубина 800 м, где температура и давление окружающей среды достаточно высоки. Эти условия необходимы для поддержания  $\text{CO}_2$  в жидком или сверхкритическом состоянии, также для поддержания плотности  $\text{CO}_2$  в пределах 50 – 80% от плотности воды [2].

Один из исследуемых вариантов хранения  $\text{CO}_2$  является хранение в океане. Подразумевается закачивание на глубину более 1000 м, где диоксид углерода будет изолирован от атмосферы и в течение столетия станет частью глобального цикла водорода [2].

Диоксид углерода также можно карбонизировать или использовать в промышленных процессах. Карбонизация минералов осуществляется в ходе химических реакций, где  $\text{CO}_2$  преобразуется в твердые неорганические карбонаты. Карбонизация минералов означает фиксацию  $\text{CO}_2$  с использованием щелочных и щелочноземельных оксидов, таких как оксид магния ( $\text{MgO}$ ) и оксид кальция ( $\text{CaO}$ ), которые присутствуют в силикатных породах естественного происхождения, таких как серпентин и оливин. В результате химических реакций между этими веществами и  $\text{CO}_2$  получают такие соединения, как карбонат магния ( $\text{MgCO}_3$ ) и карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ , обычно известный как известняк) [2].

В начале 2021 года более 120 стран заявили о планах по декарбонизации экономики в 2050 – 2060 годах [3]. На рисунке 3 представлена карта Всемирного института УХУ с существующими проектами по хранению и улавливанию диоксида углерода. Большая часть проектов (разрабатываемых и запущенных) находится в Северной Америке.



Рис. 3. Карта существующих проектов систем УХУ в мире

В Российской Федерации ведется активная работа по формированию новых законопроектов и партнерских соглашений для достижения углеродной нейтральности.

Российские энергетические компании «Новатэк» и «Газпром» анонсировали создание проектов по улавливанию и хранению  $\text{CO}_2$  [3].

10 декабря 2020 г. Компания «Новатэк» подписала соглашение по декарбонизации производства СПГ с компанией «Сименс Энергетика» [4]. Соглашение подразумевает поддержание устойчивого развития и достижение целей компаний по снижению углеродного следа и повышению экологической эффективности [4].

Компания «Газпром нефть» активно инвестирует в проект по улавливанию и захоронению углерода в Оренбургской области. Также у «Газпром нефти» в Республике Сербия имеется проект по сбору и очистке природного газа с высоким содержанием углекислого газа с объемом закачки около 100 000 т  $\text{CO}_2$  в год, полученный  $\text{CO}_2$  закачивается в разрабатываемую залежь на глубину более 2500 м. Проект реализуется совместно с сербской компанией NIS с 2015 года [5].

3 июня 2021 г. в ходе Петербургского международного экономического форума (ПМЭФ-2021) были подписаны соглашения между «Газпром нефть» и металлургическими компаниями «Северсталь», и «ЕВРАЗ» о сотрудничестве в области развития водородной энергетики, а также сокращения выбросов углекислого газа на территории России и за рубежом [6].

В связи с изменением сроков поставки оборудования, указанные даты могут быть изменены, однако, проекты планируются к реализации.

С 1 января 2022 года недропользователи могут получать лицензии на строительство хранилищ для захоронения CO<sub>2</sub> [7].

Несмотря на отсутствие действующих проектов, потенциал России значительно выше, чем у других стран. Суммарная емкость хранилищ в России составляет 1173 Гт. Развитая нефтегазодобыча позволит эффективно реализовать проекты по УХУ.

В настоящее время технологии улавливания, хранения и использования CO<sub>2</sub> являются одним из эффективных способов для достижения общей цели декарбонизации экономики. Для смягчения воздействия выбросов диоксида углерода использование технологий предполагается использовать вместе с атомной и возобновляемой энергией.

## Литература

1. 175 стран подписали Парижское соглашение по климату. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/obschestvo/3233294> (дата обращения: 01.12.2021).
2. Специальный доклад МГЭИК. Улавливание и хранение двуокиси углерода, Межправительственная группа экспертов по изменению климата. – 2005. – 66 с.
3. Захоронить нельзя выбрасывать. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inlnk.ru/vogG5R> (дата обращения: 01.12.2021).
4. НОВАТЭК и Сименс Энергетика подписали соглашение по декарбонизации производства СПГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/spg-szhizhenyy-prirodnyy-gaz/654162-novatek-i-simens-energetika-podpisali-soglashenie-po-dekarbonizatsii-proizvodstva-spg/> (дата обращения: 17.01.2022).
5. «Газпром нефть» раскрыла детали российского проекта улавливания CO<sub>2</sub>. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/12/17/901240-gazprom-neft-raskrila> (дата обращения: 01.12.2021).
6. ПМЭФ-21. Газпром нефть, Северсталь и ЕВРАЗ будут сотрудничать по развитию технологий для сокращения углеродного следа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/partnership/683024-gazprom-neft-severstal-i-evraz-budut-sotrudnicat-po-razvitiyu-tekhnologiy-dlya-sokrashcheniya-ugler/> (дата обращения: 17.01.2022).
7. Лицензии на создание хранилищ для парниковых газов начнут оформлять с 1 января [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pnp.ru/economics/licenzii-na-sozдание-khranilishh-dlya-parnikovyx-gazov-nachnut-vydavat-s-1-yanvarya.html> (дата обращения: 17.01.2022).

УДК 006.85

## ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Кайсина В.В.<sup>1</sup> (аспирант)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Университет ИТМО

e-mail: memoza01@gmail.com

В работе рассмотрена необходимость гармонизации нормативно-технических документов в области водородной энергетики. Выявлены основные технологические процессы, регламентирование которых позволит Российской Федерации выйти на мировой рынок торговли водородным топливом.

**Ключевые слова:** водородные технологии, водород, водородная экономика, гармонизация стандартов, стандартизация водородной энергетики.

На сегодняшний день развитие водородной энергетики является важнейшей задачей промышленности во всем мире. Страны-участники Парижского соглашения разрабатывают дорожные карты по развитию и поддержанию технологических процессов, направленных на производство низкоуглеродного водорода. Однако, вопросы хранения и транспортировки водорода в крупномасштабных количествах всё ещё имеют ряд технологических сложностей. Создание и закрепление норм и правил в нормативно-технологической базе Российской Федерации позволит стране выйти на экспортно-ориентированный подход производства водорода, являющегося приоритетным при реализации плана мероприятий по развитию водородной энергетики в Российской Федерации.

Цель данной работы заключается в анализе существующей нормативно-технологической базы водородных технологий, анализе её ближайшего развития и путей гармонизации существующих стандартов.

Совершенствование нормативно правовой базы и системы национальной стандартизации определено в плане развития водородной энергетики Российской Федерации, как одно из приоритетных направлений. С целью реализации плана развития водородной энергетики приказом Росстандарта от 8.10.2021 г. №2235 создан технический комитет по стандартизации «Водородные технологии» (далее ТК 029). На сегодняшний день количество действующих стандартов, закрепленных за ТК 029 составляет 33 документа, действующих на межгосударственном и государственном уровнях. Область применения действующих стандартов в большинстве своем распространяется на производство и частичное использование водорода (в основном в транспортных средствах).



Рис. 1. Области применения стандартов, закрепленных за ТК 029 «Водородные технологии»

Распределение областей применения действующих стандартов, закрепленными за ТК 029, представлено на рисунке 1. Таким образом, проанализировав действующие стандарты в области водородных технологий, очевидно, что вопрос стандартизации техпроцессов, связанных с транспортировкой водорода, является первостепенным.

Для реализации задач по установлению нормативных требований в водородной энергетике в International Organization for Standardization (ISO) в 1990 году был создан специализированный технический комитет ISO/TC197 «Hydrogen technologies», который объединил усилия специалистов из 33 стран [1]. Помимо International Organization for Standardization вопросами стандартизации технологий водородных элементов занимается International Electrotechnical Commission. В таблице представлена сравнительная характеристика деятельности международной стандартизации в области водородных технологий.

Таблица. Международная стандартизация в области водородных технологий

| Наименование организации                             | Наименование технического комитета/подкомитета                  | Количество введенных стандартов |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| International Organization for Standardization (ISO) | ISO/TC 197 «Водородные технологии»                              | 17                              |
|                                                      | ISO/TC22/SC 37 «Электрические самоходные транспортные средства» | 22                              |
|                                                      | ISO/TC 22/SC 41 «Особенности применения газомоторного топлива»  | 5                               |
|                                                      | ISO/TC 58 «Газовые баллоны»                                     | 99                              |
| International Electrotechnical Commission (IEC)      | IEC/TC 105 «Технологии топливных элементов»                     | 15                              |

По данным таблицы видно, что количественные показатели международной стандартизации в области водородных технологий и топливных элементов значительно превышают количество стандартизированных процессов в России. Этот факт может послужить препятствием на пути развития водородной энергетике в стране. Как следует из Концепции развития водородной энергетике в Российской Федерации, создание нормативно-правовой базы и документов по стандартизации в области водородной энергетике должно быть организовано, в том числе вопросами гармонизации и унификации системы технических стандартов [2]. Для успешной реализации международных водородных проектов, а также осуществление системы экспорта Российского водорода необходимо проведение гармонизации нормативно-технической базы. В качестве приоритетных для гармонизации документов по стандартизации можно выделить документы следующих международных организации: Международная организация по стандартизации (ISO), Международная электротехническая комиссия (IEC), Американский национальный институт стандартов (ANSI), Ассоциация сжатого газа (CGA), Управление стандартизации Китая (SAC), Японский комитет промышленных стандартов (JISC).

По результатам анализа, представленного в статье, выявлено, что разработка нормативно-технических документов в области водородной энергетике, регламентирующие процессы транспортировки газа является первостепенной задачей для российской системы стандартизации. Решение данного вопроса возможно путем гармонизации стандартов, принятых международными организациями по стандартизации. Реализация такого подхода позволит осуществить выход России на международную торговлю водородом.

## Литература

1. Раменский А.Ю. Водород в качестве топлива: предмет и цели стандартизации // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2015. – №01(15). – С. 33–44.
2. Лизикова М.С. Стратегия развития и вопрос правового обеспечения водородной энергетике // Труды Института государства и права РАН. – 2021. – Т.16. – №4. – С. 135–151.



УДК 504.062.2

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ БИЗНЕС-ПЛАНА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Калошина О.О.<sup>1</sup>** (студент)

**Научные руководители – канд. техн. наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>,  
канд. хим. наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Университет ИТМО

e-mail: kaloshina\_olesya@mail.ru

Целью проекта являлся выбор наилучшей доступной технологии для производства минеральных удобрений. В работе рассмотрены две технологии: техническое перевооружение горелок трубчатой печи и реконструкция компрессора синтез-газа. За счет внедрения обеих технологий повышается энергоэффективность и снижается потребление природного газа на одну тонну производимого аммиака. В работе приведены результаты расчета рентабельности проекта.

**Ключевые слова:** наилучшая доступная технология, производство аммиака, перевооружение горелок трубчатой печи, реконструкция компрессора синтез-газа, агрегат Toyo Engineering Corporation.

Для обеспечения продуктами питания населения отрасль сельского хозяйства применяет органические и минеральные удобрения. Основным компонентом производимых азотных удобрений является аммиак. Он широко применяется также в производстве пластмасс, промышленной продукции, красок, фармацевтических препаратов, в качестве хладагента в холодильных установках. Суммарная мощность установок в России на 2018 год составила около 17 млн т  $\text{NH}_3$  в год. Три четверти всего вырабатываемого аммиака направляется на внутренний рынок и используется преимущественно для производства минеральных удобрений. Основу промышленности по производству  $\text{NH}_3$  составляют 28 агрегатов, введенных в эксплуатацию в 1973 – 1988 годах [1].

Общая схема организации производства аммиака с максимальной мощностью выпуска продукции в 583 тыс. т  $\text{NH}_3$  в сутки состоит в том, что природный газ, поступающий из сети, сжимается, очищается от соединений серы, от метана и оксидов углерода. После прохождения тонкой очистки от  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  и последующего сжатия синтез-газа, в отделении синтеза выделяют аммиак [1].

Согласно информации из информационно-технического справочника (ИТС) конкурентоспособными и рентабельными, при существующей цене на природный газ, будут производства азотных удобрений с затратами энергии на производство аммиака в пределах от 7 до 7,5 Гкал/т [1]. Таблица 1 содержит основные характеристики исследуемого агрегата.

Таблица 1. Технические характеристики агрегата Toyo Engineering Corporation

| Характеристика                                              | Единица измерения | Значение |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|----------|
| Проектная мощность                                          | тыс. т/год        | 450,00   |
| Суммарное потребление всех видов энергии на 1 тонну аммиака | Гкал              | 10,07    |
| Потребление природного газа 1 тонну аммиака                 | нм <sup>3</sup>   | 1275,00  |
| Электроэнергия 1 тонну аммиака                              | кВт-ч             | 159,00   |
| Подпиточная вода 1 тонну аммиака                            | м <sup>3</sup>    | 3,65     |



Исследование включало две наилучшие доступные технологии (НДТ), основные параметры которых согласно ИТС 2-2019 представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики исследуемых НДТ

| Характеристики                                            | НДТ 1                                                     | НДТ 2                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Описание мероприятия                                      | Техническое перевооружение горелок трубчатой печи         | Реконструкция компрессора синтез-газа                                                                               |
| Этап производства                                         | Риформинг природного газа                                 | Компрессия синтез-газа                                                                                              |
| Капитальные затраты                                       | 57,364 млн руб. на 2015 год                               | 113,2 млн руб. на 2010 год                                                                                          |
| Капитальные затраты с учетом инфляции на ноябрь 2021 года | 74,964 млн руб.                                           | 224,584 млн руб.                                                                                                    |
| Энергоэффективность и ресурсосбережение                   | Снижение расходного коэффициента по газу примерно на 4%   | Снижение удельного потребления энергии примерно на 0,162 Гкал/т аммиака, уменьшение потребления пара примерно на 5% |
| Обоснование экономического эффекта                        | Повышение коэффициента полезного действия трубчатой печи  | Увеличение производительности агрегата                                                                              |
| Примечание                                                | Установка современных инжекционных горелок, взамен старым | Модернизация проточной части компрессора                                                                            |

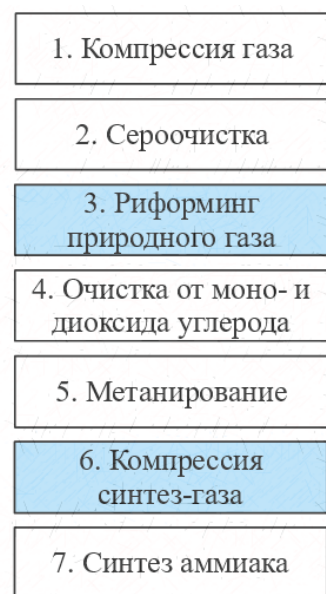


Рисунок. Блок-схема технологического процесса производства аммиака

В дальнейшем уменьшение расхода пара не учитывалось, ввиду отсутствия данных по его расходу. На рисунке цветом отмечены этапы производства, для которых применимы НДТ 1 и НДТ 2.

Основываясь на представленной в ИТС информации, была произведена технико-экономическая оценка двух рассматриваемых технологий. На основе данных по капитальным затратам были рассчитаны инвестиционные затраты, значения которых представлены в таблице 3.

Расчет эксплуатационных затрат включал в себя: техническое обслуживание и ремонт оборудования; оплату труда с учетом фонда оплаты труда и единого социального налога; затраты на ресурсы для производства аммиака. Последнее учитывается согласно описанию второй НДТ и принимается равным дополнительной выработке аммиака в 3650 т/год. Потребление тепловой энергии, с учетом внедрения НДТ, а также электроэнергии и подпиточной воды на производство дополнительных тонн аммиака было рассчитано с учетом данных таблицы 1 и местных тарифов на ресурсы. Полученные значения приведены в таблице 4.

Таблица 3. Структура инвестиционных затрат

| № п/п | Наименование статьи затрат                   | НДТ 1                | НДТ 2                | Примечание |
|-------|----------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------|
|       |                                              | Стоимость, тыс. руб. | Стоимость, тыс. руб. |            |
| 1     | Затраты на оборудование                      | 74 964               | 224 584              |            |
| 2     | Разработка проекта                           | 29 986               | 89 834               | 40% от п.1 |
| 3     | Монтажные и пусконаладочные работы           | 11 245               | 33 688               | 15% от п.1 |
| 4     | Транспортно-заготовительные работы           | 5 248                | 15 721               | 7% от п.1  |
| 5     | Обучение                                     | 3 748                | 11 229               | 5% от п.1  |
| 6     | Прочие расходы                               | 2 631                | 7 121                | 3% от п.1  |
|       | <b>Итого: Общие инвестиции I<sub>0</sub></b> | <b>127 823</b>       | <b>382 177</b>       |            |

Таблица 4. Структура эксплуатационных затрат

| №<br>п/п     | Наименование статьи затрат                         | НДТ 1                   | НДТ 2                   | Примечание                    |
|--------------|----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|              |                                                    | Стоимость,<br>тыс. руб. | Стоимость,<br>тыс. руб. |                               |
| 1            | Техническое обслуживание и ремонт                  | 7 496                   | 22 458                  | 10% от стоимости оборудования |
| 2            | Оплата труда для 4 человек                         | 2 500                   | 2 500                   |                               |
| 3            | Затраты на ресурсы для производства 3650 т аммиака | -                       | 68 779                  |                               |
| <b>Итого</b> |                                                    | <b>9 996</b>            | <b>93 737</b>           |                               |

Для определения годовой экономии от внедрения НДТ затраты на энергию и природный газ рассчитаны по таблице 1, исходя из местных тарифов и достигнутой производственной мощности в 583 тыс. т/год.

Также было учтено, что в зависимости от произведенной марки аммиака цена за одну тонну на рынке может изменяться и составлять – 45 тыс. руб.; 23,5 тыс. руб.; 8,8 тыс. руб.; 16 тыс. руб. Было принято, что дополнительно произведенный аммиака реализуется по средней цене.

Экономия от внедрения каждой НДТ представлена в таблице 5.

Таблица 5. Общая чистая годовая экономия

| Мероприятия                                                        | НДТ 1                      |                             | НДТ 2       |                             |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|
|                                                                    | Количество                 | Стоимость,<br>тыс. руб./год | Количество  | Стоимость,<br>тыс. руб./год |
| Экологические сбережения от сокращения потребления природного газа | 29 733 000 нм <sup>3</sup> | 147 684                     | -           | -                           |
| Экологические сбережения от увеличения энергоэффективности         | -                          | -                           | 94 446 Гкал | 171 797                     |
| Доход от реализации дополнительно произведенного аммиака           | -                          | -                           | 3 650 т     | 85 136                      |
| Общие сбережения/ доход                                            | -                          | 147 684                     | -           | 256 933                     |
| Эксплуатационные расходы                                           | -                          | -9 996                      | -           | -93 737                     |
| <b>Итого: Чистая экономия В</b>                                    | -                          | <b>137 688</b>              | -           | <b>163 196</b>              |

Простой период окупаемости для НДТ 1 составляет 0,6 года, а для НДТ 2 – 2,3. Поскольку первая технология имеет меньший срок окупаемости, вторая приводит к дополнительной выработке аммиака, а обе технологии применяются на различных участках производства, то рекомендовано внедрение обеих НДТ. Таким образом, НДТ 3 включает в себя и техническое перевооружение горелок трубчатой печи, и реконструкцию компрессора синтез-газа. Инвестиционные и эксплуатационные затраты на ее внедрение, а также значение чистой экономии равно сумме соответствующих значений НДТ 1 и НДТ 2.

Расчет рентабельности проекта производился на основе значений НДТ 3. Таблица 6 содержит результаты расчетов, при условии соблюдения реальной процентной ставки в 20% и экономического срока службы, равного 10 лет.

Таблица 6. Рентабельность внедрения двух технологий

| Наименование                    | Обозначение    | Единица измерения | Величина |
|---------------------------------|----------------|-------------------|----------|
| Общие инвестиции                | I <sub>0</sub> | тыс. руб.         | 510 000  |
| Чистая экономия                 | В              | тыс. руб./год     | 300 884  |
| Период окупаемости              | PB             | год               | 1,7      |
| Динамический период окупаемости | DPB            | год               | 2,6      |
| Чистый дисконтированный доход   | NPV            | тыс. руб.         | 583 030  |
| Индекс доходности               | PI             | -                 | 1,1      |
| Внутренняя норма рентабельности | IRR            | %                 | 30       |

Согласно значениям индекса доходности (Profitability Index, PI) и внутренней нормы доходности (Internal Rate of Return, IRR) проект НДТ 3 считается рентабельным. При его внедрении потребление энергии на производство одной тонны аммиака составит 9,91 вместо проектных 10,07 Гкал, а природного газа 1224 нм<sup>3</sup> вместо 1275. Срок окупаемости составляет 2 года и 8 месяцев.

### **Литература**

1. ИТС 2-2019. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. – Введен 01.03.2020. – М.: Бюро НДТ. – 2019. – 836 с.

УДК 504.054

## УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Калошина О.О.<sup>1</sup>** (студент)

**Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: kaloshina\_olesya@mail.ru

---

В работе рассмотрена стратегия Российской Федерации, мероприятия и цели компаний в отрасли информационных технологий в области сокращения выбросов парниковых газов. Представлены предварительные результаты расчета косвенных выбросов углекислого газа от использования информационных технологий государственной организацией и приведены дальнейшие задачи исследования.

**Ключевые слова:** углеродный след, выбросы углекислого газа, парниковые газы, информационные технологии, косвенные выбросы.

---

В настоящее время одной из наиболее значимых экологических проблем в мире является парниковый эффект, связанный, в первую очередь, с выбросами углекислого газа. Данная проблема приводит к повышению средней температуры на поверхности Земли и, соответственно, к изменению климата. Согласно отчету «BP Statistical Review of World Energy» за 2018 год в мире было выброшено около 33 891 миллиона тонн CO<sub>2</sub>, связанного с потреблением традиционной энергией [1]. Многие страны и компании осознают свою ответственность и уже сейчас создают, и реализуют стратегии по снижению выбросов парниковых газов (ПГ). В Российской Федерации, например, был подготовлен проект Стратегии развития России с низким уровнем выбросов ПГ до 2050 года, в котором планируется сократить выбросы до 48% от уровня 2020 года. Стратегия будет реализовываться за счет регулирования выбросов, обеспечения баланса воспроизводства лесов, увеличения доли использования возобновляемых источников энергии, масштабной электрификации и цифровизации транспорта и технологических процессов в отраслях [2].

Помимо этого, такие компании, как Apple, Amazon, Google и Facebook повышают энергоэффективность своих центров по обработке данных, составляющих 0,3% выбросов от сферы информационных технологий (ИТ), которая выделяет 2% от общего объема углекислого газа [3]. Также Microsoft поставила перед собой задачу уменьшить выбросы на половину к 2030 году, а к 2050 удалить из атмосферы выделенный с 1975 года CO<sub>2</sub>. Поставленную цель компания стремится достичь путем полного перехода на возобновляемые источники энергии, электрификации транспорта, а также инвестиций в мероприятия и разработку технологий по сокращению и удалению углерода [4].

Выбросы ПГ в сфере ИТ, как и в других отраслях, могут быть классифицированы следующим образом:

1. Прямые выбросы от источников, принадлежащих организации.
2. Косвенные выбросы от закупаемых организацией электроэнергии и тепла.
3. Иные косвенные выбросы, образованные от добычи и производства закупаемых материалов и услуг, включая не принадлежащие организации транспортные средства и деятельность внешних подрядчиков [5].

ИТ-компании уделяют особое внимание мероприятиям, направленным на снижение ПГ, и в зависимости от поставленных целей они могут достичь нулевого или отрицательного

---

выброса CO<sub>2</sub>, то есть стать углерод-нейтральными или углерод-негативными организациями. Во втором случае подразумевается, что компания удаляет из атмосферы больше углекислого газа, чем производит, путем мероприятий по лесовосстановлению и финансированию технологий нейтрализации ПГ [3, 4]. Другим мероприятием является декарбонизация, представляющая собой комплекс мер, направленных на переход к возобновляемой энергетике и сокращению использования традиционных видов энергии [3].

Инструментом, позволяющим определить воздействие той или иной компании, страны и региона, является углеродный след. Он учитывает выбросы всех парниковых газов, представляя результат в тоннах CO<sub>2</sub>-эквивалента. Исследование государственной организации представляет особый интерес, поскольку объект исследования в большей степени связан с информационными технологиями и в меньшей с экологией. С учетом технических возможностей был проведен предварительный расчет косвенных выбросов от приобретения электроэнергии. Таким образом, за 2017 год углеродный след исследуемого объекта составил от 53 до 76 тонн. Данные значения были получены, исходя из работы более чем 280 стационарных компьютеров и 210 сканеров и принтеров, с учетом рабочих дней.

Дальнейшими задачами являются окончание инвентаризации техники, подразумевающее включение в расчет серверных шкафов, камер видеонаблюдения, информационных табло и других технических средств, относящихся к цели исследования. Расчет углеродного следа организации с 2017 по 2021 года согласно Методическим указаниям и руководству по количественному определению объема выбросов ПГ организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации, а также представление технико-экономического обоснования мероприятий по снижению выбросов ПГ.

## Литература

1. BP Statistical Review of World Energy. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.europeangashub.com/wp-content/uploads/2019/06/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (дата обращения: 21.12.2021).
2. Минэкономразвития России подготовило проект Стратегии долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://economy.gov.ru/material/news/minekonomrazvitiya\\_rossii\\_podgotovilo\\_proekt\\_strategii\\_dolgosrochnogo\\_razvitiya\\_rossii\\_s\\_nizkim\\_urovnem\\_vybrossov\\_parnikovyh\\_gazov\\_do\\_2050\\_goda\\_.html](https://economy.gov.ru/material/news/minekonomrazvitiya_rossii_podgotovilo_proekt_strategii_dolgosrochnogo_razvitiya_rossii_s_nizkim_urovnem_vybrossov_parnikovyh_gazov_do_2050_goda_.html) (дата обращения: 20.12.2021).
3. Информационные технологии в экологии: почему важно стремиться к углеродной нейтральности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/carbon-neutrality-how/> (дата обращения: 22.12.2021).
4. Microsoft will be carbon negative by 2030. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/> (дата обращения: 21.12.2021).
5. Корпоративные стратегии углеродного регулирования: Обзор климатических обязательств мировых компаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/f55d57f8dcbb8ec195b1575e857610dc/03062021.pdf> (дата обращения: 20.12.2021).

УДК 504.064.47

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГРУНТА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ КОМПСТИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

*Карсакова Е.О.<sup>1</sup> (студент), Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель – Забелина А.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Университет ИТМО*

*e-mail: elena.carsackowa2012@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИРМА № 620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов циркулярной экономики».*

---

В работе рассмотрены нормативно-правовые аспекты применения технологического грунта, полученного путем компстирования твердых коммунальных отходов, с целью его применения для рекультивации несанкционированных свалок; приведен перечень показателей грунта в соответствии с заявленной целью использования в качестве изолирующего материала, а также перечень возможных контролируемых показателей в соответствии с планируемой целью использования в качестве рекультиванта.

**Ключевые слова:** техногенный грунт, компстирование, твердые коммунальные отходы, несанкционированная свалка.

---

Проблема восстановления нарушенных земель носит на территории Российской Федерации глобальный характер. Каждый год в стране образуется примерно 55 – 65 млн.т. ТКО, а на одного человека в среднем приходится до 450 кг отходов в год. В странах Европейского союза уровень переработки ТКО достигает 60%, в то время как в России он составляет всего 5 – 7% [1]. Большая часть мусора в нашей стране направляется в лучшем случае на полигоны, а в худшем – на свалки.

На декабрь 2021 года на территории только Ленинградской области было зафиксировано 760 несанкционированных свалок (НС). Сложности в их ликвидации и обеспечении последующей рекультивации связаны с рядом технических и организационных проблем (отсутствие необходимого транспорта для вывоза отходов на лицензированный полигон, отсутствие финансирования на приобретение средств для рекультивации и т.д.). Как правило, вывоз несанкционированных отходов и восстановление нарушенных земель проводится за счет средств местной администрации, на чьих землях расположена свалка.

Целью данной статьи является изучение нормативно-правовой базы по вопросам законодательства по обращению с отходами, компстирования остатков сортировки твердых коммунальных отходов для оценки возможности применения техногенного грунта, полученного путем компстирования твердых коммунальных отходов (ТКО) на предприятии ООО «Новый Свет-ЭКО» (Гатчинский район), для восстановления земель лесного фонда в случае обнаружения и удаления последствий несанкционированного размещения отходов.

Согласно ГОСТ 25100-2020 «техногенный грунт – это грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека» [2].

Основным сырьем для производства грунта техногенного являются остатки сортировки твердых коммунальных отходов (так называемая «органо-минеральная фракция»). В

соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов остатки сортировки также относятся к твердым коммунальным отходам. Остатки сортировки образуются в ходе обработки ТКО и составляют 35 – 65% по массе (тонн) от общего количества поступивших на линию сортировки отходов за минусом технологических потерь. Процент отсеянной фракции зависит от происхождения отходов, компонентного состава, сезона их образования и других факторов. Остальная часть ТКО составлена из полезных фракций – вторичных материальных ресурсов, из которых может быть произведена новая товарная продукция (полимеры, бумага, черный и цветной металлы, картон, щепа, твердое топливо из отходов и т.д.).

В связи с большим количеством образования остатков сортировки ТКО актуален вопрос их утилизации методом компостирования для последующего использования в качестве материала для рекультивации действующих полигонов размещения отходов или земель, нарушенных в результате организации несанкционированных свалок. Важно отметить, что компостирование как наилучшая доступная технология отмечено в информационно-техническом справочнике «17-2021. Размещение отходов производства и потребления» в качестве технологии, которую необходимо использовать при эксплуатации полигонов [3].

Организация участка компостирования для производства грунта техногенного помогает решить проблему снижения количества отходов, поступающих на полигон с целью размещения.

На объекте размещения отходов (полигон) ООО «Новый Свет-ЭКО» производство продукции осуществляется на основании разработанного технологического регламента [4], в котором установлены методы производства, технологические нормативы и условия процесса, обеспечивающего получение готовой продукции с показателями качества, отвечающими требованиям стандартов.

Технология производства основана на методе буртового компостирования, которое производится на открытом участке. С приемной площадки погрузчик перемещает исходный материал (остатки сортировки). Далее в буртах происходит аэробное разложение органических компонентов с выделением тепла. При компостировании продукт уменьшается в объеме и массе. После компостирования наступает период стабилизации. В среднем 60 дней – компостирование и 120 дней стабилизация. Возможно покрытие буртов специальной мембраной, с целью ускорения срока производства готовой продукции.

После окончания стабилизации техногрунт перемещается на площадку отгрузки готового продукта и далее используется по назначению. На данный момент продукт используется в качестве изолирующего материала для промежуточной послойной и окончательной рекультивации полигона ТКО.

В соответствии с заявленной целью использования готовый продукт должен соответствовать показателям, представленным в таблице 1 [4].

Таблица 1. Физико-химические показатели готового продукта

| № | Наименование показателя           | Характеристика и норма                                                  |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Внешний вид                       | Рыхлая сыпучая масса                                                    |
| 2 | Цвет                              | Черный                                                                  |
| 3 | Влажность                         | Не более 70%                                                            |
| 4 | Содержание органического вещества | Менее 50%                                                               |
| 5 | Насыпной вес                      | 900 кг/м <sup>3</sup>                                                   |
| 6 | pH водной вытяжки                 | 5,6 – 7,5                                                               |
| 7 | Концентрации металлов:            | Не более миграционного водного показателя вредности ( $K_{max}$ )       |
| 8 | Индекс токсичности                | $I_{TR} \geq 80\%$                                                      |
| 9 | Чувствительность дафний           | При разбавлении менее 100 гибель дафний не более 10% в течение 96 часов |

Продолжение таблицы 1

| №  | Наименование показателя                                                                                       | Характеристика и норма                                                                                                                |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | Кожно-резорбтивное, сенсibiliзирующее действие                                                                | Отсутствует                                                                                                                           |
| 11 | Бенз(а)пирен                                                                                                  | Не более 5 ПДК                                                                                                                        |
| 12 | Раздражающее действие:<br>- на кожу: - однократное,<br>- повторное,<br>- на слизистые оболочки                | 0<br>0<br>отсутствует                                                                                                                 |
| 13 | Острая токсичность:<br>- при в/ж введении,<br>- летучих компонентов при статическом ингаляционном воздействии | DL50>5000,0 мг/кг<br>Летучие компоненты не оказывают раздражающего воздействия на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей |

По санитарно-бактериологическим и паразитологическим показателям грунт техногенный должен соответствовать параметрам, представленным в таблице 2 [4].

Таблица 2. Санитарно-бактериологические и паразитологические показатели

| № п.п | Нормативные санитарно-бактериологические и паразитологические показатели | Показатель                                                                          | Единицы измерения |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1     | Индекс бактерии группы кишечной палочки (БГКП)                           | 1-1000                                                                              | КОЕ/кг            |
| 2     | Индекс энтерококков                                                      | 1-1000                                                                              | КОЕ/кг            |
| 3     | Патогенная кишечная флора, в т.ч. сальмонеллы                            | Не допускаются                                                                      | Кл/г              |
| 4     | Паразитарная чистота                                                     | Не должно содержаться яиц, личинок гельминтов и цист кишечных патогенных простейших | —                 |

Контроль показателей осуществляется экспериментально в лабораторных условиях.

Следует отметить, что эти значения допустимы для использования готового продукта в качестве материала для укрытия (т.е. промежуточной и окончательной изоляции) откосов и отработанных карт полигона, однако, для использования грунта техногенного в качестве материала для рекультивации нарушенных земель сельскохозяйственного назначения или лесного фонда контролируемые компоненты должны быть выбраны и обоснованы.

О контролируемых компонентах для использования готового компоста в качестве материала для рекультивации несанкционированных свалок можно судить по ГОСТ Р 55571-2013 «Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов» [5]. Стоит сделать оговорку, что в 2014 году федеральным законом 458-ФЗ вместо понятия «твердые бытовые отходы» было введено более широкое понятие «твердые коммунальные отходы».

В ГОСТ Р 55571-2013 содержатся требования по физико-механическим, агрохимическим, токсикологическим, ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям удобрений, произведенных из ТКО. Данные представлены в таблице 3 [5]. Данный ГОСТ – единственный стандарт, в котором содержатся требования к органическим удобрениям, произведенным конкретно из ТКО. Конкретных отдельных стандартов по требованиям к компосту пока что не было разработано.

Вышеперечисленные показатели важны при оценке качества компоста из ТКО. Если исходное сырье изначально не будет соответствовать требованиям, тогда будет необходима дополнительная переработка сырья.



Таблица 3. Показатели удобрений из ТКО и их нормы

| № п.п | Наименование показателя                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Норма                                            |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1     | Массовая доля примесей токсических элементов (валовое содержание), мг/кг сухого вещества, не более:<br>- свинец<br>- кадмий<br>- цинк<br>- медь<br>- никель<br>- хром<br>- ртуть<br>- мышьяк                                                                                                                             | 200<br>5<br>500<br>300<br>100<br>300<br>10<br>10 |
| 2     | Массовая концентрация бенз(а)пирена, мг/кг сухого вещества, не более                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,02                                             |
| 3     | Удельная эффективная активность природных радионуклидов, БК/кг сухого вещества, не более                                                                                                                                                                                                                                 | 300                                              |
| 4     | Удельная эффективность техногенных радионуклидов, не более                                                                                                                                                                                                                                                               | 1 отн. ед.                                       |
| 5     | Массовая концентрация остаточных количеств пестицидов в сухом веществе, мг/кг, не более:<br>- ГХГЦ (сумма изомеров)<br>- ДДТ и его метаболиты (суммарные количества)                                                                                                                                                     | 0,1<br>0,1                                       |
| 6     | Индекс санитарно-показательных микроорганизмов, кл/г:<br>- колиформы<br>- энтеробактерии                                                                                                                                                                                                                                 | 1 – 9<br>1 – 9                                   |
| 7     | Наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, в т.ч. энтеробактерий, энтерококков, энтеровирусов, кл/г                                                                                                                                                                                                            | Не допускается                                   |
| 8     | Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, в том числе нематод, трематод, цестод                                                                                                                                                                                                                                   | Не допускается                                   |
| 9     | Цисты кишечных патогенных простейших                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Не допускается                                   |
| 10    | Размер частиц удобрения, мм, не более                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 25                                               |
| 11    | Содержание балластных, инородных механических включений, % от массы удобрения нормативной влажности, не более, в т.ч. содержание частиц стекла размером:<br>- 3–5 мм, не более<br>- 5–10 мм, не более<br>- более 10 мм<br>Содержание полимерных материалов, не более<br>Содержание прочих балластных включений, не более | 1,5<br>0,2<br>Не допускается<br>0,8<br>2,5       |
| 12    | Массовая доля влаги, %, не более                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 50                                               |
| 13    | Массовая доля органического вещества на сухой продукт, %, не менее                                                                                                                                                                                                                                                       | 45                                               |
| 14    | Показатель активности водородных ионов солевой суспензии, ед. рН                                                                                                                                                                                                                                                         | 6 – 8                                            |

Если полученный техногенный грунт соответствует данным требованиям, то он будет пригоден для выращивания технических, кормовых, зерновых, сидеральных, цветочных, декоративных культур.

Если же полученный продукт не будет отвечать нормативным требованиям к содержанию тяжелых металлов, он все еще может быть использован, к примеру, для окультуривания истощенных почв, рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, рекультивации несанкционированных свалок отходов. Однако, дозирование техногенного грунта, соотношение к общему количеству используемого природного грунта для целей восстановления нарушенных земель зависит от конкретных превышений показателей и рассчитывается для каждого случая применения отдельно [5].

Изучение нормативно-правовой базы в области обращения с отходами, компостирования остатков сортировки твердых коммунальных отходов показало, что возможность использования данных отходов в качестве рекультиванта существует. Наличие большого количества несанкционированных свалок придает данной теме исследования большую значимость.

На предприятии ООО «Новый Свет-ЭКО» уже организован участок компостирования твердых коммунальных отходов буртовым способом, и на данный момент полученный технологический грунт при условии соответствия всем необходимым показателям используется в качестве материала укрытия откосов полигона. Однако, при выборе контролируемых показателей и проведении лабораторных исследований на их соответствие может быть выявлена перспективная возможность использования данного техногенного грунта для восстановления земель лесного фонда в случае обнаружения и удаления последствий несанкционированного размещения отходов.

### Литература

1. Российский экологический оператор: Промежуточные итоги реализации реформы в сфере ТКО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/Презентация%20Гудкова%20И.Э..pdf> (дата обращения: 23.12.2021).
2. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – Введен 01.01.2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302> (дата обращения: 25.01.2022).
3. ИТС НДТ 17-2021. Размещение отходов производства и потребления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1669&etkstructure\\_id=1872](http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1669&etkstructure_id=1872) (дата обращения: 23.02.2022).
4. Технологический регламент производства грунта техногенного. Новый Свет, Новый Свет. – 2017. – 23 с.
5. ГОСТ Р 55571-2013. Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов. Технические условия. – Введен 01.01.2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200105940> (дата обращения: 15.01.2022).

УДК 66.061

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТА АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ (ARONIA MELANOCARPA)

*Кийски В.Д.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук Яковченко Н.В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: vitalina.kiiski@gmail.com, nviakovchenko@itmo.ru*

---

В данной работе рассмотрен вопрос использования рябины черноплодной в качестве источника антоцианов. Был определен рассматривается рябина черноплодная, как источник антоцианов, а также определен наиболее подходящий способ экстракции антоцианов по их количественному выходу.

**Ключевые слова:** черноплодная рябина, антоцианы, спектрофотометрия, экстракт, растворители.

---

Арония черноплодная относится к растениям, плоды которых наиболее богаты полифенольными соединениями и антоцианами, в частности. Из-за специфичного вкуса плоды черноплодной рябины редко употребляются в сыром виде. Использование такого растительного сырья для создания новых продуктов питания имеет ряд преимуществ за счет высокой биоактивности и биодоступности содержащихся в нем активных компонентов питания.

Арония черноплодная обладает богатой историей, берет начало в Северной Америке. Впервые аронию, как плодовую культуру, высоко оценил И.В. Мичурин. Черноплодная рябина, которая произрастает на территории Российской Федерации, обладает более привлекательным видом, высокой урожайностью, лучшими органолептическими показателями, по сравнению с другими сортами.

Рябина черноплодная является лекарственным растением, обладает рядом фармакологических свойств. В значительной мере на эти свойства растения влияют такие факторы как зона произрастания, сорт, погодные условия, а также степень зрелости плодов.

Черноплодная рябина богата антоцианами. Антоцианы являются веществами флавоноидной структуры, обладают антиокислительной активностью, которая важна при лечении целого ряда серьезных заболеваний. Антоцианины представляют собой 3-гликозидные производные полиоксифлавилиевых солей – антоцианидинов. В настоящее время в природе идентифицировано около 275 антоцианидинов. Известно 22 антоцианидина, из которых 18 идентифицировано в природе. Но только 6 из них – пеларгонидин, цианидин, дельфинидин, пеонидин, петунидин и мальвидин – характерны для пищевых продуктов. Таким образом, включение антоцианов аронии в функциональный продукт будет являться источником жизненно необходимых веществ, которые нужны для обеспечения физиологических потребностей организма (активация обмена веществ на клеточном уровне, уменьшение проницаемости капилляров, повышение эластичности сосудов и др.) [1].

Обогащение пищевых продуктов различными БАВ широко используется в настоящее время. Это является эффективным и целесообразным путем повышения биологической ценности продукта, таким образом происходит обогащение рациона недостающими биологически активными веществами.

Целью исследования является определение оптимального способа экстракции антоцианов по их количественному выходу. Объектом исследования являлись ягоды черноплодной рябины. Метод выделения, который был использован, – экстракция.

Преимущества этого метода определяются высокой избирательностью, чистотой разделения, возможностью работать с как с малыми концентрациями, так и с большими. Известно, что выход вещества зависит от вида применяемого растворителя и продолжительности процесса. В качестве растворителя могут быть использованы: соляная, молочная, лимонная кислоты, этиловый спирт/этиловый спирт в сочетании с различными кислотами для того, чтобы регулировать активную кислотность среды, глицерин, дистиллированная вода [2].

Аналитической практикой доказано, что наилучшим растворителем антоцианов является 0,1 процентный HCl в метаноле. Однако, в условиях пищевых производств использование этого летучего ядовитого растворителя затруднено. В практике получили распространение вода и этиловый спирт, именно эти растворители использовались в работе [3].

Для измерения количества антоцианов были приготовлены экстракты на основе дистиллированной воды и этилового спирта (96%) путем измельчения ягод и разбавления в растворе в соотношении 1:2. Так как антоцианы термолабильны, нельзя проводить процесс экстракции при высокой температуре. Известно, что антоцианы остаются стабильными при нагревании до 80°C. На основании результатов проведенных предварительных исследований, была выбрана температура 60°C, и продолжительность нагревания на водяной бане 45 – 50 минут.

Количественный метод определения антоцианов – спектрофотометрический. Метод основан на стабилизации окраски сусла и последующем изменении оптической плотности. Оптическая плотность измеряли при длине волны 530 нм, с использованием кюветы с толщиной 1 см. Данный метод позволил сделать вывод о выходе антоцианов при применении различных растворителей при одинаковых параметрах: температуре нагревания, продолжительности нагревания, длине волны (таблица).

Таблица. Оптическая плотность образцов

| Экстрагент            | Оптическая плотность, А |
|-----------------------|-------------------------|
| Дистиллированная вода | 2,387                   |
| Этиловый спирт        | 2,395                   |

Обработку данных спектрофотометрического анализа проводили с использованием формулы

$$C = A * K,$$

где С – содержание антоцианов (мг/дм<sup>3</sup>),  
 К – переводной коэффициент (К = 1056,7),  
 А – оптическая плотность.

Содержание антоцианов в рябине черноплодной составляет 38 мг/100г рябины (экстрагент – вода), 44 мг/100г (экстрагент – этиловый спирт). При суточной потребности для взрослого человека в антоцианах в 15 – 30 мг, 100 г рябины черноплодной могут обеспечить нужный уровень данного вещества для поддержания здоровья человека, что приравнивается к 200мл полученного экстракта.

В результате проведенных экспериментов был осуществлён обзор существующих методов выделения и определения антоцианов, подобран способ экстракции с наибольшим выходом продукта и наименьшими затратами, применимый в пищевой промышленности.

## Литература

1. Блинова К.Ф. Растения для нас: учеб. пособие / К.Ф. Блинова. – 1-е изд. – СПб: Москва. – 2001. – 34 с.
2. Болотов В.М., Нечаев А.П., Сарафанова Л.А. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. – СПб:ГИОРД. – 2008. – 128 с.
3. Саввин П.Н., Игнатова К.С., Ломакина А.Э. Особенности выделения антоцианов спиртами алифатического ряда // Вестник ВГУИТ. – 2015. – №2. – 98 с.

УДК 536.6

# НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

*Колодийчук П.А.<sup>1</sup> (аспирант)**Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Пилипенко Н.В.<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: pkolodiychuk@itmo.ru

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования аккумуляторов тепловой энергии».*

Рассматривается параметрическая идентификация дифференциально-разностных моделей, которые учитывают различный характер внешнего воздействия и процессы, происходящие в системах тел. Рассмотрен способ установления доверительной области при восстановлении параметров теплообмена. Отличительной способностью является общий подход к составлению дифференциально-разностной модели теплопереноса для различных систем тел.

**Ключевые слова:** обратная задача теплопроводности, дифференциально-разностная модель, фильтр Калмана, матрица Грама, совместные доверительные интервалы и области восстанавливаемых параметров.

Теплометрия приобретает большое значение в широком разнообразии технических задач. Создание новых методов и приборов этой науки не останавливает её развитие. Порой наоборот, успехи в одной задаче толкают развитие науки всё дальше и дальше, порождая очередные вопросы и требования к решению задач. Область применения теплометрии выходит далеко за пределы измерений и исследований, касаясь таких сфер деятельности, как автоматизация, контроль тепловых режимов и т.д. Несмотря на большие темпы развития теории теплообмена, множество быстро меняющихся во времени процессов, в частности, установление граничных условий теплообмена, определение тепловых нагрузок и потерь в нефтегазовой отрасли, требует решения обратных задач теплопроводности (ОЗТ), которое связано с рядом трудностей и порой большой неопределенностью получаемых результатов.

В решении ОЗТ используется метод параметрической идентификации, при котором решение заключается в определении неизвестных коэффициентов математической модели, описывающей искомую величину [1]:

$$(\tau) = \sum_{j=1}^r q_j \varphi_j(\tau), \quad (1)$$

где  $\varphi_j(\tau)$  – система базисных функций,

$q_j$  – неизвестные коэффициенты.

$$\vec{Q} = |x_1 x_2 \dots x_r|^T. \quad (2)$$

Квадратичная функция невязки обобщенного метода наименьших квадратов имеет следующий вид:

$$\Phi(\vec{Q}) = \sum_{k=1}^r [\vec{Y}_k - \hat{\vec{Y}}_k(\vec{Q})]^T \cdot R^{-1} [\vec{Y}_k - \hat{\vec{Y}}_k(\vec{Q})], \quad (3)$$

В целом решение ОЗТ предложенным методом имеет в себе существенный недостаток, заключающийся в том, что минимизация функции невязки проводится итерационным одношаговым методом, требующим рассмотрение большого массива данных. Для ускорения расчетов был выбран рекуррентный фильтр Калмана (ФК), позволяющий проводить многошаговое решение.

В работе установлены зависимости для оптимальных оценок  $\hat{Q}_l$  и ковариационной матрицы ее ошибок  $P(\hat{Q}_l)(2 \times 2)$  [2]:

$$\hat{Q}_l = P(\hat{Q}_l) \cdot \sum_{k=1}^l \left( \frac{\partial Y_k}{\partial Q} \right)_{\hat{Q}_l}^T \cdot Y_k = P(\hat{Q}_l) \cdot \sum_{k=1}^l H_k^T \cdot Y, \quad (4)$$

$$P(\hat{Q}_l) = \left( \sum_{k=1}^l H_k^T R^{-1} H_k \right)^{-1}. \quad (5)$$

Введение ковариационной матрицы в формулу (5) преобразует её к следующему виду:

$$P(\hat{Q}_l) = \sigma^2 \cdot A_l, \quad (6)$$

$$\text{где } A_l = \sum_{k=1}^l H_k^T H_k = \left| \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m1k}^2 \quad \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m1k} \cdot U_{m2k} \quad \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m2k} \cdot U_{m1k} \quad \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m2k}^2 \right|, \quad (7)$$

Введем понятие характеристической ковариационной матрицы  $\underline{P}_l$  [1], которая имеет вид

$$\underline{P}_l = A_l^{-1} = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{21} & p_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11}^* & a_{12}^* & a_{21}^* & a_{22}^* \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Тогда выражение (8) для  $P(\hat{Q}_l)$  примет вид

$$P(\hat{Q}_l) = \sigma^2 \cdot A_l^{-1} = \sigma^2 \cdot \underline{P}_l, \quad (9)$$

$$A_l = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Доверительные интервалы  $\Delta q_a$  и  $\Delta q_b$  определяются по следующим зависимостям, в которых  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение [3]:

$$\Delta q_a = \pm \sigma \cdot \sqrt{\frac{a_{22} \cdot B}{|A|}}; \quad \Delta q_b = \pm \sigma \cdot \sqrt{\frac{a_{11} \cdot B}{|A|}}. \quad (11)$$

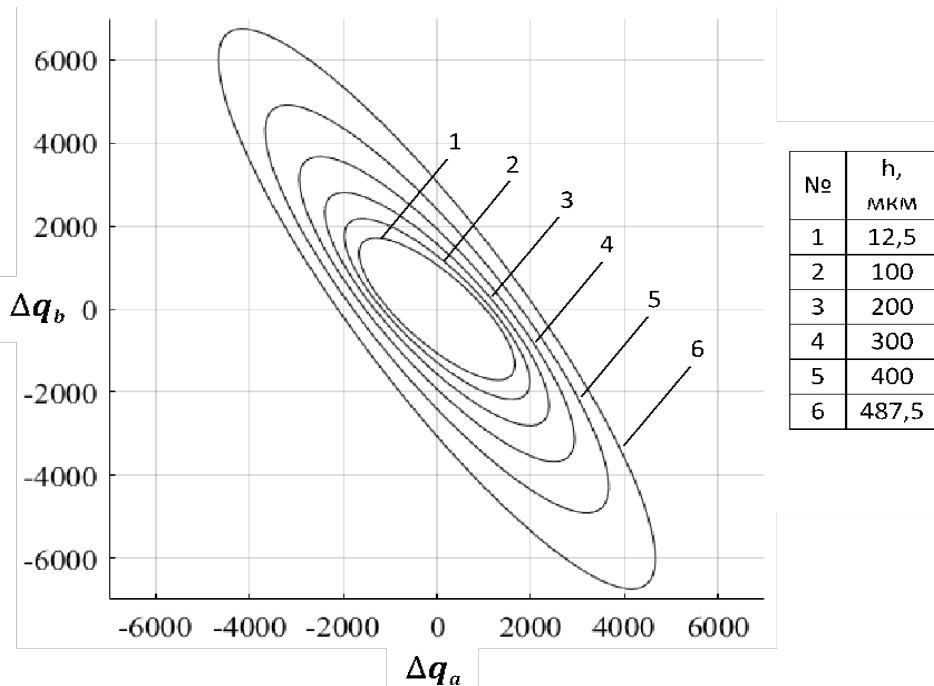


Рисунок. Совместные доверительные области восстановленного теплового потока

Величина доверительной области существенно зависит от того, в каком месте исследуемого объекта измеряется температура, а именно, на поверхности или на некоторой

глубине (в случае невозможности измерения температуры поверхности) [4]. На рисунке показаны совместные доверительные области при изменении  $h$  глубины расположения чувствительного элемента от поверхности.

Как видно из рисунка, чем больше  $h$ , тем больше совместная доверительная область.

В заключение отметим, что рассмотрена задача оценивания временной зависимости восстанавливаемого теплового потока на исследуемой поверхности по данным измерений нестационарной температуры; способ оценки неопределенности восстановления искомых параметров, основанный на использовании матрицы Грама при решении обратной задачи теплопроводности. Приведены результаты экспериментов по установлению доверительной области определяемых параметров.

## Литература

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. 927–1319.
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. – No.1. – Pp. 12–79.
3. Пилипенко Н.В. Использование расширенного фильтра Калмана в нестационарной теплотметрии 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.

УДК 620.97

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТЕПЛОВЫМ ПОТОКАМ ПРИ АККУМУЛИРОВАНИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

*Коломийцева А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Захарова В.Ю.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: alexandra.kolomiitseva@gmail.com*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования аккумуляторов тепловой энергии».*

---

В работе проводится обзор экспериментальных исследований веществ с фазовым переходом для аккумулирования тепловой энергии. В результате анализа раскрывается успешность использования данных видов материалов для аккумуляторов теплоты. Определяется эффективность использования различных по своему происхождению веществ с фазовым переходом. Обозначены методы повышения теплофизических характеристик необходимых для успешного аккумулирования тепловой энергии.

**Ключевые слова:** аккумулятор, фазовый переход, тепловая энергия, хранение энергии.

---

Постоянно растущий уровень выбросов продуктов горения в окружающую среду и рост стоимости энергии приводит к поиску методов повышения эффективности использования энергетических ресурсов. Одним из вариантов достижения данной цели является проектирование накопителей тепловой энергии – аккумуляторов теплоты. Их эксплуатация делает возможным сокращения расхода дефицитного топлива за счет минимизации потерь и рационализации использования энергетических ресурсов. Использование веществ с фазовым переходом является наиболее перспективным методом для хранения тепловой энергии.

Вещества с фазовым переходом (ВФП) – это материалы, процесс плавления и затвердевания которых происходит при постоянной температуре, способные хранить и высвобождать большое количество энергии при фазовом переходе.

Аккумулирование скрытой теплоты основано на поглощении или выделении тепла, когда аккумулирующий материал претерпевает фазовый переход из твердого состояния в жидкое, из жидкого в газообразное, из твердого в газообразное или из твердого в газообразное и наоборот. Наиболее распространенными фазовыми переходами, используемыми в системах хранения скрытой теплоты, являются фазовые переходы твердое тело-жидкость из-за большой плотности накопления тепла и небольшого изменения объема между фазами. Эти типы материалов часто классифицируются как неорганические, органические и эвтектические материалы с фазовым переходом [1].

Однако, вещества с фазовым переходом (высокотемпературные, низкотемпературные) часто имеют низкие коэффициенты теплопроводности, которые обуславливают низкий КПД, созданных на их основе, тепловых аккумуляторов. Таким образом, для возможности широкомасштабного использования аккумуляторов теплоты, требуется повышение тепловой энергоемкости материалов на основе веществ с фазовым переходом.

Целью данной работы является рассмотреть возможные методы повышения тепловых и энергетических характеристик веществ с фазовым переходом.

Использование расширенного графита как добавки для повышения эффективности системы рассматривается как один из методов развития области теплового



аккумулирования [2]. Парафиновый воск представляет собой один из наиболее предпочтительных вариантов для использования его в качестве ВФП, так как характеризуется не токсичностью, стойкостью к коррозии и дешевизной производства. Улучшить его теплофизические характеристики позволяет создание композитных веществ с фазовым переходом. Это возможно путем использования расширенного графита. Расширенный графит может являться подходящей матрицей из-за рыхлости структуры и наличия способности к адсорбции. В результате оценки характеристик композитных ВФП на основе парафина с добавками графита, можно сделать вывод об улучшении их показателей теплопроводности. Сравнительный анализ кривых процессов разрядки и зарядки для чистого парафина и композитных ВФП показывает, что скорость нагрева парафина с добавками графита выше, чем у образцов из чистого парафинового воска.

Также для синтеза композитов на основе парафина используются карбид кремния (SiC) и наночастицы серебра (Ag) [3]. Для этого различные массовые доли данных веществ внедряются в парафин. В результате исследования нанокompозитов были получены данные об улучшении показателей теплопроводности веществ. Например, некоторые образцы композитов парафин-карбид кремния обладают на 58% более высокой теплопроводностью, чем чистый парафин. Однако, стоит отметить снижение температуры плавления и удельной теплоемкости у рассматриваемых композитов.

Важным методом повышения эффективности аккумулирования тепловой энергии является сокращение времени фазового перехода. Время затвердевания веществ с фазовым переходом можно сократить путем внедрения в них наночастиц меди, алюминия, диоксида кремния. Время прохождения фазового перехода при этом снижается на 5 – 10% по сравнению с чистым ВФП. Скорость теплопередачи также может вырасти с увеличением концентрации графита в композитных ВФП [4].

Рассмотрение гептадекана в качестве вещества с фазовым переходом для накопления тепловой энергии ограничивается из-за высокой вероятности его утечки во время фазового перехода. Данная проблема решается путем микрокапсулирования веществ с фазовым переходом. Данная технология характеризуется обеспечением высокой стабильности теплового цикла, увеличением поверхности теплопередачи. В качестве примера можно привести инкапсуляцию гептадекана в карбонат кальция [5]. Полученные сферические микрокапсулы имели высокую химическую стабильность и стабильность течение 1000 циклов из исследования. Повышенные показатели теплопроводности данных микрокапсул, по сравнению с показателями чистого гептадекана, позволили сократить время выделения тепловой энергии.

При использовании инкапсуляции следует учитывать массовую долю оболочки. Теплопроводность капсул увеличивается при высоком соотношении массы оболочки к массе ядра, если теплопроводность оболочки превосходит теплопроводность ядра. Также создание гибридных оболочек, то есть оболочек, состоящих из более чем двух разных материалов, позволяет получить линейный рост теплопроводности [4].

Рассмотренные выше методы, направленные на улучшение свойств веществ с фазовым переходом, можно обозначить как практически применимые для аккумулирования тепловой энергии. Внедрение добавок и метод инкапсуляции позволяют изменять показатели теплопроводности, теплоемкости, скрытой теплоты, температуры плавления и затвердевания, химической и термической стабильности, стабильности в циклических процессах, времени фазового перехода.

Выбор способа улучшения теплофизических характеристик зависит от конструкции прибора и сферы эксплуатации.

## Литература

1. Oro E., Gracia A.D., Castell A., Farid M.M., Cabeza L.F. Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications // *Applied Energy*. – 2012. – V.99. – Pp. 513–533.

2. Jin Y., Wan Q., Ding Y. PCMs heat transfer performance enhancement with expanded graphite and its thermal stability // *Procedia Engineering*. – 2015. – №102. – Pp. 1877–1884.
3. Maher H., Rocky K.A., Bassiouny R., Saha B., Saha B. Synthesis and thermal characterization of paraffin-based nanocomposites for thermal energy storage applications // *Thermal science and engineering*. – 2021. – №22. – 100797.
4. Radomska E., Mika L., Sztekler K. The Impact of Additives on the Main Properties of Phase Change Materials // *Energies*. – 2020. – №13. – Pp. 3064.
5. Sari A.S., Saleh T.A., Hekimoğlu G., Tyagi V.V., Sharma R. Microencapsulated heptadecane with calcium carbonate as thermal conductivity-enhanced phase change material for thermal energy storage // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – №328. – Pp. 115508. DOI: 10.1016/j.molliq.2021.115508.

УДК 535.24

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ХРАНЕНИИ СПГ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ХРАНИЛИЩЕ

**Королёв А.А.<sup>1</sup>** (студент), **Свиридов Д.К.<sup>1</sup>** (студент)

**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Воронов В.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: artem\_3911@mail.ru, dima.swim901@gmail.com, voronovva@itmo.ru

---

В работе проведен анализ методов снижения потерь сжиженного природного газа при хранении в низкотемпературном хранилище. В результате выявлены основные недостатки тепловой изоляции изотермических хранилищ, приведены способы получения переохлажденного СПГ, рассмотрен вопрос повторного сжижения отпарного газа и деградации компонентного состава продукта при длительном бездренажном хранении, а также явление ролловера.

**Ключевые слова:** тепловая изоляция, компонентный состав, ролловер, сжиженный природный газ, отпарной газ.

---

В XXI веке сжиженный природный газ (СПГ) является востребованным и экологически безопасным продуктом. СПГ — это криогенная жидкость, содержащая не менее 86% метана и имеющая температуру кипения от  $-162^{\circ}\text{C}$ . При переводе  $1\text{ м}^3$  СПГ в газообразное состояние получают около  $600\text{ м}^3$  газа при нормальных условиях ( $760\text{ мм рт. ст.}, 0^{\circ}\text{C}$ ).

СПГ стал конкурентоспособным энергоносителем в отношении к другим видам топлива. В Российской Федерации в настоящее время проводится политика наращивания производственных мощностей сжиженного природного газа. Согласно Энергетической стратегии, предполагается, что к 2035 году в России будет производиться 80 – 140 млн тонн СПГ в год.

Разработка криогенных технологий с использованием СПГ позволяет:

- газифицировать котельные и населенные пункты, удаленные от сетей газораспределения;
- организовать резервные хранилища топлива для последующей доставки потребителю с учетом сезонных неравномерностей;
- перевести силовую технику автомобильного, железнодорожного и речного транспорта на газомоторное или газ-дизельное топливо, а также применять СПГ в качестве бортового запаса.

Ввиду особенностей технологических операций как при длительном хранении в стационарных хранилищах, так и при транспорте на большие расстояния в автоцистернах или в специальных судах газовозах, могут возникать потери продукта, связанные с его испарением в результате воздействия внешних теплопритоков. Испарение начинается с легкокипящих компонентов, что приводит к снижению содержания азота и метана в жидкости, а также накоплению тяжелых углеводородов. Тяжелая фракция способна кристаллизоваться и забивать технологическое оборудование. Процесс испарения при длительном хранении может привести к переходу СПГ в марку качества более низкого уровня, что неприемлемо при использовании сжиженного газа в качестве газомоторного топлива.

Накопление насыщенных паров метана в верхней части резервуара хранения также приводит к повышению давления и вынужденному сбросу в систему утилизации паров (СУП) или на свечу в атмосферу.

Для замедления процессов теплообмена и испарения в низкотемпературных хранилищах предусматривается тепловая изоляция.

Тепловая изоляция криогенного оборудования должна поддерживать в заданных параметрах температуру сжиженного газа в течение длительного времени, препятствуя воздействию внешних притоков тепла, тем самым, не допуская испарение и повышение давления внутри емкости или хранилища. Этот фактор обеспечивает работоспособность оборудования, непрерывность технологического процесса, экономию энергоресурсов и безопасность для обслуживающего персонала.

Одним из наиболее распространенных теплоизоляционных материалов является вспученный перлит. Он представляет собой алюмосиликатную вулканическую породу, подвергшуюся резкому тепловому удару с температурой нагрева 1000 – 1100°C, в результате чего произошло образование микроразрывов внутренней влаги. Вследствие этого происходит увеличение первоначального объема перлитного гравия в 10 – 20 раз, а пористость достигает 40 – 90%. Этот показатель является основным теплоизолирующим свойством материала.

Хрупкость – главный недостаток перлитной изоляции. Вследствии заполнения межстенного пространства криогенных емкостей происходит измельчение материала и уменьшение пористости. Таким образом, происходит увеличение плотности засыпаемого слоя, нарушение однородности, снижение газопроницаемости и возрастание влажности. В результате чего снижаются теплоизоляционные характеристики и увеличиваются риски возникновения аварийных ситуаций, что происходит также при частой смене такой изоляции. Несмотря на все недостатки, для перлита характерна низкая стоимость, что зачастую является определяющим фактором в его применении для теплоизоляции криогенных хранилищ.

Наилучшим теплоизоляционным решением является экранно-вакуумная изоляция. Основная идея ее применения заключается в снижении лучистого теплообмена при многократном экранировании излучения. В качестве экранов служат большое количество слоев тонкой алюминиевой фольги, разделенных между собой стекло-бумагой. Эффективность данного типа изоляции достигается подбором плотности экранирующих слоев и толщины пакета. Экраны вакуумируются давлением не выше  $10^{-5}$  мм рт. ст. Данное давление необходимо поддерживать как в объеме изолирующего пространства, так и между слоями [1].

Основным недостатком такого типа изоляции является ее дороговизна ввиду необходимости поддерживать вакуум на определенном уровне на протяжении всего срока службы резервуара, что становится возможным только благодаря применению материалов с минимальным газовыделением, вакуумированию с предварительным прогревом и размещению адсорбентов в вакуумной полости.

Также существуют изоляционные материалы из минеральной ваты. Основным их недостатком является возможность накапливания влаги и промерзание, поэтому они нашли свое применение в строительстве, и почти не используются в криогенной технике.

Абсолютно новым материалом с крайне низким коэффициентом теплопроводности является аэрогель. Это гель, в котором жидкость заменена газом путем выпаривания ее при большом давлении и температуре. При этом исходный объем остается неизменным. В результате получается древовидная структура с нанопорами, проницаемая для молекул воздуха и пара. Аэрогель представляет собой твердый и очень легкий материал. Нанопоры занимают до 99% его объема. Применение данного материала ограничивается дороговизной производства в промышленных масштабах.

Одним из методов сокращения потерь на испарение и увеличения времени бездренажного хранения СПГ, а также уменьшения размеров криоёмкостей является получение переохлажденного (недогретого) продукта.

Переохлажденный СПГ представляет смесь с температурой ниже точки кипения, основой которой является шугообразная фаза с долей твердых компонентов до 50%. Она сохраняет текучесть насосом. Образование шуги обеспечивает подавление испарения на этапах транспортирования или хранения СПГ в криогенных емкостях. Теплота плавления метана составляет более 50 кДж/кг, что сопоставимо с недогревом жидкого СПГ на 30 К.

Благодаря плавлению твердой фазы возможно не допустить переход СПГ в насыщенное состояние во время отгрузочных операций.

Для получения переохлажденного СПГ применяются различные способы, такие как: дросселирование, адиабатное расширение, барботаж и откачка. Однако, все перечисленные методы требуют дополнительных затрат энергии, что не всегда выгодно, в особенности при хранении малых объемов СПГ и высокой оборачиваемости с «коротким плечом» поставок потребителю. Также важно заметить, что в некоторых случаях теплоприток при выдаче СПГ из хранилища по протяженному трубопроводу в транспортные емкости сводит на нет полезный эффект переохлаждения, что приводит к образованию паров СПГ.

Большой интерес представляет технология повторного ожижения отпарного газа, образующегося вследствие испарения в хранилище. Данный метод нашел свое применение при транспортировке сжиженного газа в морских газовозах. К примеру, компания Stirling Cryogenics предлагает техническое решение на основе обратного цикла Стирлинга, которое позволяет при потребляемой мощности в 38 кВт получить производительность до 1000 кг СПГ в сутки. Однако, эффективность подобного цикла ожижения значительно зависит от начальной температуры отпарного газа на входе и его компонентного состава, поэтому в каждом конкретном случае требуется технологический расчет установки.

Другой проблемой при хранении сжиженного природного газа в изотермических емкостях, которой уделяется большое внимание за рубежом, является стратификация слоев. Это явление расслоения происходит чаще всего при закачке нового продукта в не до конца заполненный резервуар с уже хранящимся СПГ, компонентный состав которого и теплофизические свойства отличаются от показателей закачиваемого СПГ. Как итог, благодаря теплопритокам извне, происходит планомерный перегрев нижнего слоя до состояния насыщения при давлении в резервуаре, и самопроизвольное переворачивание (ролlover) слоев с повышенной интенсивностью парообразования продукта, превышающей номинальное испарение.

Аналогично при наполнении не полностью опорожненного резервуара СПГ отличным по составу возникает явление ролловера, происходящее за счет само расслоения СПГ при выкипании из него азота и падении барометрического давления [2].

Увеличение скорости испарения СПГ и давления паровой фазы происходит вследствие образования различных слоев при заполнении резервуара и их самопроизвольном перемещении. Рост давления может стать причиной отрыва корпуса от днища резервуара, срыва анкерov и разлива продукта из емкости, а также перенапряжения оболочечных структур.

Способы предотвращения ролловера можно разделить на четыре основные группы [2]:

- заполнение резервуаров и перемешивание с использованием эффекта плавучести. Более легкая жидкость закачивается снизу под слой хранимого продукта, а тяжелая – сверху. Данный способ обеспечивает перемешивание жидкостей в процессе заполнения;
- раздельное хранение СПГ различной плотности и теплофизических свойств в хранилище;
- перемешивание при помощи погружных насосов резервуара после его заполнения путем отбора СПГ и повторной его закачки в резервуар;
- использование барботажа после заполнения.

Испарение продукта при длительном хранении приводит к ряду проблем, связанных с компонентным составом жидкости. Сжиженный природный газ в соответствии с ГОСТ Р 56021-2014 имеет марку качества. На протяжении всего жизненного цикла он проявляет тенденцию к снижению объемной доли легкокипящих компонентов и накоплению тяжелых углеводородов, способных кристаллизоваться (рис. 1, 2). Данный процесс может привести к потере кондиции продукта и переходу в более низкую марку качества.

Такой переход является результатом особенностей технологических операций слива-налива, транспортировки и хранения СПГ, так как часть продукта испаряется. Также подобный переход неизбежен при утилизации части испарившегося СПГ, необходимой для снижения давления в резервуаре до требуемых значений. В результате испарения смесей

углеводородов в отпарном газе происходит увеличение концентрации таких легкокипящих компонентов, как метан и азот, удаление которых в свою очередь приводит к деградации компонентного состава СПГ [4].

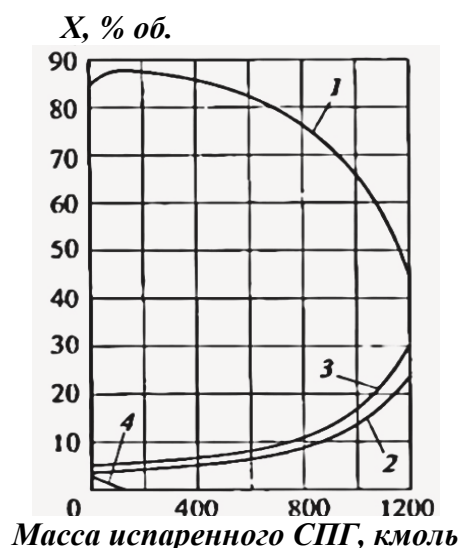


Рис. 1. Изменение состава жидкой фазы СПГ за счёт  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  и  $\text{N}_2:1 - \text{CH}_4$ ; 2 —  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; 3 —  $\text{C}_3\text{H}_8$ ; 4 —  $\text{N}_2$  [3]

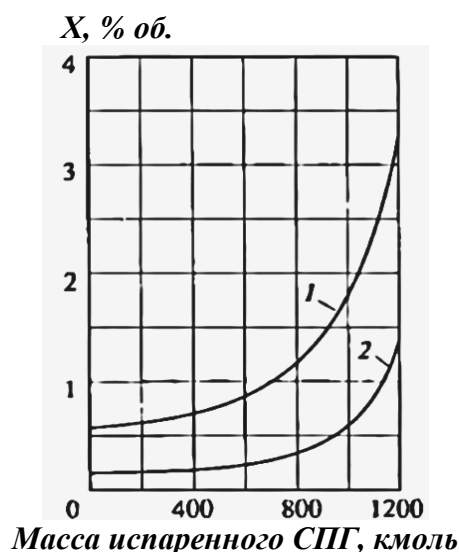


Рис. 2. Изменение состава жидкой фазы СПГ за счёт  $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$ ,  $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$ ,  $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$  и  $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$ ; 1 —  $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$ ,  $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$ ; 2 —  $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$ ,  $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$  [3]

В 2005 – 2007 гг. проводились комплексные испытания в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» опытных образцов криогенных бортовых топливных систем (КБТС) для автотранспорта.

В ходе проведения испытаний выявлено, что при совместной работе КБТС с двигателем режимы работы последнего были близки к детонационным. Анализ показал, что причиной появления таких режимов возможно снижение октанового числа топлива, которое происходит из-за повышенного содержания в газе тяжелых компонентов. При этом вследствие работы двигателя на форсированных режимах (при высокой степени сжатия) возможно нарушение нормального режима горения, а также забивка оборудования низкотемпературными отложениями ( $\text{CO}_2$ , компрессорное масло). Наличие тяжелых углеводородов объяснялось фактом деградации состава СПГ при продолжительном его хранении в емкости, поскольку детонационные режимы наблюдались в условиях работы двигателя на придонных остатках СПГ [5].

Основываясь на результатах упомянутых выше испытаний, можно сделать следующие выводы:

- продолжительное хранение сжиженного природного газа в криогенной емкости влечет за собой образование кристаллической фазы примесей сероводорода и диоксида углерода;
- при переохлаждении СПГ ниже температуры кипения при атмосферном давлении возможна кристаллизация тяжелых углеводородов:  $n$ -бутана и  $n$ -пентана;
- тяжелые углеводороды при длительном хранении топлива могут способствовать нарушению нормального режима работы газовых двигателей, применяемых в силовой технике.

В настоящее время совершенствование технологий хранения сжиженного природного газа является приоритетной задачей для развития энергетического комплекса Российской Федерации. Одной из важных проблем является борьба с потерями продукта при хранении в изотермических резервуарах, малотоннажных криогенных емкостях и баках потребителя. Проведенный в работе анализ основных методов сокращения потерь СПГ показал, что далеко не все из них совершенны и применимы в конкретных производственных условиях. Более того, многие из них требуют увеличения эксплуатационных затрат, что не всегда является экономически эффективными. Тем не менее каждый из рассмотренных методов снижения

потерь при хранении и транспортировке СПГ заслуживает внимания при проектировании новых производственных мощностей сжиженного газа.

### **Литература**

1. Шумилин Н.С. Экранно-вакуумная изоляция – настоящее и будущее криогенной техники // Инновации в криогенике. – 2015. – №43. – С. 38–40.
2. Ханухов Х.М., Алипов А.В., Четвертухин Н.В., Коломыцев А.В., Шигапов Р.Р. Конструкционные методы снижения риска при эксплуатации изотермических резервуаров для хранения СПГ // Вести газовой науки. – 2017. – №1(29). – С. 249–259.
3. Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня и завтра / Под ред. А.М. Архарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2009. – 256 с.
4. Горбачев С.П., Медведков И.С. Изменение компонентного состава СПГ при его длительной транспортировке и хранении, методы кондиционирования // Газовая промышленность. – 2018. – №10(775). – С. 56–66.
5. Горбачев С.П., Попов В.П., Шапкайтц А.Д., Люгай С.В., Поденок С.Е. Результаты испытаний опытных образцов криогенных бортовых топливных систем для транспортных средств // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2009. – №4(46). – С. 43–47.

УДК 633.854.78

## МЕХАНИЧЕСКОЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ШРОТА ПОДСОЛНЕЧНИКА И СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФРАКЦИИ

*Крылова И.В.<sup>1</sup> (студент), Самоделкин Е.А.<sup>2</sup>*

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

*e-mail: irinakrylova1987@gmail.com, smdlkn@inbox.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 механического фракционирования шрота подсолнечника и описана методика его проведения. Также представлены массовые выходы фракций шрота после механического отсева и содержание белка в каждой из фракций. Показано влияние размера частиц фракции на содержание в ней белка.

**Ключевые слова:** подсолнечный шрот, сухое фракционирование, сырой протеин, сырая клетчатка, дезинтегратор.

---

Подсолнечный шрот – это побочный продукт, получаемый при производстве растительных масел, после прессования и экстракции сырья масличных культур [1]. При извлечении масла из семян масличных культур образуются в больших количествах сопутствующие и побочные продукты производства. Одним из них является шрот, который имеет большой потенциал как источник растительного белка.

Белок подсолнечника имеет высокую переваримость – до 90%. Его биологическая ценность, как и у большинства растительных белков, около 60%. Аминокислотный состав подсолнечника делает его перспективным для включения в продукты питания, однако, его лучше использовать в сочетании с другими белками, чтобы компенсировать недостающие аминокислоты. Также в белке подсолнечника отсутствуют спирторастворимые белки – проламины, что делает его перспективным для питания людей с целиакией [1].

Одним из основных препятствий при использовании подсолнечного шрота как источника белка является повышенное содержание клетчатки. Семена подсолнечника перед извлечением масла обрушивают, но полного удаления лузги при этом не происходит, и остаточный уровень лузги может составлять до 25% [2]. Не удаленная лузга в шротах приводит к высокому содержанию клетчатки, который снижает их питательную ценность. Степень обрушивания и съема лузги влияет на содержание в шроте протеина и клетчатки. Кроме того, качество подсолнечных шротов может значительно различаться в зависимости от сортовых особенностей семян, а также различий в технологиях и оборудовании на предприятиях [1].

Получить из шрота белковый продукт с низким содержанием клетчатки позволяет механическое фракционирование. Механическое, или сухое фракционирование — это способ

---



безреагентного разделения подсолнечного шрота на высокобелковую муку и лузгу. Оно не требует применения растворителей и высоких затрат энергии, поэтому является относительно энергоэффективным и экологичным процессом [2]. Кроме того, сухое фракционирование позволяет сохранить белок в более нативной форме.

Первая стадия фракционирования - размол шрота на мельницах, при этом разрушается клеточная оболочка с высвобождением отдельных компонентов клеток. Размол подсолнечного шрота проводят на молотковых, валковых и дисковых мельницах. Измельчение шрота влияет на структуру, площадь поверхности и функциональные свойства полученных частиц, что приводит к повышению их усвояемости и питательной ценности [3]. Шроты после измельчения на мельницах представляют собой частицы различного размера и состава. Одни частицы содержат в основном лузгу, другие – обезжиренное ядро подсолнечника [4].

Вторая стадия – сепарирование, основанное на различии в физико-химических свойствах отдельных фракций. Сепарирование может проводиться рассевом на ситах с различным размером отверстий, что позволяет получить отдельные фракции с разным химическим составом. Высокобелковая фракция может быть использована в пищевых целях как источник белка, а также содержит больше липидов и золы [5]. Грубая фракция, в свою очередь, может быть использована как источник диетической клетчатки [2]. Из-за большей прочности лузги ее частицы оказываются более крупными, что позволяет удалить их путем просеивания.

Белковый продукт, полученный фракционированием, по составу и характеристикам значительно отличается от исходного шрота. В нем выше концентрация сырого протеина, меньше небелкового азота и больше чистого белка. Повышается содержание отдельных аминокислот, например лизина и метионина. Выравниваются соотношения некоторых аминокислот по сравнению с исходным шротом (аргинин, лизин, валин, лейцин, изолейцин) [6]. Повышается количество водо- и солерастворимых белков и снижается количество нерастворимых белков, что улучшает растворимость белка в целом. Наибольшим количеством белка обладают средние и мелкие фракции шрота. Это может объясняться тем, что в них содержится больше белковых тел, целых и раздробленных. Мелкие и средние фракции отличаются повышенной биологической ценностью [7].

Целью данной работы являлось получение фракций подсолнечного шрота механическим фракционированием и определение фракции с наибольшим содержанием белка.

В качестве исходного сырья использовали подсолнечный шрот, полученный на отечественном маслодобывающем предприятии. Измельчение шрота проводили с помощью дезинтегратора в НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» [8]. Дезинтегратор – устройство для механического измельчения сыпучих материалов. От других мелющих аппаратов его отличает быстрота процесса измельчения, когда обрабатываемый материал получает 2 – 7 высокоинтенсивных ударов за  $10\text{ с}^{-2}$ . Измельчаемый материал подается между двумя роторами, вращающимися в противоположных направлениях. Сталкиваясь с рабочими органами роторов (пальцами), частицы материала разрушаются и ссыпаются в приемный бункер.

Механическое фракционирование измельченного шрота проводили методом рассева на лабораторных ситах с диаметром отверстий 1,6 мм, 0,32 мм, 0,25 мм и 0,20 мм. После помола и фракционирования подсолнечного шрота проводили дальнейшее исследование химического состава полученных продуктов переработки. Все исследуемые фракции оценивали по содержанию сухих веществ и сырого протеина.

Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 13979.1-68 «Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Методы определения влаги и летучих веществ». Массовую долю сырого протеина определяли по ГОСТ Р 51417-99 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля».

После рассева измельченного шрота получили 5 фракций с диаметром частиц более 1,6 мм, 0,32 – 1,6 мм, 0,25 – 0,32 мм, 0,2 – 0,25 мм и менее 0,2 мм. Как видно из рисунка, в самой крупной фракции (крупнее 1,6 мм) преобладают крупные частицы лузги и присутствует

сор. В следующей по размеру фракции (0,32 – 1,6 мм) также присутствуют частицы лузги, но в целом данная фракция выглядит более однородной. Остальные три фракции достаточно однородные и не имеют видимых включений лузги.

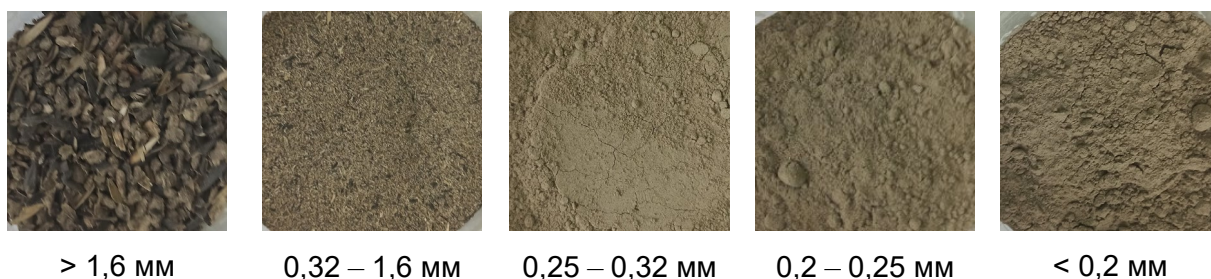


Рисунок. Фракции подсолнечного шрота после измельчения

Процентный выход каждой из фракций составил: около 1% по массе для частиц крупнее 1,6 мм, 29,8% для фракции 0,32 – 1,6 мм, 28,5% для фракции 0,25 – 0,32 мм, 36,5% для фракции 0,2 – 0,25 мм и 4,1% для частиц мельче 0,2 мм (таблица).

Таблица. Гранулометрический состав и содержание белка во фракциях 100 г подсолнечного шрота, измельченного на дезинтеграторе

| Размер частиц во фракциях, мм | Выход фракции, % | Массовая доля сухих веществ, % | Количество сухих веществ, г | Массовая доля белка, % а.с.в. | Количество белка, г |
|-------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Исходный шрот                 | 100              | 90,41 ± 0,01                   | 93,48                       | 34,75 ± 0,50                  | 32,45               |
| > 1,6                         | 1,1              | 92,21 ± 0,01                   | 92,21                       | 26,43 ± 0,50                  | 27,54               |
| 0,32 – 1,6                    | 29,8             | 92,06 ± 0,01                   | 92,06                       | 29,87 ± 0,50                  | 30,40               |
| 0,26 – 0,32                   | 28,5             | 92,06 ± 0,01                   | 91,95                       | 36,87 ± 0,50                  | 33,90               |
| 0,2 – 0,25                    | 36,5             | 91,95 ± 0,01                   | 91,75                       | 41,08 ± 0,50                  | 37,69               |
| < 0,2                         | 4,1              | 91,72 ± 0,01                   | 91,96                       | 42,78 ± 0,50                  | 38,62               |

Как показано в таблице, две фракции имели более низкое содержание белка, чем исходный шрот (размер частиц от 0,32 мм и больше). Так, одна из этих фракций имела уровень сырого протеина 26,43%, то есть на 8% ниже, чем в исходном шроте. Суммарный выход этих фракций составил около 31%.

Другие три фракции с размерами частиц меньше 0,32 мм отличались более высоким, чем у исходного шрота, уровнем белка. Наиболее высокобелковой оказалась фракция с частицами размером менее 0,2 мм, но ее выход составил лишь 4,1%. Фракция с размером частиц 0,25 – 0,32 мм имела высокий выход (28,5%), но уровень белка в ней лишь немного превышал его уровень в исходном шроте (36,87%). Наиболее ценной по составу являлась фракция с размером частиц 0,2 – 0,25 мм, уровень белка в которой составил 41,08% (на 6% больше, чем в исходном шроте). При этом выход данной фракции достигал 36,5% (самый высокий выход среди всех фракций).

Таким образом, показана возможность получения из подсолнечного шрота фракции с повышенным содержанием белка (41,08%) и с достаточно высоким процентным выходом (36,5%). Данная фракция после дополнительной обработки может быть использована для получения высокобелковых препаратов.

## Литература

1. Доморощенкова М.Л., Крылова И.В., Кандроков Р.Х. Исследование продуктов переработки подсолнечного шрота и жмыха, полученных механическим способом / Вестник ВНИИЖ. – 2020. – №1-2. – С. 30–36.
2. Марков С.А., Петенко А.И. Особенности химического состава фракций подсолнечных жмыхов и шротов при их безреагентном разделении / Известия вузов. Пищевая технология. – 2012. – №1. – С. 29–31.
3. Laguna O., Barakat A., Alhamada A. et al. / Industrial Crops and Products. – 2018. – №118.

- Pp. 160–172.
4. Murru M., Calvo C.L. Sunflower protein enrichment. Methods and potential applications / OCL Journal. – 2020. – no. 27. – Pp. 17–31.
  5. Laudadio V., Bastoni E., Introna M., Tufarelli V. Production of low-fiber sunflower (*Helianthus annuus* L.) meal by micronization and air classification processes / CyTA Journal of food. – 2013. – Vol.11. – Pp. 398–403.
  6. Широкомядова О.В., Минакова А.Д., Шульвинская И.В., Сапрунова Е.В., Щербаков В. Г. Подсолнечный шрот - экономически перспективное сырье для производства пищевых белково-углеводных продуктов / Известия вузов. Пищевая технология. – 2009. – №5–6. – С. 45–48.
  7. Подобед Л., Кузьменко Л. Концентрат подсолнечного шрота в рационе свиней / Комбикорма. – 2012. – №8. – С. 85–86.
  8. Самоделкин Е.А., Баракова Н.В., Луневская Я.И., Мартыненко Е.И. Применение ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки (УДА-обработки) для подготовки зернового сырья при конструировании продуктов питания с повышенной усвояемостью / Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. – С. 247–250.

УДК 504

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ШТУРМА ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ

*Кузнецова А.П.<sup>1</sup> (студент), Дунаева А.Е.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: valeriaabramzon@yandex.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».*

---

В работе приведен обзор и анализ существующих методов оценки биоразложения полимеров в анаэробных и аэробных условиях. Описаны проблемы внедрения международных стандартов биоразложения в России. Фокусом статьи является тщательный разбор и исследование всех стадий проведения анализа согласно Методу Штурма, проиллюстрированы разработанные алгоритм проведения эксперимента и установки для проведения эксперимента.

**Ключевые слова:** биоразложения, оценка биоразложения, Метод Штурма, биоразлагаемые материалы, биополимеры, аэробное биоразложение, анаэробное биоразложение.

---

Биоразлагаемые материалы приобретают все большую популярность как полимеры, способные заменить традиционные пластики и предотвратить дальнейшее загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами. Прогнозируется значительный рост производства биопластиков в мире – так, к 2023 году количество производимых биопластиков составит около 2,62 миллионов тонн [1]. Ключевой характеристикой синтетических полимеров, и в том числе биопластиков, в рамках устойчивого развития и стремления к экономике замкнутого цикла может стать биоразложение.

Однако, важно учитывать, что не все биопластики являются биоразлагаемыми. Так в группу биопластиков входят «drop-in» полимеры, которые химически идентичны традиционным пластикам и не являются биоразлагаемыми. Доля небiorазлагаемых полимеров, таких как «drop-in» био-полиэтилен, в общем объеме производимых биопластиков составляет 57%, и только остальные 43% приходятся на биоразлагаемые, такие как PLA (полилактид) и PHA (полигидроксикапроат) [1].

В России так же, как и в европейских странах, подчеркивается актуальность биоразлагаемых материалов как более экологичной замены традиционным пластикам. В связи с этим увеличилось количество продукции, представляемой биоразлагаемой на полках ритейлинговых сетей – обостряется проблема гринвошинга. Для предотвращения обмана потребителя, требуется введение обязательной системы оценки качества биоразлагаемых материалов. В настоящий момент, в России введены некоторые из международных стандартов, позволяющих оценить степень биоразложения полимера. Однако, большинство методик требуют значительных временных затрат, в связи с чем в данной статье рассматривается экспресс-метод оценки биоразложения – Метод Штурма (ГОСТ 32433-2013), анализируются его достоинства и недостатки.

Для оценки биоразлагаемости веществ и полимеров в России, как правило, международные методики систем стандартизации ISO и OECD, переведенные на русский язык и представленные в качестве ГОСТ [2]. Стандарты системы ASTM в сфере биоразлагаемых материалов не русифицированы на момент написания статьи.

---

Таблица. Методы оценки биоразлагаемости веществ и полимеров [3-5]

|                          |                 |                 | Международный стандарт                       | ГОСТ                                   |
|--------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Аэробное биоразложение   | Водная среда    |                 | ISO 9408<br>OECD 301 F                       | ГОСТ Р ИСО 9408-2016                   |
|                          |                 |                 | ISO 10634                                    | ГОСТ Р ИСО 10634-2016                  |
|                          |                 |                 | ISO 9439<br>OECD 301 B                       | ГОСТ Р ИСО 9439-2016                   |
|                          |                 |                 | ISO 10707<br>OECD 301 D                      |                                        |
|                          |                 |                 | ISO 9887<br>OECD 302 A                       |                                        |
|                          |                 |                 | ISO 9888 (Zahn-Wellens method)<br>OECD 302 B |                                        |
|                          |                 |                 | ISO 11733<br>OECD 303 A                      |                                        |
|                          |                 |                 | ISO 14593<br>OECD 310                        | ГОСТ 32433-2013 – Метод Штурма         |
|                          | Почвенная среда | Компостирование | ISO 14855                                    | ГОСТ Р 57219-2016<br>ГОСТ Р 57224-2016 |
|                          |                 |                 | ASTM D 5338                                  |                                        |
|                          |                 | Разложение      | ISO 16929                                    | ГОСТ Р 57226-2016                      |
|                          |                 |                 | ISO 20200                                    | ГОСТ Р 57225-2016                      |
| Почва                    |                 | ISO 17556       |                                              |                                        |
| Анаэробное биоразложение |                 |                 | ISO 14853                                    |                                        |
|                          |                 |                 | ISO 15985                                    |                                        |
|                          |                 |                 | ISO 11734                                    |                                        |

В таблице представлена большая часть стандартов ISO, используемая для оценки биоразложения химических веществ и полимерных материалов в различных средах, и соотнесена с их аналогами стандартов OECD и ГОСТ при наличии. Изучение исследовательских статей на русском языке показало, что встречается некорректное соотнесение стандартов ISO, OECD и ASTM с ГОСТ. Так, ГОСТ 9.060-75 соотносят с ISO 17556, что не может быть выполнено, так как процедура анализа по ISO 17556 значительно отличается от процедуры анализа, описанной в ГОСТ [2].

При сравнении текста некоторых стандартов были отмечены ошибки перевода. В ГОСТ 57225-2016 степень разложения:

$$D = \frac{m_i - m_r}{m_i} \cdot 100\%,$$

где  $m_i$  – начальная сухая масса испытуемого материала, г;

$m_r$  – сухая масса испытуемого материала, который прошел через сита, г.

Однако, разность начальной массы испытуемого материала и прошедшего через сито материала составляет массу непрошедшего через сито материал. В таком случае, рассчитывается процент неразложившегося материала от массы изначальной пробы. В ISO 20200  $m_r$  – масса оставшегося материала, непрошедшего сито ( $m_r$  is the dry mass of the residual test material recovered by sieving). В тексте стандарта неразложенный материал (nondisintegrated material) определяется как тот, что был «recovered from the sieving procedure».

В связи с этим, рассмотрение Метода Штурма проводится в сравнении русского текста стандарта и текста стандарта OECD.

Сущность метода заключается в использовании исследуемого вещества как единственного источника углерода для микроорганизмов в среде испытания. Анализ проводится в закрытых емкостях, с размером достаточным для обеспечения протекания аэробного биоразложения, то есть со свободным пространством для наличия достаточного количества кислорода. Биоразложение оценивается по количеству углекислого газа, производимого в ходе биоразложения испытуемого материала микроорганизмами. Его количество определяется измерением неорганического углерода, превышающего аналогичное количество в емкостях, содержащих только среду. В таком случае степень биоразложения определяется как процент от теоретически возможного образования неорганического углерода взятого количества анализируемого вещества. Такое выражение степени биоразложения отличает Метод Штурма от других стандартов ISO, так как в них определение проводится по теоретически возможному выделению органического углерода.

В качестве референтных материалов в методике используются анилин, бензоат натрия, этиленгликоль (для растворимых в воде испытуемых веществ) и 1-октанол (для нерастворимых веществ). Биоразложение стандартных веществ должно составить 60% от теоретического количества неорганического углерода. Концентрация исследуемого вещества должна составлять 20 мг\*С/л. Алгоритм проведения эксперимента представлен на рисунке 1.

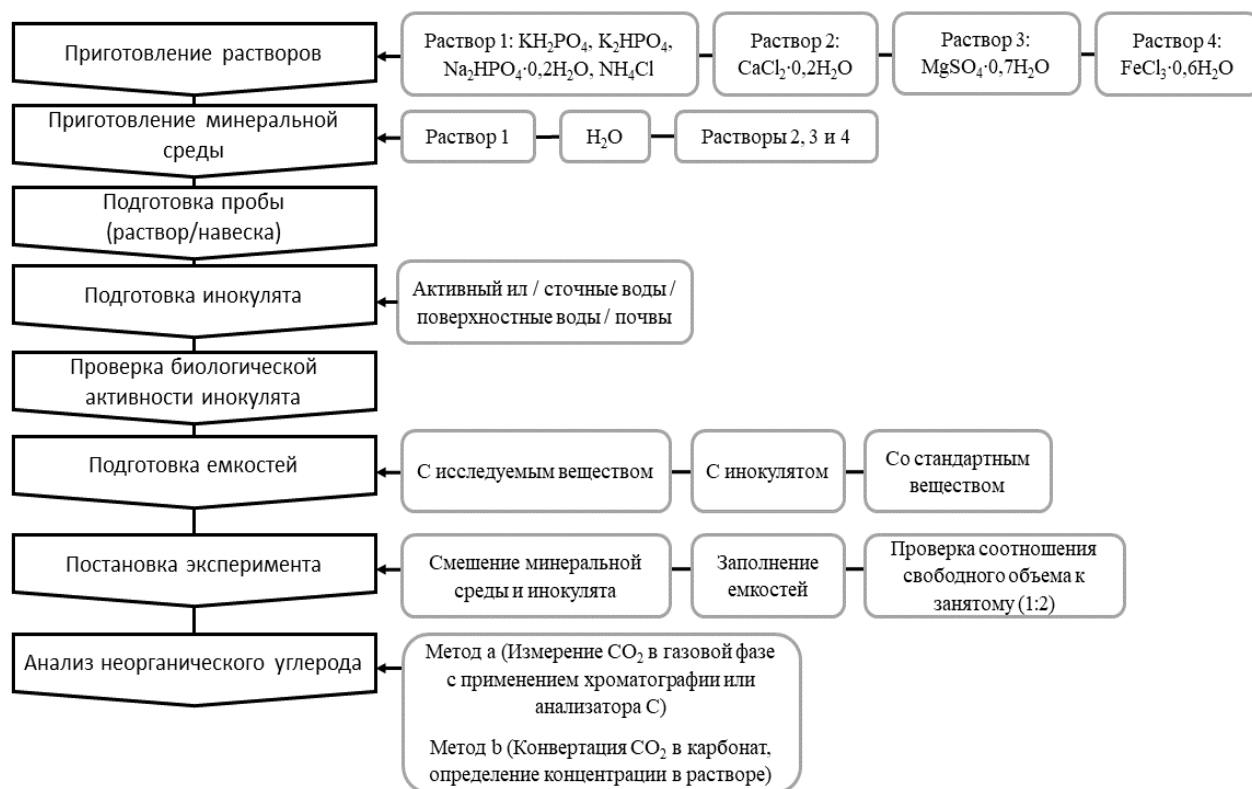


Рис. 1. Схема проведения анализа согласно Методу Штурма

Показанная на рисунке процедура в целом повторяет общий алгоритм проведения анализов на биоразложение, однако, обладает определенными особенностями ввиду создания условий для биологического разложения в жидкой фазе. Наиболее трудоемкой стадией Метода Штурма является проведение анализа – так, требуются не только специфичное и дорогое оборудование, но и определенные навыки и умения у лаборантов.

Проведенный обзор показал, что как правило, Метод Штурма на практике используется несколько иначе. Так, трудоемкая стадия анализа реализуется посредством проведения титрования, что в целом относится к блоку «метода б» - конвертации углекислого газа, выделяемого в процессе биоразложения, в карбонат посредством абсорбции щелочью и последующее измерение концентрации карбоната, и выполнение необходимого пересчета [2–5]. Кроме того, титрование – тот химический метод анализа, что используется наиболее часто в методиках оценки биоразложения полимеров.

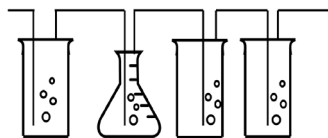


Рис. 2. Схема установки по Методу Штурма

Для проведения анализа создается установка, включающая в себя три части: систему подачи воздуха, не содержащего углекислого газа; емкости, в которых реализуется процесс; абсорбционная система. Иллюстрация приведена на рисунке 2.

В колбах 1, 3 и 4 находится щелочь (гидроксид бария/калия), абсорбирующая  $\text{CO}_2$  из входящего воздуха (колба 1) и из воздуха, выходящего из колбы 2.

В результате жизнедеятельности организмов в колбе 2 происходит биоразложение анализируемого материала – выделяется углекислый газ. Так как только исследуемый материал представляет собой источник углерода и энергии для развития микроорганизмов, количество выделяемого углекислого газа непосредственно отражает степень конверсии углерода в углекислый газ и тем самым иллюстрирует степень биоразложения. Количество емкостей абсорберов (1, 3 и 4) может варьироваться в частных случаях проведения эксперимента. Титрование щелочи проводится с фенолфталеином соляной кислотой.

Проводимый по данной методике тест характеризуется очень важным достоинством – сокращением обязательного срока теста до 28 дней [3–5]. При этом при достижении плато на кривой биоразложения, эксперимент может быть закончен даже раньше. Однако, сам эксперимент включает в себя более трудоемкие стадии, а также за счет создания определенной минеральной среды обладает более высокими требованиями, предъявляемыми к точности и навыкам лаборантов. Кроме того, сложнее идентифицировать достижение необходимых условий и развития микроорганизмов. Так, при использовании методов компостирования в почве и компосте, наличие микроорганизмов и скорость их развития могут быть отмечены с помощью визуальных наблюдений.

Метод Штурма также требует более тонкого анализа используемой среды и материала. Требуется убедиться в отсутствии ингибирования микроорганизмов материалом, а также проводить контроль токсичности. Однако, в сравнении с методами анализа на биоразложение в условиях компостирования и почвы, можно говорить о большей экономичности анализа и его быстрой окупаемости – требуется меньше ресурсов для проведения анализа и при этом возможная частота запуска анализа в шесть раз выше чем по ISO 14855 (ГОСТ Р 57224-2016 и ГОСТ Р 57219-2016), ISO 16929 (ГОСТ Р 57226-2016), ISO 20200 (ГОСТ Р 57225-2016) и ISO 17556.

Таким образом, основными достоинствами Метода Штурма являются экономичность, быстрая окупаемость и короткий срок проведения анализа. Как недостатки можно выделить высокую вероятность ошибки на стадиях подготовки эксперимента, затруднение визуального отслеживания роста микроорганизмов, необходимость значительных вложений на стадии запуска методики в лаборатории. Однако, последний недостаток также может быть отнесен и к другим упомянутым методикам.

## Литература

1. European bioplastics. Bioplastics market data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.european-bioplastics.org/market/> (дата обращения: 15.31.2021).
2. Мазитова А.К., Аминова Г.К., Зарипов И.И., Вихарева И.Н. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – №13(1). – С. 32–38.
3. Eubeler J., Bernhard M., Zok S., Knepper T. Environmental biodegradation of synthetic polymers I. Test methodologies and procedures // Trends in Analytical Chemistry. – 2009. – V.28. – №9. – Pp. 1057–1072.
4. Kowalczyk A., Martin T., Price O., Snape J., Egmond R., Finnegan C., Schäfer H., Davenport R., Bending G. Refinement of biodegradation tests methodologies and the proposed utility of new microbial ecology techniques // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2015. – V.111. – №2. – Pp. 9–22.
5. Ashter S. Introduction to Bioplastics Engineering. – William Andrew Publishing. – 2016. – 286 p.

УДК 637.146.2

## РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИЕТА – ПЛЮСЫ И МИНУСЫ. ПОЧЕМУ ЕЁ СТОИТ ПОПРОБОВАТЬ?

*Кузьмина Д.К.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Яковченко Н.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет*

*e-mail: dariia.kuzmina@bk.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 621322 «Применение адаптогенных БАВ и пробиотических микроорганизмов для создания функциональных продуктов для активного долголетия и восстановления после COVID-19».*

---

В ходе исследовательской работы были изучены преимущества и недостатки растительной диеты касательно здоровья человека и других сфер его жизни. Проанализированы данные различных опросов и клинических исследований среди населения разных стран. Выявлена возможность соблюдения растительной диеты для людей с высокой физической активностью, включая профессиональных спортсменов.

**Ключевые слова:** растительная диета, преимущества веганства, недостатки веганства, влияние веганства на здоровье, мотивы изменения типа питания, растительное спортивное питание.

---

За последние десятилетия во всем мире наблюдается рост хронических заболеваний, на сегодняшний день они составляют почти 46% всех заболеваний во всем мире. Ожирение, диабет, сердечно-сосудистые и респираторные заболевания, и злокачественные опухоли ежегодно составляют 63% от общей смертности. Резкое ухудшение здоровья людей по всему миру, в первую очередь, связано с несбалансированным питанием и неправильным образом жизни.

Факты, изложенные выше, поставили новые задачи перед пищевой промышленностью. Возникла необходимость в разработке продуктов, которые оказывали бы положительное воздействие на здоровье человека, замедляя тем самым развитие различного рода болезней, из года в год поражающих человечество, и закладывая основы правильного питания, которое по истине можно считать профилактической и лечебной частью практического инструментария по коррективке здоровья.

Новым видением современного мира в культуре питания стала растительная диета – тип питания, подчеркивающий сознательный образ жизни, который не является модной пищевой тенденцией, а разработан на основе научных фактов. История растительных диет берет свое начала сотни лет назад. Исторические личности, имя которых знакомо каждому, – Пифагор, Платон, Джордж Бернард Шоу, Махатма Ганди, Альберт Эйнштейн, Леонардо да Винчи и Лев Толстой придерживались именно такого типа питания. Широкая известность растительной диеты в наши дни объясняется тем, что стремление к заботе о здоровье становится все более популярной темой среди населения. Люди по всему миру придерживаются ее по разным причинам – экономическим, этическим, экологическим, духовным и лечебно-профилактическим. Точную долю потребителей, придерживающихся растительной диеты, определить сложно, поскольку данный вид питания различается по странам. Кроме того, не



существует стандартизированных методов, действующих в разных странах, и которые бы позволили дифференцировать тех, кто придерживается веганской диеты в целом. Однако, есть усреднённые данные, полученные от различных веганских организаций. Самую высокую долю веганов можно найти в Индии, примерно 30 – 40% населения придерживаются растительной диеты. В странах Европы наибольшая доля веганов приходится на Италию, Великобританию и Германию – 9%, в Нидерландах – 4%. Также стоит выделить Австрию и Швейцарию, где доля веганов составляет – 3% [1].

Основная цель исследования состояла в том, чтобы определить особенности и характеристики растительного рациона, с помощью соответствующих источников международной литературы, и идентифицировать преимущества и барьеры, связанные с растительной диетой.

В ходе анализа был проведен всесторонний обзор литературы [1, 2]. На первом этапе были собраны актуальные статьи недавних исследований, связанных с темой растительного питания. В качестве второго этапа вся отобранная литература была разделена на две части: сначала исследовались потенциальные преимущества, а затем потенциальные препятствия растительной диеты и перехода на нее.

В науке о питании есть два класса так называемых специальных диет. Первый вид включает в себя специальные диеты, которые соблюдаются из-за определенного заболевания (пищевая непереносимость, болезни ЖКТ и т.д.). Эти диеты выходят за рамки настоящего исследования и не рассматриваются. Второй тип основан на диетах, выбираемых людьми по собственной инициативе (вегетарианская диета и ее различные формы).

Существуют общие рекомендации по растительной диете относительно потребляемых продуктов в рамках данного типа питания (таблица).

Таблица. Основные рекомендации растительной диеты

| Группы продуктов                           | Рекомендации ежедневного употребления                                     |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Овощи<br>(кроме крахмалсодержащих)         | Разнообразие                                                              |
| Фрукты                                     | 2 – 4 порции<br>(1 порция = 1/2 кружки)                                   |
| Цельнозерновые крупы<br>(бурый рис, киноа) | 6 – 11 порций<br>(1 порция = 1/2 кружки приготовленной крупы)             |
| Бобовые<br>(чечевица, горох, соя)          | 2 – 3 порции<br>(1/2 кружки приготовленных бобов)                         |
| Листовой овощи<br>(салат, брокколи)        | Как минимум 2 – 3 порции<br>(1 порция = 1/2 кружки приготовленных овощей) |
| Масличные культуры                         | 30 – 55 г                                                                 |
| Семена<br>(chia, льняное семя)             | 1 – 3 столовых ложки                                                      |
| Растительное «молоко»                      | 2 – 3 кружки                                                              |
| Зелень и травы                             | Разнообразие                                                              |

Важно подчеркнуть, что те люди, которые придерживаются растительной диеты, в основном предпочитают блюда минимальной обработки, с целью получения максимально сохраненного количества фитонутриентов.

Способность поддерживаться растительной диеты зависит от нескольких факторов: личные (привычки и физическая обратная связь); социальная среда (родственники-вегетарианцы или знакомые, и те, кто интересуется здоровьем); наличие соответствующих продуктов в магазинах и ресторанах. В США был проведен опрос 100 человек с целью выяснения факторов, которые мотивируют людей изменять свои пищевые привычки. Результаты показали, что значимость каких-либо изменений в рационе питания человека значительно увеличивается, если эти диетические изменения необходимы для защиты здоровья [2]. 47% опрошенных назвали главным мотиватором здоровье. Вторая по значимости причина связана с благополучием и удовлетворенностью. В Голландии было проведено

«Национальное исследование потребления растительных продуктов питания» по результатам опроса вегетарианцев старше 18 лет. Установлено, что помимо заявленных характеристик продуктов, для потребителя важна информация о продукте, наличие специализированных магазинов или отделов, новинки и экологически чистые продукты.

Исследования показывают, что самые важные преимущества вегетарианской диеты связаны с положительными эффектами для здоровья. Растительная диета способствует уменьшению жировых отложений и, следовательно, степень ожирения снижается. Об этом говорится в исследовании, которое проводилось с целью оценить массу тела мужчин и женщин веганов и невеганов одинаковых возрастов. Результаты показали, что мужчины-веганы весили на 5 – 13 кг меньше, а женщины-веганы — на 3 – 11 кг, чем их сверстники-невеганы.

Благодаря растительной диете снижаются факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний, что является значимым преимуществом для здоровья. Среди приверженцев данного типа питания обнаружено гораздо меньшее количество людей страдающих от такого вида заболеваний, а также от сахарного диабета 2 типа, слабоумия, камней в желчном пузыре, болезней почек, артрита и различных видов аллергии. В дополнение к сказанному, следует добавить, что в ряде руководств по питанию подчеркиваются факторы риска развития, в первую очередь, сердечно-сосудистых заболеваний из-за употребления красного и переработанного мяса. Сокращение потребления мяса и предпочтение растительных продуктов питания может быть эффективным методом снижения вероятности развития некоторых видов опухолей. По данным Международного агентства по изучению рака (IARC), переработанные мясные продукты канцерогенны.

Уменьшение потребления насыщенных жиров также считается важным преимуществом веганской диеты для здоровья.

Установлено, что содержание количества важных питательных компонентов, таких как магний, калий, фолиевая кислота, клетчатка, антиоксиданты, витамины С и Е и фитохимические вещества выше у людей, придерживающихся растительной диеты.

Как было сказано ранее основной мотив к изменениям типа питания – желание снизить риски негативного воздействия на здоровье и стремление, таким образом, к благополучию – ощущению максимального довольства жизнью. Благополучие и удовлетворенность связаны с увеличением количества времени, посвященного физической активности и отдыху, растительная диета, в свою очередь, оказывает положительное влияние на благополучие. Главной причиной, по которой люди отдают предпочтение растительной диете – здоровье. В США был проведен опрос 100 человек с целью выяснения факторов, которые мотивируют людей изменять свои пищевые привычки и результаты показали, что для 47% опрошенных главным мотиватором является защита здоровья. Вторая по значимости причина связана с благополучием и удовлетворенностью. Существуют исследования доказывающие, что вегетарианство может способствовать снижению социальной дисфункции, то есть люди, придерживающиеся растительной диеты, обычно тратят меньше денег на здоровье и здравоохранение, и в то же время улучшается качество их жизни, они полны сил, энергии и ресурсов, которые используют для достижения благополучия [1].

Противники растительных диет часто утверждают, что эти диеты сопряжены с риском недостатка жизненно важных питательных веществ, в особенности белка. Однако, в настоящее время существуют альтернативы, позволяющие решить данную проблему. Ассортимент продуктов питания для веганов продолжает расширяться. Существует значительный выбор растительных продуктов богатых белком – тофу, сейтан, темпе и др. [1].

Низкое потребление микроэлементов, например витамина В<sub>12</sub> и витамин D, а также рибофлавина, железа, кальция и цинка могут легко привести к дефициту питательных веществ у веганов. Витамин В<sub>12</sub> имеет особенно значение, так как попадает в организм с продуктами преимущественно животного происхождения, например печень, мясо, молоко и молочные продукты, яйца [2]. Однако, по данным исследования, проведенного в 2014 году, листы нори из высушенных водорослей могут в значительной степени служить источником витамина В<sub>12</sub>.

Потенциальным минусом растительной диеты является фактор удобства и вкуса. Кажется, что веганские блюда однообразны, безвкусны и слишком сложны в приготовлении.

На сегодняшний день рестораны и кафе не предоставляют хорошей возможности для веганской диеты, наличие блюд на выбор в меню ограничено. Некоторое время назад был проведен опрос среди жителей Бельгии с целью изучения взглядов и убеждений, связанных с веганством и потреблением мяса. Выборка включала только 38 веганов, 288 вегетарианцев и 2031 приверженцев смешанной диеты. Для большинства главным аргументом к отказу от растительной диеты были однообразный вкус и отсутствие кулинарных навыков, поскольку на сегодняшний день существует мало актуальной и доступной информации для обычного населения о том, какие блюда стоит готовить, как их приготовить и о том, какие продукты больше всего подходят для замены мяса [2]. Неудачные попытки сбалансировать растительную диету по причине нехватки знаний могут привести к рискам развития различных заболеваний, включая расстройства пищевого поведения. По этой причине веганы могут страдать от недоедания, дефицита витаминов и минералов, белка и др.

Другим отрицательным эффектом растительной диеты может быть ее предположительное негативное влияние на психику и ментальное здоровье. В Австралии было проведено исследование состояния здоровья среди молодых женщины растительной и смешанной диет. Результаты показали, что женщины-веганы имели более слабое психическое здоровье, чаще страдали от чувства одиночества и склонны к депрессиям.

Один из распространённых стереотипов о веганстве заключается в том, что такой рацион питания не подходит для спортсменов и людей с высокой физической нагрузкой. Однако, в современном спорте немало мужчин и женщин, чья диета не включает животные продукты и на 100% состоит из растительной пищи. Спортсмены, придерживающиеся веганской диеты, уже не раз доказали, что растительная пища не хуже помогает добиться спортивных достижений. В качестве примера можно привести Скотта Юрека – известного американского ультрамарафонца, Скотта Джурека – марафонца, который тренируется до восьми часов в день, знаменитого боксера Майка Тайсона, великого легкоатлета Карла Льюиса, теннисистку Сирену Уильям. Все они питаются исключительно растительной пищей. Многих пугает тот факт, что исключая из рациона мясо, рыбу и молочные продукты, спортсмен недоедает белок – основной строитель мышц. Однако, веганские диеты содержат большое количество «правильных» углеводов – главного источника энергии для спортсменов, без которого они могут чувствовать вялость и усталость. Касательно же белка, то его растительные источники имеют низкий уровень насыщенных жиров, что позволяет поддерживать здоровую сердечно-сосудистую систему. Хорошими источниками белка для спортсменов-веганов являются киноа, бурый рис, тофу, соевое молоко, темпе, фасоль, горох, а также различные дополнительно обогащенные продукты [2].

Подводя итог проведенного исследования, можно заключить, что растительный тип питания – это не столько про выбор диеты, сколько про образ жизни. Это мировоззрение, сочетающие в себе различные мотивы: от заботы о своем здоровье до этических и религиозных убеждений. Веганство в современном мире может быть вкусным, сбалансированным и подходящим для людей с различной физической нагрузкой, включая спортсменов.

## Литература

1. Leitzmann C. Vegetarian nutrition: Past, present, future // The American Journal of clinical nutrition. – 2014. – V.100. – №1. – Pp. 496–502.
2. Barnard N.D., Goldman D.M., Loomis J.F., Kahleova H., Levin S.M., Neabore S., Batts T.C. Plant-based diets for cardiovascular safety and performance in endurance sports // Nutrients – 2019. – V.11. – №1. – 130 p.

УДК 637.146.2

## РАЗРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНОГО ЗАМОРОЖЕННОГО ДЕСЕРТА

*Кузьмина Д.К.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – Морозова О.В.<sup>1</sup> (аспирант)*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: dariia.kuzmina@bk.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 421246 «Разработка научнообоснованных технологий функциональных продуктов питания на основе растительного сырья».*

---

В ходе научно-исследовательской работы был разработан состав и технология получения замороженного десерта из растительного сырья. Определен наилучший тепловой режим и способ обработки моркови. Установлена общая антиоксидантная активность используемой моркови. Исследовано влияние различных доз компонентов десерта на его физико-химические показатели.

**Ключевые слова:** замороженный растительный десерт, изолят соевого белка, морковное пюре, овсяный напиток, переработанная мякоть коксового ореха, антиоксидантная активность.

---

В современном мире люди все чаще и чаще задумываются о том, что лежит в их тарелке, какое влияние оказывает потребляемая еда на здоровье и состояние организма, пробуют различные виды диет и ищут подходящую. За последние годы набирает обороты такой тип питания как plant-based diet, иными словами, растительная диета. Такой вид питания действительно оказывает колоссальный положительный эффект на организм человека и имеет ряд преимуществ: выведение из организма шлаков и токсинов, уменьшение риска сердечно-сосудистых заболеваний, сахареного диабета 2 типа и онкологии органов ЖКТ. Помимо этого, растительная диета является эффективным инструментом в борьбе с лишним весом, что является значительным плюсом данного типа питания, поскольку согласно статистическим данным больше половины россиян страдает от избыточного веса [1].

Несколько лет назад Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) опубликовала и выпустила «в свет» руководство по основам сбалансированной диеты, основной принцип которой – две трети продуктов питания в ежедневном рационе человека должны быть растительного происхождения и одна треть – животного происхождения.

Таким образом, учитывая современные тренды в культуре питания, принимая во внимание предпочтения потребителей и рекомендации ВОЗ, актуальным и необходимым является расширение ассортимента продуктов питания на растительной основе функциональной направленности.

Для получения разрабатываемого замороженного десерта были выбраны следующие ингредиенты:

- Изолят соевого белка.

Данный компонент получают из концентрата сои посредством удаления липидно-углеводной составляющей. Соевый изолят является высокобелковым продуктом, содержание протеина в нём составляет 90%. В рецептуре разрабатываемого десерта данный ингредиент используется как сухой компонент, обеспечивающий хорошее загустевание смеси.

- Переработанная мякоть коксового ореха «Кокосовые сливки» м.д.ж. 17 – 19%.

Данный компонент позволяет достичь необходимый уровень взбитости смеси замороженного десерта и выполняет роль заменителя животных сливок.

---

- Напиток овсяный классический.

Овсяный напиток выполняет роль жидкого компонента и заменяет коровье молоко в рецептуре десерта. Он содержит все незаменимые аминокислоты,  $\beta$ -глюканы, входящие в его состав снижают уровень холестерина и нормализуют показатель глюкозы в крови.

- Морковное пюре.

Химический состав моркови является уникальным. Этот овощ богат витаминами группы В, С, К, РР, Е,  $\beta$ -каротином и минеральными веществами. Кроме того, в моркови содержится огромное количество антиоксидантов, которые связывают свободные радикалы, препятствуя таким образом, образованию раковых клеток. Одним из представителей антиоксидантных веществ моркови являются каротиноиды, которыми она так богата и которые обеспечивают ее насыщенный цвет. Возможность использования моркови как источника антиоксидантных свойств в пищевой и фармацевтической промышленности имеет большое значение. Общее содержание антиоксидантов в моркови зависит от многих факторов: сортовой принадлежности, степени зрелости, срока хранения и экологических условий произрастания. По литературным данным в обработанной моркови в среднем содержится 210 мкг на 100 г. [2].

Согласно имеющимся исследованиям, запечённая морковь содержит на 80% больше антиоксидантов в сравнении с сырым овощем, поэтому в вопросе выбора наилучшего способа термической обработки моркови по результатам литературного обзора было выбрано запекание. Перед запеканием морковь подвергалась чистке, поскольку кожура может стать причиной жестких включений в готовом десерте. Кожура моркови содержит незначительное количество антиоксидантов и не оказывает значительного влияния на их общее содержание в продукте.

Общую антиоксидантную активность запеченной моркови определяли по способности водных экстрактов ингибировать свободно радикальное аутоокисление адреналина в щелочной среде, предотвращая образование активных форм кислорода. Для получения водного экстракта 1,5 г сырья подвергали нагреванию со 100 мл воды на водяной бане с обратным холодильником на протяжении 20 мин. Далее к 4 мл 0,2 М натрий-карбонатного буфера (рН = 10,65) добавляли 0,2 мл 0,1% раствора адреналина гидрохлорида, затем раствор помещали в спектрофотометр и определяли оптическую плотность через 30 с (D1). Затем к 4 мл буфера (рН=10,65) добавляли 0,06 мл полученного экстракта и 0,2 мл 0,1% адреналина гидрохлорида и снова измеряли оптическую плотность (D2). Антиоксидантную активность определяли по следующей формуле:

$$A = \frac{(D1-D2) \times 100}{D1}, \%$$

Значение А равное 10% и выше по вышеприведённой формуле свидетельствует о наличии высокой антиоксидантной активности исследуемого образца [3]. Среднее значение общей антиоксидантной активности моркови по результатам трех измерений составило 15,1% (табл. 1).

Таблица 1. Антиоксидантная активность исследуемых образцов моркови

| № измерения                                               | 1    | 2    | 3    |
|-----------------------------------------------------------|------|------|------|
| Среднее значение общей антиоксидантной активности моркови | 14,9 | 15,3 | 15,1 |

В ходе работы было изучено влияние соевого изолята на условную вязкость смеси. Основной показатель, влияющий на получение десерта с заданными условиями – параметр условной вязкости смеси перед фризированием. Для проведения исследования было выбрано шесть вариантов образцов с различным содержанием изолята соевого белка. Определение вязкости проводилось при  $t = 20^\circ\text{C}$ , определение показателей вязкости смесей перед фризированием при  $t = 4^\circ\text{C}$ . На рисунке 1 представлены результаты проведения эксперимента.

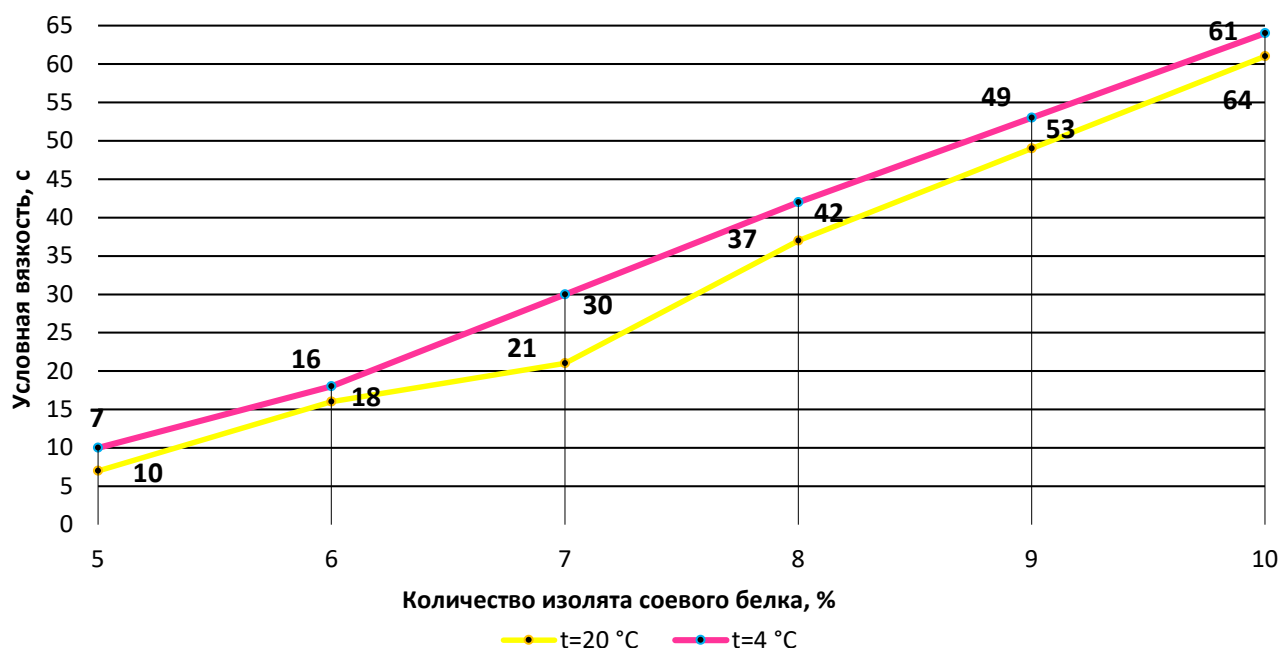


Рис. 1. Показатели условной вязкости образцов

По результатам проведенного опыта выявлено, что оптимальное содержание соевого изолята составляет 6%, с учетом дальнейшего увеличения показателю вязкости за счет наличия сухих веществ в других ингредиентах, которые будут добавляться в последствии при выработке десерта.

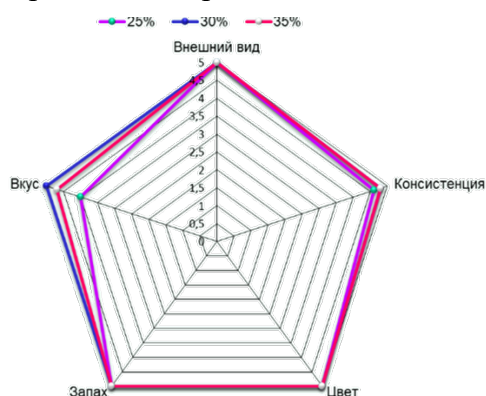


Рис. 2. Влияние количества томатного пюре на органолептические показатели десерта

При выборе доз ингредиентов было подобрано три варианта рецептуры со следующими концентрациями морковного пюре – 25%, 30% и 35%. Количество овсяного напитка и «кокосовых сливок» были получены расчётным путем, основываясь на дозировках других ингредиентов смеси и заданных содержаниях сухих веществ и жира.

В ходе проведения органолептической оценки десерта предпочтение было отдано образцу №3, поскольку данный вариант обладал наиболее приятными вкусовыми характеристиками, выраженным морковным вкусом, запахом и насыщенным цветом, что нельзя сказать о других образцах. На рисунке 2 представлены данные профилограммы по оценке органолептических показателей десертов.

Было изучено влияние различных доз ингредиентов на изменение физико-химических показателей готового десерта (табл. 2).

Таблица 2. Влияние дозировки компонентов на физико-химические показатели десерта

| Показатель                                | Массовая доля изолята соевого белка 6% |    |    |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|----|----|
|                                           | Массовая доля морковного пюре, %       |    |    |
|                                           | 25                                     | 30 | 35 |
| Кислотность, °Т                           | 19                                     | 27 | 36 |
| Взбитость, %                              | 38                                     | 38 | 37 |
| Сопротивление таянию мягкого десерта, мин | 9                                      | 11 | 12 |
| Средний размер пузырьков воздуха, мкм     | 47                                     | 51 | 56 |
| Вязкость смеси после охлаждения, с        | 21                                     | 26 | 33 |

При проведении анализа полученных результатов было обнаружено, что причиной роста кислотности и условной вязкости является увеличение концентрации морковного пюре, однако, в то же время, отмечалось уменьшение показателя взбитости и способности сопротивления к таянию, что приводит к повышению размера воздушных пузырьков. Таким образом, можно сделать вывод, что значительного улучшения или ухудшения качества продукта не наблюдалось, по результатам органолептической оценки предпочтение отдано образцу с массовой долей морковного пюре 35%, что послужило основным критерием при выборе наилучшей рецептуры.

В ходе проведения научно-исследовательской работы были подобраны ингредиенты для замороженного десерта на растительной основе, с учетом получения необходимых заданных свойств продукта; выбран способ термической обработки моркови, обеспечивающий максимальное содержание антиоксидантов; определена общая антиоксидантная активность моркови; разработана и составлена рецептура растительного десерта; изучено влияние компонентного состава на физико-химические показатели десерта и таким образом, установлено, что оптимальная доза соевого изолята составляет 6%, а морковного пюре – 35%.

### **Литература**

1. McEvoy C.T. Vegetarian diets, low-meat diets and health: a review / N. Temple, J.V. Woodside// *Public Health Nutr.* – 2012. – №5. – Pp. 2287–2294.
2. Colditz G.A. Increased green and yellow vegetable intake and lowered cancer deaths in an elderly population / G.A. Colditz, L.G. Branch, R.J. Lipnick, W.C. Willett, B. Rosner, B.M. Posner // *Am J Clin Nutr.* – 1985. – V.41. – Pp. 32–36.
3. Рябинина Е.И. Новый подход в оценке антиоксидантной активности растительного сырья при исследовании процесса аутоокисления адреналина // *Химия растительного сырья.* – 2011. – №3. – С. 117–121.

УДК 663.91

## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШОКОЛАДНО-ОРЕХОВЫХ ПАСТ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТУРАЛЬНЫХ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ

*Кулакова А.А.<sup>1</sup> (студент), Виноградов А.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научные руководители – д-р техн. наук, профессор Куприна Е.Э.<sup>1</sup>,*

*д-р техн. наук, профессор Ишевский А.Л.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: nastya.loseva.95@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 данной работе разрабатывается рецептура шоколадно-ореховой пасты без сахара, в состав которой будут входить такие ингредиенты как: от 50% до 58% масла какао, какао тертое, какао порошок, сухое молоко, КСБ 80%, кунжут, кунжутное масло, арахисовое масло, мальтитол, стевиозид, эритритол, лецитин соевый.

**Ключевые слова:** шоколадно-ореховая паста без сахара, кунжут, мальтитол, эритрит, стевия, технология, разработка рецептуры.

---

В настоящее время, когда большинство людей следят за своим здоровьем и придерживаются правильного питания, продукты без содержания сахара становятся более популярными и востребованными.

По данным исследования всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) установлено, что употребление в пищу слишком большого количества сахара – вредно для здоровья человека, так как может увеличить риск заболевания таких болезней как: диабет, рак, ожирение, вызвать нарушение микрофлоры кишечника, нанести вред здоровью зубов и почек, ведет к развитию «жирной печени» как у людей, страдающих алкогольной зависимостью [1].

Природные заменители сахара в рецептуре шоколадно-ореховой пасты: стевиозид, эритритол и мальтитол – это природные сахарозаменители.

Стевиозид – это гликозид, который извлекают из растения Стевия. Стевия обладает противовоспалительными и лечебными свойствами: снижает уровень холестерина, способствует уменьшению содержания сахара в крови, замедляет процесс старения, ускоряет обмен веществ, способствует укреплению иммунитета. Стевию можно использовать в традиционной технологии производства шоколада, благодаря устойчивости к высоким температурам (разрушение происходит в температурном диапазоне 190 – 200°C), а отсутствие противопоказаний позволяет включать её в рацион детей в возрасте от одного года.

Эритритол (эритрит) – это многоатомный сахарный спирт, который вырабатывается в производственном масштабе из кукурузы. Эритрит обладает такими свойствами как: не увеличивает содержание сахара в крови, не вызывает привыкания или зависимости и также не увеличивает в крови уровень холестерина.



Мальтитол делают из крахмала, вещества, содержащегося в кукурузе, либо сахаре. Пищевая добавка обогащает вкус готового продукта, не оказывает вредного воздействия на зубную эмаль и не вызывает кариес, содержит малое количество калорий [2].

Тёртое какао – это промежуточный продукт переработки какао-бобов в какао-масло, с помощью прессов из тертого какао выжимается масло.

Масло какао – жир, который выжимается из тёртого какао.

Какао-порошок – это высушенный и измельчённый какао-жмых, он остаётся от тёртого какао после выжимки какао-масла.

Постоянное употребление какао продуктов благоприятно воздействует на кожу, благодаря содержащимся в какао растительным фенолам – процианидинам. Эти вещества омолаживают кожу, а также стимулируют разглаживание мелких морщин. Данное их действие обусловлено способностью связывать молекулы коллагена, который поддерживает кожу упругой. Полифенолы – это основной «козырь» продукта, они хорошо влияют на здоровье сердца. Антиоксиданты, содержащиеся в какао, выводят из организма токсины, что поддерживает её здоровый вид и существенно замедляет старение кожи. Благодаря тирамину в какао продуктах улучшается работа щитовидной железы. Также, тёртое какао – это источник цинка и железа. Магний и калий укрепляют нервную систему, а кофеин – тонизирует. Антиоксидантов в какао больше, чем в зелёном чае. Меланин помогает защитить кожу от ультрафиолетовых лучей [3].

Сухое молоко – это порошок, который производят путём высушивания обычного коровьего молока.

Во время процесса высушивания в составе порошка сохраняются полезные вещества. Сухая смесь также богата калием, кальцием и фосфором, как и коровье молоко. Состав богат витаминами A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>12</sub>, H, PP, аминокислотами, насыщенными жирными кислотами. Сухое молоко так же питательно, как и пастеризованное. Как и обычное молоко, молочный порошок, богатый кальцием, укрепляет зубы и кости, помогает избежать остеопороза. Благодаря богатому витаминному составу сухое молоко положительно влияет на работу мозга, помогает справиться с усталостью, стрессом и бессонницей, поддерживает работу сердечно – сосудистой системы.

Концентрат сывороточного белка КСБ 80% – это концентрированная смесь глобулярных белков, которые получают из молочной сыворотки. Под сывороткой следует понимать жидкий состав, образующийся при створаживании, и который является побочным продуктом при изготовлении сыра.

Польза концентрата: быстрое восполнение энергии; хорошая стимуляция секреции инсулина, высокая скорость всасывания в ЖКТ; хорошая переносимость.

Арахисовое масло – в его составе содержатся жирные кислоты, которые помогают работе сердца, укрепляют нервную систему, улучшают иммунитет, нормализуют в крови уровень холестерина. Также это масло полезно тем, что включает в себя такие витамины, как A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>9</sub>, D, E и микроэлементы кальций, магний, йод, фосфор, цинк и множество других.

Доказаны и лечебные свойства арахисового масла при болезнях печени, крови, кожи, органов зрения, сердечно-сосудистой системы, сахарном диабете. Ввиду того что содержит ресвератрол применяется для лечения такого заболевания как рак.

Кунжут (кунжут индийский, симсим, сезам) – это травянистый однолетник семейства Педалиевые и его плоды.

Кунжут содержит клетчатку, которая благотворно влияет на пищеварительные процессы и улучшает моторику кишечника.

Кунжутное (сезамовое) масло – это растительное масло, получаемое из семян растения кунжут, которое почти не имеет запаха (присутствует слабый ореховый, сладковатый аромат) и обладает приятным вкусом.

Кунжутное масло оздоравливает кожу, является прекрасным средством лечения сухости слизистой оболочки носовой полости. Имеет способность очищать легкие и улучшать зрение,

применяется для лечения сердечных и легочных заболеваний, сухом кашле, одышке, астме, воспалительных и дегенеративных заболеваниях суставов, активно используется для профилактики остеопороза, выводит из организма яды.

Лецитин соевый – его создают на одном из этапов при приготовления соевого масла. Процесс его приготовления – это смешивание с водой и фосфорной кислотой, затем смесь прогоняют через центрифугу, высушивают в вакууме и отбеливают. В итоге нужный продукт выделяется из полученного результата, который состоит из фосфолипидов и масла.

Лецитин E322 – это смесь фосфолипидов со свободными жирными кислотами и углеводами. Этот продукт улучшает память и повышает концентрацию внимания, выводит радионуклиды и соли тяжёлых металлов, способствует понижению боли в суставах, выполняет роль антиоксиданта.

Глицерин E422 – это бесцветное вязкое вещество, которое добывают либо из растительных жиров, либо с помощью химического синтеза. Эта добавка имеет сладковатый привкус и едва уловимый запах. Её используют в качестве стабилизатора, подсластителя или загустителя. Она создаёт мягкую структуру у продукта.

Консервант сорбат калия - эта добавка (E202) может законсервировать продукт, тормозит развитие и появление ненужных микроэлементов. Данные параметры позволяют увеличить срок годности продукта и рассчитывать на сохранение качества и вкусовых особенностей изделия.

На основании изученного материала были разработаны рецептуры шоколадно-ореховых паст. Две из них, наиболее удачные, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рецептуры шоколадно-ореховой пасты

| Ингредиенты                            | 1 рецептура, г | 2 рецептура, г |
|----------------------------------------|----------------|----------------|
| Какао-порошок                          | 150,00         | 150,00         |
| Сухая молочная сыворотка               | -              | 50,00          |
| Концентрат сывороточного белка КСБ 80% | 30,00          | -              |
| Какао тёртое                           | 70,00          | 70,00          |
| Масло какао                            | 100,00         | 100,00         |
| Арахисовое масло                       | -              | 50,00          |
| Кунжутное масло                        | 50,00          | -              |
| Кунжут                                 | 30,00          | -              |
| Эритритол                              | 100,00         | 100,00         |
| Мальтитол                              | 50,00          | 100,00         |
| Стевия                                 | 0,30           | 0,30           |
| Лецитин соевый                         | 10,00          | 10,00          |
| Глицерин                               | 40,00          | -              |
| Вода                                   | 368,00         | 368,00         |
| Консервант сорбат калия                | 1,00           | 1,00           |
| Итого                                  | 1000,00        | 1000,00        |

Любой технологический процесс начинается с приемки сырья. Полученное сырьё должно иметь соответствующие сертификаты и соответствовать требованиям ГОСТов и ТУ. Далее мы взвешиваем компоненты согласно рецептуре. Потом подготавливаем компоненты: восстанавливаем и измельчаем. В процессе восстановления мы замачиваем какао – порошок, сухое молоко, КСБ 80% в воде, при температуре воды 20 – 25°C, в течение 30 мин. Эта смесь гомогенизируется. А в процессе измельчения – измельчаем какао-масло, какао тёртое. Следующим этапом идёт нагревание гомогенизированной смеси с измельченными компонентами и введением остальных компонентов до температуры 80 – 85°C. Затем перемешиваем и оцениваем физико-химические и органолептические показатели продукта. Отправляем на фасовку и определяем микробиологические показатели.

Полученные продукты исследованы по физико-химическим, органолептическим и микробиологическим показателям. Рассчитана пищевая и энергетическая ценность продукта.

## Методы исследования

### 1. Физико-химические показатели.

Все измерения проходили в трехкратной повторности, средние значения каждого результата представлены в таблицах.

#### 1.1. Определение сухих растворимых веществ (табл. 2).

При оценке качества готовой продукции определяют сухие вещества по рефрактометрическому методу, который основан на измерении величины коэффициента преломления исследуемой жидкости. Постоянная величина отношения синуса угла падения луча к синусу угла преломления существует при одинаковой  $t$  и давлении. Эта величина – показатель, который зависит от концентрации сухих веществ [4].

Таблица 2. Содержание сухих растворимых веществ

|                                         | 1 рецептура | 2 рецептура |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|
| Содержание сухих растворимых веществ, % | $65 \pm 2$  | $65 \pm 2$  |

#### 1.2. Определение pH.

Активная кислотность (pH) – характеризует концентрацию свободных ионов H в растворе (табл. 3). Этот метод основан на измерении электродвижущей силы элемента, который состоит из электрода сравнения с известной нам величиной потенциала и индикаторного электрода. Потенциал электрода определен концентрацией ионов водорода в исследуемом растворе.

Таблица 3. Активная кислотность pH

|    | 1 рецептура   | 2 рецептура   |
|----|---------------|---------------|
| pH | $6,3 \pm 0,2$ | $6,3 \pm 0,2$ |

#### 1.3. Определение активности воды.

Влажность является одним из определяющих показателей качества продукта при оценке качества и сроков годности. Количественное содержание влаги и ее состояние влияют на развитие микроорганизмов и протекания процессов при хранении продукта. Оценить данные процессы можно по показателю «активности воды» –  $a_w$ , он характеризует ту часть количества воды в продукте, которая не связана растворенными в ней веществами – химически несвязанную влагу пищевого продукта.

Активность воды можно определить отношением давления водяных паров над продуктом  $p$  к давлению паров над чистой водой  $p_0$  при одинаковой температуре (табл. 4):

$$a_w = \frac{p_w}{p_0} = \frac{POB}{100},$$

где  $p_w$  – давление водяного пара в системе над изделием;

$p_0$  – давление пара над водой;

POB – равновесная относительная влажность в состоянии равновесия, при которой изделие не поглощает и не отдает влагу в атмосферу, % [5, 6].

Таблица 4. Активность воды

|                 | 1 рецептура | 2 рецептура |
|-----------------|-------------|-------------|
| Активность воды | 0,86        | 0,85        |

#### 1.4. Определение пищевой и энергетической ценности.

Проводили расчетным способом. Пищевая ценность состоит из полезных свойств готового блюда или пищевого продукта, то есть – жиры, белки, углеводы, макро- и микроэлементы, витамины. Энергетическая ценность включает в себя полученную человеком энергию из готового блюда, готового блюда при биохимической реакции или количеством тепла, которое вырабатывается в организме человека. Каждый элемент пищевой ценности при окислении в организме выделяет тепловую энергию в разном количестве. Белки, жиры, углеводы имеют коэффициенты (K), учитывающие потери при кулинарной обработке. Соответственно для белков потеря составляет 6%  $K = 0,94$ ; для жиров 12%  $K = 0,88$ ; для углеводов 9%  $K = 0,91$ .

Энергетическая ценность рассчитывается исходя из следующих данных: 1 гр белков содержит 4,0 ккал; 1 гр жиров 9,0 ккал; 1 гр углеводов 3,75 ккал (табл. 5) [5].

Таблица 5. Энергетическая и пищевая ценности

|                               | 1 рецептура | 2 рецептура |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| Энергетическая ценность, ккал | 252,68      | 217,05      |
| Пищевая ценность:             |             |             |
| Жиры, г                       | 23,71       | 19,86       |
| Белки, г                      | 7,02        | 5,55        |
| Углеводы, г                   | 2,79        | 4,12        |

## 2. Микробиологические показатели.

Пищевые продукты – это благоприятная среда для развития микроорганизмов. Работники общественного питания могут правильно определить условия хранения, обработку сырья, приготовление блюд и их реализацию, зная характер микрофлоры продуктов питания и микробиологических процессов (табл. 6) [7].

Таблица 6. Микробиологические показатели продукта

|                                                  |                   |
|--------------------------------------------------|-------------------|
| КМАФАнМ, КОЕ/г, не более                         | 5*10 <sup>3</sup> |
| БГКП (колиформы) не допускаются, г               | 0,1               |
| Патогенные, в т.ч. сальмонеллы не допускаются, г | 25,0              |
| Дрожжи, КОЕ/г, не более                          | 50                |
| Плесени, КОЕ/г, не более                         | 50                |

Таблица 7. Допустимые уровни содержания токсичных элементов, микотоксинов, радионуклеидов в шоколаде

| Показатели безопасности   | Допустимые уровни, мг/кг, не более |
|---------------------------|------------------------------------|
| Токсичные элементы:       |                                    |
| Свинец                    | 1,0                                |
| Мышьяк                    | 1,0                                |
| Кадмий                    | 0,5                                |
| Ртуть                     | 0,1                                |
| Микотоксины:              |                                    |
| Афлотоксин В <sub>1</sub> | 0,005                              |
| Радионуклиды              |                                    |
| Цезий-137                 | 60                                 |
| Стронций-90               | 80                                 |

## 3. Органолептические показатели.

Органолептический анализ – анализ продукции с помощью органов чувств: вкуса, зрения, обоняния, осязания. Метод органолептической оценки предназначен для контроля качества продукции общественного питания [8]. Результаты органолептического анализа обеих рецептур приведены в таблице 8.

Таблица 8. Органолептические показатели шоколада

| Наименование показателя | Характеристика                                                               |                                                       |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                         | 1 рецептура                                                                  | 2 рецептура                                           |
| Вкус и запах            | Сладковатый, ощущается молочный и кунжутный привкус, без постороннего запаха | С привкусом молока и арахиса, без постороннего запаха |
| Внешний вид             | Однородная густая масса, с включениями добавлений                            |                                                       |
| Форма                   | Соответствующая рецептуре                                                    |                                                       |
| Консистенция            | Мажущая                                                                      |                                                       |
| Структура               | Однородная, с включениями добавлений                                         |                                                       |

## Выводы

1. Обоснован выбор сырья для приготовления шоколадно-ореховой пасты.
2. Разработаны рецептуры шоколадно-ореховой пасты без сахара.

3. Разработана технологическая схема производства шоколадно-ореховой пасты без сахара.
4. Представленные рецептуры в работе были разработаны со значением содержания сухих веществ  $65 \pm 2\%$ , в результате расчётные и экспериментальные значения были подтверждены экспериментом, после пробной выработки продукции, следовательно заданные свойства для разработанных рецептур были удовлетворены.
5. Анализируя полученные данные по содержанию сухих растворимых веществ и pH, мы можем сделать вывод, что развитие микроорганизмов практически невозможно. Следовательно, продукт может относиться к продуктам длительного срока хранения. Данные показатели в производственном процессе характеризуют качество продукта и при производстве каждой новой партии не должны меняться.
6. При разработке рецептур необходимо было добиться такой консистенции, которую можно наносить на хлеб или другие изделия в виде пасты. Эта задача была выполнена и полученные результаты подтверждают это качество.
7. Рассчитана пищевая и энергетическая ценность для каждого вида продукта.

### Литература

1. Беккет С.Т. Шоколад и шоколадные изделия // Сырье, свойства, оборудование, технологии: пер. с англ. под науч. ред. Т.В. Савенковой, Л.И. Рысейвой. СПб.: Профессия. – 2013. – 703 с.
2. Никитин И.А. и др. Разработка технологии шоколада диетического назначения на основе натуральных сахарозаменителей // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т.79. – №2(72.) DOI: 10.20914/2310-1202-2017-2-153-158.
3. Яшин Я.И., Яшин А.Я., Немзер Б.В. Какао и шоколад – пища и лекарства Богов (химический состав какао, антиоксидантная активность, биодоступность антиоксидантов, влияние на здоровье и старение человека). М.: Издательство «ТрансЛит». – 2015. – 128 с.
4. ГОСТ ISO 2173-2013 Межгосударственный стандарт. Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. // М.: Стандартинформ. – 2014. – 12 с.
5. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е. Кочаткова А.А. и др. Пищевая химия Под ред. А.П. Нечаева. Издание 3-е, испр. – СПб.: ГИОРД. – 2004. – 640 с.
6. Клименко С.И. Изучение физических свойств шоколада // Поиск (Волгоград). – 2019. – №1. – С. 31–33.
7. Еделев Д.А., Кантере В.М., Матисон В.А. Обеспечение безопасности продуктов питания на территории таможенного союза при введении в действие технического регламента ТР ТС 021/2011" О БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ" // Пищевая промышленность. – 2013. – №5. – С. 8–14.
8. ГОСТ Р. 31721-2012 Шоколад. Общие технические условия //М.: Стандартинформ. – 2013.

УДК 636.087.24

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ АВТОЛИЗА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫХОД И УГЛЕВОДНЫЙ СОСТАВ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК

**Кунцова М.Н.<sup>1</sup>** (студент), **Маньшин Д.В.<sup>1</sup>** (аспирант)

**Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Меледина Т.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: maria.kuntsova@mail.ru, dmanshin1@gmail.com

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620143 «Использование биопотенциала дрожжей в создании инновационных продуктов питания».*

---

В работе представлены результаты проведения двенадцати комбинаций процесса автолиза дрожжей *S.cerevisiae* и определены углеводы фенол-серноокислым методом в полученных клеточных стенках (КС). Установлено, что коэффициент автолиза зависит от плотности популяции дрожжей. Продолжительность процесса не оказывает влияние на выход КС и содержание остаточной глюкозы в ней.

**Ключевые слова:** автолиз, дрожжевые клеточные стенки, углеводный состав, дрожжи, фенол-серноокислый метод.

---

Целью данной работы является исследование влияния различных режимов автолиза на выход дрожжевых клеточных стенок. Необходимость изучения этого процесса вызвана отсутствием единого мнения о временном параметре и его влиянии на автолиз. Использование дрожжевых клеточных стенок перспективно в связи с тем, что на сегодняшний день остается большое количество остаточных дрожжей после процесса пивоварения, которые можно повторно использовать для выделения  $\beta$ -глюканов и маннопротеинов. Такие соединения, как  $\beta$ -глюканы применяются в медицине, как иммуномодуляторы с противоопухолевым действием [1]. Маннопротеины используют в пищевой промышленности, например, как БАД в пищу, в виноделии [2]. Кроме того, эти полисахариды используют в животноводстве и птицеводстве как добавку в корм животным [3].

Первым и основным этапом получения КС является проведение автолиза. Этот ферментативный процесс катализируется внутриклеточными гидролазами, в частности фосфолипазами, протеиназами и рибонуклеазами, которые в норме присутствуют в определенных клеточных структурах, лизосомах. Во время автолиза происходит выход этих ферментов в ЭПР и аппарат Гольджи, мембраны которых разрушаются, и содержимое этих везикул оказывается в цитоплазме, и процесс расщепления высокомолекулярных соединений клеток продолжается. При этом клеточные стенки дрожжей подвергаются гидролизу медленно, поэтому полный лизис, включающий и расщепление КС, как правило не достигается. Это важно в том случае, если целевым продуктом являются компоненты КС. В результате, в дрожжевом автолизате содержатся экстракт и клеточные стенки, доля которых может достигать 25% сухой массы клетки. Для получения чистого препарата КС их следует очистить от компонентов клеточного экстракта, в частности аминокислот, пептидов, нуклеотидов, дериватов гликогена и т.п. Чем эффективнее проходит процесс расщепления клеточных структур с образованием водорастворимых компонентов, тем короче будет процесс очистки КС от балластных веществ.

---

Из литературных источников следует, что контроль процесса проходит как правило по показателю мертвых клеток и содержанию сухих веществ (СВ) в экстракте. При этом неизвестно, какое количество клеток (клеточной массы) прошло полную деструкцию, а следовательно эти клетки отсутствуют при подсчете в образцах до и после автолиза. При этом следует иметь виду, что если клетки лизировались, то при этом повышается содержание СВ в экстракте, но снижается выход КС. Для оценки этого процесса был введен новый показатель – коэффициент автолиза. Чем выше значение коэффициента, тем эффективнее прошел автолиз.

Показатель вычисляется, как общая потеря высушенной биомассы в процессе автолиза по следующей формуле:

$$R = \frac{w_0 - w}{w_0} \times 100,$$

где R – коэффициент автолиза, %;

$w_0$  – биомасса до автолиза, г АСБ/5 мл дрожжевой суспензии;

$w$  – биомасса после автолиза, г АСБ/5 мл дрожжевой суспензии.

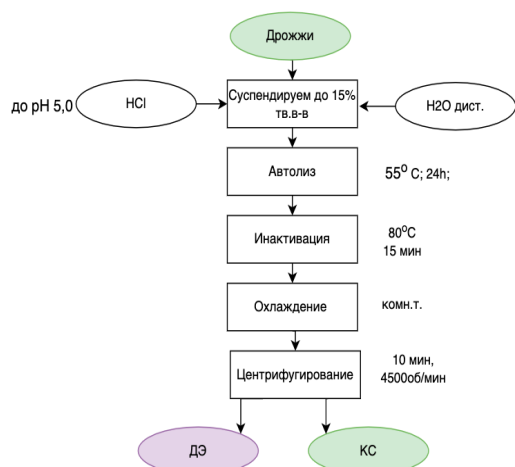


Рис. 1. Схема проведения автолиза

Автолиз проводили в трех повторностях в двенадцати вариациях с пекарскими дрожжами *S.cerevisiae*. Постоянными факторами были температура 55°C и pH 5,0. Содержание сухих веществ в исходной суспензии дрожжей изменяли в пределах от 10 до 25% и длительность автолиза варьировали от 24 до 48 ч. Результаты экспериментов представлены на рисунке 2.

По результатам эксперимента видно, что суспензии 10 и 15% показали максимальный коэффициент автолиза, а в 25% суспензии клетки лизируются меньше. Увеличение продолжительности эксперимента для всех вариантов опытов оказалось неэффективным.

Контроль чистоты КС вели по содержанию СВ в промывной воде. Промывку проводили до содержания СВ 0,1%. Например, расход воды на 1 г 15% суспензии составил 10 мл.

Для установления остаточной глюкозы в КС использовали фенол-сернокислый метод, как показано на рисунке 3 (цветом на рисунке показано время автолиза; по оси абсцисс указано содержание сухих веществ в обрабатываемой суспензии; по оси ординат – коэффициент автолиза). Основной принцип этого метода заключается в том, что при дегидратации углеводов в результате реакции с концентрированной серной кислотой образуются производные фурфурола. Дальнейшая реакция между производными фурфурола и фенолом приводит к заметному окрашиванию [5].

На рисунке 1 приведена схема получения КС и дрожжевого экстракта. Дрожжи суспендировали до содержания сухих веществ 15% в дистиллированной воде. Подкисляли соляной кислотой до pH 5,0. Процесс протекал при 55°C в течение 24 часов. Инактивацию проводили в течение 15 минут при 80°C, охлаждали до комнатной температуры и центрифугировали в течение десяти минут при 4500 об/мин [4].

Далее последовательно очищали все образцы КС от компонентов экстракта дистиллированной водой, как показано на рисунке 2. Дрожжевой автолизат центрифугировали 5 раз в течение 10 минут при 6000 об/мин.

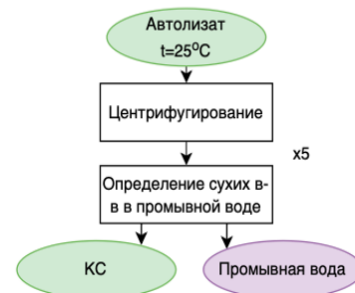


Рис. 2. Схема промывки клеточных стенок

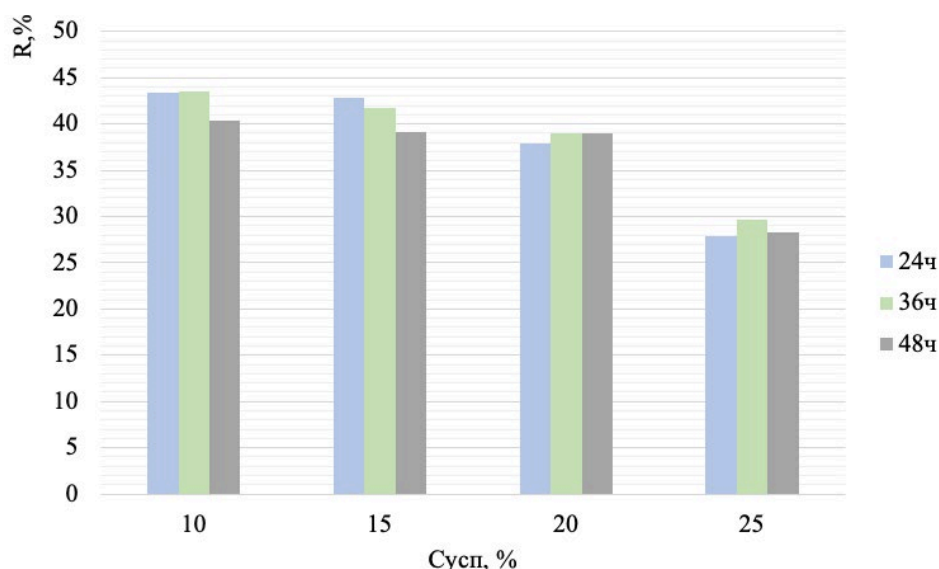


Рис. 3. Сравнение коэффициентов автолиза при различных содержаниях сухих веществ и времени автолиза

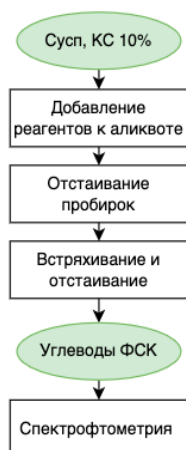


Рис. 4. Схема проведения анализа ФСК методом

К 2 мл 10% суспензии КС добавляли 1 мл 5% свежеприготовленного водного раствора фенола и 5 мл концентрированной серной кислоты, пробирки отстаивали в течение 10 минут при комнатной температуре, активно встряхивали в течение 30 секунд и отстаивали на холодной водной бане 20 минут. Углеводы определяли на спектрофотометре с УФ-лампой при длине волны 490 нм.

Результаты эксперимента показали, что максимальное количество углеводов обнаружено после автолиза суспензии с концентрацией 25% СВ, при этом в 10% суспензии количество глюкозы было минимальным, а именно в два раза меньше. Продолжительность автолиза никак не сказалась на содержании глюкозы в КС.

При микроскопировании было обнаружено, что концентрация клеток после автолиза меньше, чем в первоначальной суспензии. Вероятно, это связано с саморастворением (лизисом) клеток во время автолиза под действием собственных гидролитических ферментов.

На основании результатов автолиза и определения остаточных углеводов можно сказать, что время незначительно влияет на протекание процесса. С уменьшением концентрации дрожжей в суспензии возрастает количество лизированных клеток, о чем свидетельствует высокое, по сравнению с другими вариантами, значение коэффициента автолиза. В том случае, когда преследуется цель получения КС следует повышать концентрацию дрожжей, которые должны подвергаться автолизу.

## Литература

1. Jin Y., Li P., Wang F.  $\beta$ -glucans as potential immunoadjuvants: A review on the adjuvanticity, structure-activity relationship and receptor recognition properties // *Vaccine*. – 2018. – Т.36. – №35. – С. 5235–5244.
2. Wang S. et al. Mannoproteins interfering wine astringency by modulating the reaction between phenolic fractions and protein in a model wine system // *LWT*. – 2021. – Т.152. – С. 112217.
3. Morales-Lopez R. et al. Use of yeast cell walls;  $\beta$ -1, 3/1, 6-glucans; and mannoproteins in broiler chicken diets // *Poultry science*. – 2009. – Т.88. – №3. – С. 601–607.
4. Liu H.Z. et al. Structural characterization and antineoplastic activity of *Saccharomyces cerevisiae* mannoprotein // *International journal of food properties*. – 2015. – Т.18. – №2. – С. 359–371.
5. Dubois M. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances // *Analytical chemistry*. – 1956. – Т.28. – №3. – С. 350–356.



УДК 577.114

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРОЖЖЕВОГО БЕТА-ГЛЮКАНА

Курицына А.А.<sup>1</sup> (студент)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Иванова В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: valeriaabramzon@yandex.ru

---

В работе представлен анализ методов количественного измерения  $\beta$ -глюкана клеточных стенок дрожжей. Рассмотрено 2 метода количественного анализа: ферментативный анализ  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкана с применением солюбилизации щелочью, ферментативный анализ  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкана с применением щелочной и кислотной экстракций.

**Ключевые слова:**  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкан;  $\beta$ -глюкан, дрожжи, количественный анализ, клеточная стенка.

---

$\beta$ -глюканы, являющиеся структурными полисахаридами клеточной стенки дрожжей, обладают иммуномодулирующими свойствами, находят применение как носители лекарственных препаратов, компоненты косметических средств. Важными особенностями такого  $\beta$ -глюкана являются загущающие, структурообразующие, эмульгирующие и жиромимитирующие свойства. Таким образом,  $\beta$ -глюкан может быть использован в качестве пищевой добавки как загуститель и заменитель молочного жира [1].

$\beta$ -глюканы вызывают особый интерес, поскольку представляют собой семейство полисахаридов мономеров D-глюкозы, соединенных посредством  $\beta$ -гликозидных связей и отличающихся между собой молекулярной массой, плотностью и трехмерной структурой.

На биологическую активность  $\beta$ -глюкана влияют его физико-химические свойства, в частности его структура, растворимость, конформация и размер молекулы. Есть мнение, что наибольшую иммуностимулирующую активность проявляют глюканы с  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-гликозидными связями вследствие их трехмерной спиральной структуры. Такие  $\beta$ -глюканы содержатся в клетках дрожжей [1].

Кроме того – дрожжи легкодоступное сырье, они являются отходом при производстве пива и вина и могут быть использованы для получения  $\beta$ -глюкана. Поэтому настоящее исследование посвящено анализу количественных методов определения дрожжевого  $\beta$ -глюкана.

На сегодняшний день существует несколько методик для количественного определения  $\beta$ -глюкана, в основе которых лежат химическая экстракция с последующим ферментализмом и спектрофотометрическим определением концентрации простых сахаров.

1. Ферментативный анализ  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкана с применением солюбилизации щелочью.

Рассматриваемый ферментативный метод измерения  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкана в дрожжевых продуктах соответствует методу, описанному в процедуре набора для ферментативного измерения  $\beta$ -глюкана дрожжей K-EBHLG (Megazyme, Ирландия) [2].

Принцип действия: пробу, содержащую  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкан, солюбилизируют в 2 м КОН при перемешивании и затем раствор доводят до pH 4,0 – 4,5 с помощью 1,2 м натрий-ацетатного буфера. Суспензию инкубируют с ферментным препаратом Glucamix (смесь экзо-1,3- $\beta$ -глюканазы, эндо-1,3- $\beta$ -глюканазы,  $\beta$ -глюкозидазы и хитиназы) в течение 16 ч. при 40°C. После разбавления и центрифугирования отбирают аликвоту для определения глюкозы с реактивом GOPOD (смесь глюкозооксидазы, пероксидазы и 4-аминоантипирина) [2, 3].

В данной методике измерения  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкана используется инкубация со смесью  $\beta$ -глюкозидазы/ $\beta$ -глюканазы/хитиназы. Метод основан специфическом определении  $\beta$ -глюкана с использованием смеси ферментов, разрушающих  $\beta$ -гликозидные связи, без применения ферментов, активных в отношении гликогена ( $\alpha$ -глюкан). В отдельных случаях такой подход искажает результаты количественного определения  $\beta$ -глюкана.

Метод имеет свои ограничения из-за возможного перекрестного связывания  $\beta$ -глюкана с хитином и белком и неприменим для клеток дрожжей и грибов, может использоваться только для готовых препаратов  $\beta$ -глюкана.

## 2. Ферментативный анализ $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-глюкана с применением кислотной и щелочной экстракций.

Метод, основанный на кислотном гидролизе, направлен на достижение полного гидролиза как  $\alpha$ -, так и  $\beta$ -глюкана до глюкозы, минимизируя при этом потери глюкозы в результате вторичных реакций (например, образования гидроксиметилфурфурола). Набор K-YBGL (Megazyme, Ирландия) для анализа  $\beta$ -глюкана на данный момент является наиболее удобным и точным среди методов количественного обнаружения  $\beta$ -глюкана в дрожжах и грибах. В этом анализе учитывается общее содержание глюкозы в образцах (полученной в результате разрушения  $\alpha$ - и  $\beta$ -глюканов), а также концентрация  $\alpha$ -глюкана непосредственно. Концентрацию  $\beta$ -глюкана определяют по разнице этих значений (McCleary, B. V. & Draga, A. 2016) [3].

Подобный метод описан и в ГОСТ Р 57513-2017 «Продукция пищевая специализированная. Методы определения бета-глюканов», но набор K-YBGL (Megazyme, Ирландия) адаптирован для лабораторного анализа, благодаря чему удобен в использовании [4].

Принцип действия:  $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,6-D-глюканы,  $\beta$ -1,3-D-глюканы и  $\alpha$ -глюканы солубилизируются в ледяной 12M  $H_2SO_4$ , а затем гидролизуются почти полностью в 2 м  $H_2SO_4$ . Затем оставшийся глюкан количественно гидролизуются до глюкозы с использованием экзо-1,3- $\beta$ -глюканазы и  $\beta$ -глюкозидазы. Это дает возможность измерить общее количество глюкана.  $\alpha$ -глюканы и сахароза специфически гидролизуются до D-глюкозы благодаря предварительной экстракции щелочью и последующему ферментолиту амилаглюкозидазой и инвертазой. D-фруктоза и глюкоза измеряются с помощью реагента GOPOD.  $\beta$ -глюкан определяется разницей общего глюкана и  $\alpha$ -глюкана [5].

Таким образом, для более точного измерения общего содержания  $\beta$ -глюкана в дрожжах, грибах и препаратах на их основе, согласно изученной литературе, рекомендуется гидролиз с  $H_2SO_4$ , с последующей инкубацией с экзо-1,3- $\beta$ -глюканазой/ $\beta$ -глюкозидазой для обеспечения полного гидролиза олигосахаридов до глюкозы.  $\alpha$ -глюкан измеряется отдельно с использованием процедуры количественного анализа гликогена, а  $\beta$ -глюкан определяется как разница этих двух значений.

## Литература

1. Petravic-Tominac V., Zechner-Krpan V. Application of Different Drying Methods on  $\beta$ -Glucan Isolated from Spent Brewer's Yeast Using Alkaline Procedure // *Agriculturae Conspectus Scientificus*. – 2019. – Vol.75. – №1. – Pp. 149–158.
2. Enzymatic yeast beta-glucan assay procedure. Assay procedure. K-EBHLG. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://secure.megazyme.com/files/Booklet/K-EBHLG\\_DATA.pdf](https://secure.megazyme.com/files/Booklet/K-EBHLG_DATA.pdf) (дата обращения: 08.02.2022).
3. McCleary B.V., Draga A. Measurement of  $\beta$ -Glucan in Mushrooms and Mycelial Products // *Journal of AOAC International*. – 2016. – Vol.99(2). DOI: 10.5740/jaoacint.15-0289.
4. ГОСТ Р 57513-2017. Продукция пищевая специализированная. Методы определения бета-глюканов. – Введен 01.07.2018. – М.: Стандартинформ. – 2017. – 18 с.
5. Mushroom and yeast beta-glucan. Assay procedure. K-YBGL. Megazyme. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.megazyme.com/documents/Booklet/KYBGL\\_DATA.pdf](https://www.megazyme.com/documents/Booklet/KYBGL_DATA.pdf) (дата обращения: 10.02.2022).

УДК 66.974.434

## ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СБОРА: ПРАКТИЧЕСКИЙ КЕЙС

*Лебедянцева Е.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Агаханянц П.Ф.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: maydrow@gmail.com*

---

В работе рассмотрена концепция расширенной ответственности производителей товаров и услуг в рамках одного из способов обеспечения выполнения нормативов утилизации отходов, а именно расчета экологического сбора производства растворимого кофе. Определены виды упаковки на производстве, оказывающие наибольшее влияние при расчете сбора и предложен способ снижения общей суммы экологического сбора.

**Ключевые слова:** расширенная ответственность производителей, растворимый кофе, нормативы утилизации, экологический сбор, стеклянная упаковка.

---

В 2015 году в России введен механизм расширенной ответственности производителей (РОП). Производители и импортеры ответственны за утилизацию тех товаров, которые произвели, и той упаковки, которую использовали при выпуске товаров на рынок. Если же они не обеспечивают утилизацию отходов, то должны уплачивать экологический сбор [1].

Впервые понятие концепции РОП появилось в Швеции в 1990 году, а в настоящее время на примере таких стран как Германия, Швеция и Канада можно увидеть, что данный механизм работает и позволяет снизить негативное воздействие производственной деятельности на окружающую среду. Кроме того, РОП может способствовать переходу к экономике замкнутого цикла, а введение экологического сбора в свою очередь является одним из способов достижения целей данной программы.

Существует несколько вариантов обеспечения выполнения нормативов утилизации:

- непосредственно самим производителем товаров, импортером товаров путем организации собственных объектов;
- путем заключения договоров с оператором по обращению с твердыми коммунальными отходами, региональным оператором, индивидуальным предпринимателем, юридическим лицом, осуществляющими утилизацию отходов от использования товаров (за исключением твердых коммунальных отходов);
- на основании договора поручения обеспечивать выполнение нормативов утилизации российскому экологическому оператору или ассоциации;
- путем уплаты экологического сбора [2].

Согласно данным экологической отчетности за 2020 г на предприятии по производству кофе, расположенном в Ленинградской области, сумма экологического сбора составила 17 520 540 руб.

В перечень упаковки, используемой на предприятии, входят:

- упаковка металлическая из алюминия (0,04%);
  - упаковка полимерная (10,85%);
  - упаковка из гофрированного картона (14,76%);
  - упаковка из бумаги и не гофрированного картона (11,25%);
  - упаковка стеклянная (63,10%).
-

На данном предприятии существенной статьей, увеличивающей экологический сбор, является стеклянная упаковка. Оборот растворимого кофе, упаковываемого в стеклянные банки, обладающие существенным весом, растет с каждым годом. При этом найти добросовестного переработчика, способного утилизировать такие количества вторсырья, достаточно проблематично.

Большая часть растворимого кофе, производимого на данном предприятии, упаковывается в стеклянные банки.

В стеклянной банке кофе хранится дольше всего, так как стекло является химически прочным, ароматонепроницаемым, влаго-, паро-, газо-, масло- и жиростойким материалом, а также обладает высокими прочностными свойствами. Поэтому стеклянная банка надолго сохранит вкусовые качества кофе [3].

Кроме того, согласно социологическим исследованиям, при выборе кофе практически все потребители обращают внимание на вид упаковки, лишь для 2,5% не имеет значения в какой упаковке реализуется кофе. Наиболее популярной упаковкой является стеклянная банка (49,2%) [4].

В результате за 2020 год на территории РФ было выпущено в оборот порядка 11 500 т готовой продукции в стеклянной упаковке, а количество стеклянной упаковки, подлежащей утилизации и уплате экологического сбора, составило 17 227 т.

Каким образом можно уменьшить сумму экологического сбора на предприятии?

Так как ключевым элементом при расчете суммы платежа является масса упаковки, можно снизить итоговое значение путем облегчения стеклянной упаковки.

Для расчетов (табл. 1) взяты два вида готовой продукции: растворимый сублимированный кофе 95 г и 190 г, как одни из наиболее востребованных у потребителей и, соответственно, выпускающиеся в большом объеме.

Таблица 1. Параметры упаковки растворимого кофе

| Продукт                                         | Натуральный растворимый кофе 95 г | Натуральный растворимый кофе 190 г |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Вес стандартной стеклянной банки, г             | 273                               | 485                                |
| Вес облегченной стеклянной банки, г             | 250                               | 450                                |
| Снижение веса относительно стандартной банки, % | 8                                 | 7                                  |
| Количество готовой продукции, шт/год            | 7 560 000                         | 3 780 000                          |
| Количество стандартной стеклянной упаковки, кг  | 2 063 880                         | 1 833 300                          |
| Количество облегченной стеклянной упаковки, кг  | 1 890 000                         | 1 701 000                          |

Исходя из расчетов суммы экологического сбора (табл. 2) по формуле расчета экологического сбора [5] экономия составит порядка 196,26 тыс. руб. (или 1,78%).

Таблица 2. Расчет экологического сбора

| Условия                                           | Сумма экологического сбора | Примечания                                                         |
|---------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| При использовании стандартной стеклянной упаковки | 11 042,30 тыс. руб.        | При ставке экологического сбора = 2 564, нормативе утилизации = 25 |
| При использовании облегченного варианта упаковки  | 10 846,04 тыс. руб.        |                                                                    |

Таким образом, модернизация стеклянной упаковки позволит нам уменьшить итоговое количество стеклянных отходов, подлежащих утилизации и тем самым снизит расходы предприятия на экологический сбор. Однако, это является лишь одним из направлений, которые могут способствовать снижению суммы платежа.

## Литература

1. Концепция Правительства РФ от 28.12.2020 № 12888п-П11 «Концепция совершенствования института расширенной ответственности производителей и импортеров товаров и упаковки». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573324833> (дата обращения: 10.01.2022).
2. Росприроднадзор – О предоставлении отчетности о выполнении нормативов утилизации отходов от использования товаров и уплате экологического сбора. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rpn.gov.ru/activity/rop/info/> (дата обращения: 21.12.2021).
3. Татарченко И.И., Пуздрова Н.В., Славянский А.А., Макарова С.А. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение кофе // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2014. – №4. – С. 51–58.
4. Ушакова Т.В., Дымова Ю.И. Исследование потребительских предпочтений в отношении растворимого кофе // Инновации в пищевой биотехнологии: Материалы VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово: Кемеровский государственный университет. – 2019. – С. 447–449.
5. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ (последняя редакция). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (дата обращения: 13.12.2021).

УДК 664.696

## ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ПРОЦЕССЕ ЗАМАЧИВАНИЯ ГОЛОЗЕРНОГО ОВСА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОВСЯНОГО МОЛОКА

*Лизогубова А.А.<sup>1</sup> (студент)*

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: alica.lizogubova@gmail.com, barakova@corp.ifmo.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».*

---

Выполнен обзор важности создания новых продуктов на основе овса, описаны польза овса и его проростков. Указана необходимость технологии проращивания голозерного овса. Описан процесс замачивания зерен овса.

**Ключевые слова:** овсяное молоко, пророщенное зерно, пророщенный овес, режим проращивания.

---

В настоящее время существует необходимость расширения ассортимента продуктов на основе растительных компонентов. Ограничение употребления молочной продукции связаны с ростом вегетарианства и увеличением числа людей с непереносимостью лактозы.

Овес высоко ценится за его пищевые волокна, фитохимические вещества и высокую питательную ценность, поэтому его можно использовать для получения продуктов питания функциональной направленности [1]. Овсяное молоко является одной из новых альтернатив молоку, которые появились на мировом рынке в последние годы. Из-за своего приемлемого вкуса, питательных преимуществ и низкого воздействия на окружающую среду овсяное молоко стало второй по популярности альтернативой растительному молоку после миндального молока [1].

В свете питательной ценности обычного овса интерес к пророщенному овсу также постепенно возрастает. Проращивание – это процесс, при котором семена впитывают влагу и в нем начинают происходить различные биохимические и метаболические процессы с производством молодых корней и побегов. Разработка инновационных продуктов на основе овса с питательной ценностью и пользой для здоровья, является новой областью интересов. Проращивание представляет собой один из подходов для этих целей, поскольку во время проращивания активируются различные ферменты. Кроме того, повышается усвояемость углеводов, что приводит к усилению усвоения питательных веществ в организме [2]. Проводились эксперименты, в которых было показано увеличение белка, незаменимых аминокислот, фенольных соединений и  $\gamma$ -аминомасляной кислоты (ГАМК) во время проращивания зерен овса [3]. Проращивание семян вызывает сложные трансформации крахмала, белков и липидов в структурных (например, клетчатку) и клеточных компонентах ростков [4], что способствует лучшему усвоению полезных веществ. Из этого следует, что пророщенный овес соответствует текущим потребностям потребителей в натуральных и здоровых растительных продуктах питания благодаря компонентам, входящим в его состав. Таким образом, можно сделать вывод о том, что овсяное молоко из пророщенного зерна овса

соответствует тенденциям здорового рынка и нуждам потребителей в отношении более здоровых ингредиентов без глютена и растительной основе.

Однако, в процессе разработки технологии приготовления овсяного молока из пророщенного зерна оказалось недостаточно данных о режимах замачивания и проращивания зерна.

Целью данной работы являлось определение необходимого количества внесения воды в 1 час на 1 г зерна голозерного овса для поддержания влаги в нем на уровне  $w = 40\%$ .

В рамках работы были поставлены следующие задачи: определить время и скорость накопления влаги зерном до (влажности)  $w = 40\%$ , определить, насколько снизится влага в зерне за 24 часа при  $t = 20^\circ\text{C}$ , определить какое количество воды необходимо вносить на 1 г голозерного овса для поддержания влаги в нем на уровне  $w = 40\%$ .

Объектом исследований стал овес голозерный "Здоровка", пищевая ценность которого на 100 г составляет: белки – 10,0 г, жиры – 6,2 г, углеводы – 55,1 г.

Измерение влаги в зерне с использованием аппарата Чижовой температуре при  $160 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 5 мин. Метод основан на обезвоживании анализируемого материала с помощью тепловой энергии инфракрасного излучения.

Для определения скорости накопления влаги зерном до 40%, так как эта влажность считается оптимальной для проращивания, на 100 г зерна голозерного овса вносилось 50 мл водопроводной воды  $t = 20^\circ\text{C}$  для повышения влажности зерна и с равными промежутками времени измерялась влажность зерна (рис. 1).

Для определения скорости снижения влаги в зерне за 24 часа, остатки воды сливали для того, чтобы не происходило дальнейшее его увлажнение и зерно влажностью 40% оставляли в помещении при  $t = 20^\circ\text{C}$  на 24 часа. После чего вновь измеряли влажность зерна (рис. 2).

Количество воды, которое необходимо вносить на 1 г голозерного овса для поддержания влаги в нем на уровне  $w = 40\%$  определяли, анализируя полученные данные.

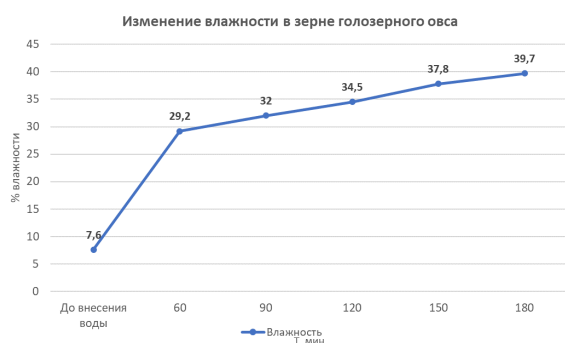


Рис. 1. График изменения влажности в зернах голозерного овса в процессе замачивания

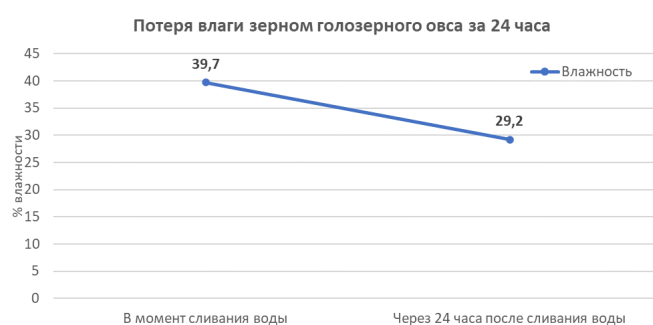


Рис. 2. График потери влажности зерном голозерного овса за 24 часа после окончания процесса замачивания

Анализируя график можно сделать вывод с какой скоростью зерно потребляет воду. Наиболее интенсивный процесс потребления воды происходит в первый час. Далее скорость накопления влаги зерном снижается. Достижения зерна влажности 40% происходит примерно через 3 часа, в этот момент можно закончить процесс замачивания зерна.

Через 24 часа после слития воды влажность зерна снизилась до  $w = 29,2\%$ .

Анализируя оба графика, можно сделать вывод, что для поддержания влажности на уровне 40% для проращивания зерна на 1 г зерна каждый час необходимо вносить 0,1 г воды.

Растущая потребность в растительных альтернативах обычному молоку выявляет необходимость создания новых продуктов. Производство овсяного молока на основе пророщенного зерна является перспективным вариантом продукта, отвечающего нуждам потребителей в отношении товаров из растительного сырья и без глютена. Поэтому в последние годы растительные альтернативы молоку становятся все более желательными, в том числе и из-за их предполагаемой пользы для здоровья. Кроме того, продукты на основе злаков являются основным доступным и недорогим источником калорий и других питательных веществ во всем мире.

## Литература

1. Wang X., Ye A., Dave A. and Singh H. Structural changes in oat milk and an oat milk–bovine skim milk blend during dynamic in vitro gastric digestion // Food Hydrocolloids. – 2022. – V.124. – Pp. 107311. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.107311.
2. Kim I.S., Hwang C.W., Yang W.S., Kim C.H. Multiple Antioxidative and Bioactive Molecules of Oats (*Avena sativa* L.) in Human Health. // Antioxidants (Basel). – 2021 Sep 13. – №10(9). – Pp. 1454. DOI: 10.3390/antiox10091454.
3. Aparicio-García N., Martínez-Villaluenga C., Frias J. and Peñas E. Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. // Food Chemistry. – 2021. – V.338. – Pp. 127972. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127972.
4. Nemzer B., Lin, Y. and Huang D. Antioxidants in sprouts of grains. // Sprouted Grains. – 2019. – Pp. 55–68. DOI: 10.1016/b978-0-12-811525-1.00003-8.



УДК 664.28

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ МАЛЬТОДЕКСТРИНОВ И ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ

*Лусина Е.И.<sup>1</sup> (студент)*

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

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: katherinelisina@gmail.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 представлено описание циклодекстринов и мальтодекстринов с точки зрения их способности образовывать стабильные комплексы с биологически активными веществами. Выполнен обзор имеющихся технологий периодического и непрерывного получения декстринов из крахмала и представлены некоторые способы их модификации.

**Ключевые слова:** мальтодекстрин,  $\beta$ -циклодекстрин, модификация, получение  $\beta$ -циклодекстрина в биореакторе, матрицы для инкапсуляции.

---

Среди всех материалов для инкапсуляции биологически активных веществ широко используются природные полисахариды. Применяемые в пищевой промышленности матрицы должны быть в первую очередь нетоксичны, устойчивы к нагреванию, изменению кислотности среды и способны образовывать комплексы, чтобы успешно доставить инкапсулируемое активное соединение в пищеварительную систему. Матрицы с подходящими свойствами могут быть получены из недорогих материалов, таких как картофельный или кукурузный крахмал. К полисахаридам, получаемым из крахмала, относятся мальтодекстрин (МД) и циклодекстрин (ЦД), причем последний образуется из первого в результате реакции циклизации.

Мальтодекстрин — это относительно дешевый материал с нейтральным ароматом и вкусом, высокой растворимостью в воде, обладающий антиоксидантными свойствами. Он содержит от 3 до 17 молекул глюкозы, соединенных  $\alpha$ -(1,4)-гликозидными связями.

Циклодекстрины представляют собой семейство циклических олигомеров глюкозы, которые широко используются в фармацевтике для множества целей, в основном из-за их чрезвычайно низкой токсичности, превосходной биосовместимости, не иммуногенности и хорошей способности к комплексообразованию с различными липофильными фрагментами для доставки или функционализации, а также их способность преодолевать определенные биологические барьеры, относящиеся к доставке лекарств.

За счет уникальной способности  $\beta$ -циклодекстринов образовывать комплексы включения с множеством соединений, они применяются в пищевой промышленности в основном в качестве стабилизаторов компонентов, чувствительных к кислороду и разложению под действием тепла или света. Структура усеченного конуса с гидрофильной внешней поверхностью и гидрофобным внутренним пространством, позволяет помещать в полость циклодекстринов молекулы с низкой полярностью. В водных средах этот процесс происходит самопроизвольно в результате вытеснения молекул воды из неполярной полости и

установление гидрофобных, электростатических и ван-дер-ваальсовых взаимодействий или водородных связей с помещаемой молекулой [1].

Целью данной работы является обзор и описание технологий, использующихся для получения и модификации мальтодекстринов и циклодекстринов.

Исследователями из Кемеровского Государственного Университета и Московского Государственного Университета Технологий и Управления им. К.Г. Разумовского разработан метод получения мальтодекстринов из картофельного крахмала. В основе метода лежит ферментативный гидролиз крахмала с последующим высушиванием в распылительной сушилке.

В начале эксперимента готовят 400 см<sup>3</sup> 1% крахмального клейстера. Далее ферментный препарат *Амилोलюкс АТС* (термостабильная  $\alpha$ -амилаза, активность: 3000 ед/мл) растворяют в дистиллированной воде в концентрации 0,5 мл/50 см<sup>3</sup> и активируют нагреванием до 60°C.

Для начала гидролиза картофельного крахмала к приготовленному клейстеру необходимо добавить 3,3 мл ферментного препарата. Приготовленную суспензию перемешивают и помещают в водяную баню с температурой  $65 \pm 2^\circ\text{C}$ . Каждую минуту отбирают пробу и вносят ее в 0,1 Н раствор KI, контролируя процесс разжижения крахмала. О протекании реакции свидетельствовало изменение окраски пробы, добавленной в раствор йода, от ярко синего до желтого. Гидролиз заканчивают, когда суспензия окрашивалась в желтый цвет.

Полученные гидролизаты высушивают в распылительной сушилке в течение 3 часов при 100°C. Температура потока воздуха составляла 100°C, а скорость подачи раствора в установку 12 – 13 мл/мин. Полученный порошок охлаждают до 30 – 35°C и упаковывают [2].

Из полученных кристаллов мальтодекстрина по методике Гулюка Н.Г. и его коллег, возможно получить  $\beta$ -циклодекстрины. Для направления ферментативной реакции на получение интересующего вида циклодекстрина используют органические комплексообразователи. В данной методике в качестве комплексанта выбран трихлорэтилен по причине его малой токсичности и легкости последующего удаления из раствора.

Сухой мальтодекстрин растворяют в воде при температуре 70 – 75°C. Доводят pH раствора до значения 5,0 – 5,5, после чего нагревают до 55°C и помещают в банку, оборудованную крышкой с мешалкой. Декстрины циклизуют добавлением к раствору 10 г ферментного препарата *Novozymes Toruzyme*, который представляет собой циклодекстрин глюканотрансферазу (ЦГТ), и трихлорэтилена в количестве 5% от объема субстрата. Реакция образования  $\beta$ -циклодекстрин-трихлорэтилена проводится при постоянном перемешивании и температуре в течение 48 часов.

После окончания циклизации раствор кипятят 20 минут для удаления остатков трихлорэтилена из смеси. Для последующего использования комплексанта, пар кипящей смеси пропускают через холодильник, конденсируют и отстаивают. Далее берут 20 г активированного угля и в течение 20 минут очищают раствор, после чего фильтруют и выпариванием доводят количество сухих веществ до 45%. Охлажденную до 20°C смесь центрифугируют, высушивают полученный осадок в распылительной сушилке и упаковывают [3].

Известна технология непрерывного производства  $\beta$ -циклодекстрина, катализируемого иммобилизованной на хитине ЦГТ, в биореакторе с уплотненным слоем. В результате непрерывного синтеза циклодекстрина из крахмала в течение 50 часов удалось достичь производительности 239 г  $\beta$ -ЦД/л·ч при концентрации субстрата 4%. При увеличении скорости подачи до 5 мл/мин выход увеличился до 310 г  $\beta$ -ЦД/л·ч. Кроме того, биокатализатор показал высокую стабильность. Таким образом, иммобилизованную ЦГТ-азу возможно использовать 100 раз, сохраняя около 60% ее исходной активности, или в непрерывном процессе использовать в течение 100 ч, выполняя промывку буфером через 50 ч при сохранении максимальной производительности [4].

В недавних исследованиях  $\beta$ -циклодекстрин этерифицировали октенилэтантарным ангидридом в щелочных условиях, получая октенилэтантарный- $\beta$ -ЦД, в полость которого

помещали молекулу витамина Е. В результате эксперимента было показано, что модификация  $\beta$ -ЦД способствует возникновению комплексов включения с улучшенной стабильностью.

Эффективность и применимость циклодекстринов можно повысить, если включить их в полимерную структуру. Циклодекстриновые полимеры синтезируют путем сшивания с полифункциональными реагентами, то есть содержит несколько молекул ЦД, соединенных сшивающим агентом – эпихлоргидрином [5].

$\beta$ -циклодекстрин смешивали с таким же количеством воды в термостатируемом реакционном сосуде. Чтобы избежать окисления, добавляли 12 мг  $\text{NaBH}_4$ . Эпихлоргидрин (47,32 г) осторожно добавляли при 50°C при перемешивании в течение четырех минут. После в раствор по каплям добавляли 65 мл 40% водного раствора  $\text{NaOH}$ , поддерживая температуру на уровне 50°C. Во время добавления перемешивание продолжали при постоянной температуре в течение 1 ч до достижения точки гелеобразования. Дезактивация избытка сшивающего агента проводилась добавлением 1 воды. Продукт охлаждали до комнатной температуры, постоянно перемешивая. После нейтрализации щелочной среды разбавленным водным раствором  $\text{HCl}$  смолу несколько раз промывали водой и этанолом. Сшитый полимер  $\beta$ -циклодекстрина получали высушиванием смолы при 60°C в течение 3 дней.

На данный момент задача биотехнологии – сделать продукты питания одновременно привлекательными, полезными и недорогими. Для её выполнения необходимо сделать доступным способ получения полисахаридных матриц для включения биологически активных веществ в промышленных масштабах. Таким образом, применение непрерывного синтеза декстринов из крахмала на гетерогенном биореакторе вместе с иммобилизацией ферментных препаратов на инертных носителях может упростить и удешевить процесс получения, модификации и исследования мальто- и циклодекстринов.

## Литература

1. Hongmei He, Sha Chen, Jianzhi Zhou, Yin Dou, Liu Song, Ling Che, Xing Zhou, Xin Chen, Yi Jia, Jianxiang Zhang, Shuhui Li, Xiaohui Li. Cyclodextrin-derived pH-responsive nanoparticles for delivery of paclitaxel // *Biomaterials*. – 2013. – Vol.34. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2013.03.068.
2. Федорова А.М., Козлова О.В., Славянский А.А., Величкович Н.С., Ле В.М. Исследование и разработка технологии получения мальтодекстринов для молочной промышленности // *Техника и технология пищевых производств*. – 2020. – Vol.50. – №4. – Pp. 616–629.
3. Пат. 2556117 Российская Федерация. МПК C12P 19/18, C08B 37/16, C12N 9/10. Способ получения  $\beta$ -циклодекстрина. Автор(ы): Гулюк Н.Г., Гулюк Е.Н., Комаров Ю.И., Пихало Д.М., Пучкова Т.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопроductов" (ФГБНУ ВНИИК). – №2013154011/10; заявл. 05.12.2013; опубл. 10.06.2015, Бюл. №16.
4. Schöffner J., Klein M.P., Rodrigues R.C., Hertz P.F. Continuous production of  $\beta$ -cyclodextrin from starch by highly stable cyclodextrin glycosyltransferase immobilized on chitosan // *Carbohydrate Polymers*. – 2013. – Vol.98. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.07.044.
5. Machín R., Isasi J.R., Vélaz I.  $\beta$ -Cyclodextrin hydrogels as potential drug delivery systems // *Carbohydrate Polymers*. – 2012. – Vol.87. DOI: 10.1016/J.CARBPOL.2011.10.024.

УДК 631.95

## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ЛИЧИНКИ МУХ *HERMETIA ILLUCENS*

Лоскутова А.С.<sup>1</sup> (студент), Кузнецова К.Г.<sup>1</sup> (аспирант), Жустерова П.К.<sup>1</sup> (студент),  
Прокошева А.В.<sup>1</sup> (студент)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Университет ИТМО

e-mail: loskutova.itmo@gmail.com, kgkuznetsova@itmo.ru, polly.polly3122@gmail.com,  
annaprokosheva@gmail.com, nrkh25@hotmail.com

---

В данной работе представлен аналитический обзор научно-исследовательской литературы о показателе качества и безопасности продуктов, получаемых из личинки мух *Hermetia illucens*. Рассмотрен ряд исследований, направленных на наличие законодательных требований к процессу биоконверсии органических отходов личинками *Hermetia illucens*. Основная юридическая проблема, связанная с технологией, связана с тем, что во многих странах нет каких-либо правил в отношении кормления животных белком насекомых.

**Ключевые слова:** органические отходы, переработка органических отходов, личинка мух *Hermetia illucens*, законодательные требования.

---

*Hermetia illucens* может приспосабливаться к широкому спектру условий окружающей среды, а взрослая муха не является переносчиком болезни. Личинки могут потреблять различные органические материалы, в том числе отходы, образующиеся в больших масштабах в городских условиях. Таким образом, они уменьшают объем отходов, превращаются в биомассу богатую белком и оставляют после себя богатый питательными веществами остаток. Собранные личинки затем можно использовать для приготовления кормов для животных, таких как домашняя птица, рыба и свиньи. Учитывая высокое содержание жира в составе личинки, они также могут быть переработаны в высококачественное биодизельное топливо. Остатки отходов могут представлять собой ценное удобрение. Поэтому технология на основе биоконверсии органических отходов личинками рассматривается как одна из наиболее перспективных технологий биоконверсии органических отходов.

Согласно Регламенту 1069/2009 статье 3.6, в Европейском союзе (ЕС) насекомые, выращиваемые для еды или корма, подпадают под определение «животное на ферме», что имеет определенные последствия для разрешения на использование корма (субстрата) для сельскохозяйственного животного. Общие правила для всех кормов в ЕС, в том числе для насекомых, представлены в Регламенте № 767/2009 статье 4 и № 178/2002 статье 15 и заключаются в том, что они должны быть безопасны и не оказывать прямого неблагоприятного воздействия на окружающую среду или благополучие животных. Кроме того, существуют требования к гигиене кормов в Регламенте № 183/2005 и максимальному содержанию определенных нежелательных веществ в кормах для животных в Директиве 2002/32/ЕС [1].

Основная юридическая проблема связана с тем, что во многих странах нет каких-либо правил в отношении кормления животных белком насекомых. Отсутствие четкого законодательства и стандартов, регулирующих использование насекомых в качестве корма для животных, является одним из наиболее важных препятствий на пути промышленного развития выращивания насекомых для производства кормов в развитых странах. С другой

стороны, в развивающихся странах из-за отсутствия строгих стандартов в отношении животноводства использование белка насекомых для кормления животных часто допускается [2].

В таблице 1 представлен обзор действующего законодательства, касающегося использования личинок в качестве корма для животных в различных частях мира.

Таблица 1. Законодательство, касающееся использования личинок в качестве корма для животных разных частях мира

| Страны               | Законодательство об использовании белков личинок                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Евросоюз             | Использование кормовых ингредиентов, полученных из личинок, недавно было разрешено в аквакультуре, но большинство обычных потоков отходов запрещено использовать в качестве сырья для выращивания личинок. Использование личинок для кормления сельскохозяйственных животных по-прежнему запрещено |
| Северная Америка     | Некоторые кормовые ингредиенты на основе личинок были одобрены в качестве корма для определенных видов рыб и птиц в США и Канаде                                                                                                                                                                   |
| Развивающиеся страны | Использование белка насекомых для кормления животных часто допускается, что приводит к меньшему количеству юридических барьеров                                                                                                                                                                    |

В ЕС использование белка насекомых для кормления животных до недавних пор было запрещено «правилами запрета кормов». Однако, ввиду многообещающего потенциала белков насекомых для замены неустойчивых традиционных источников корма в аквакультуре законодательство ЕС недавно претерпело изменения. Европейская комиссия приняла Регламент Комиссии (ЕС) 2017/893, который частично усиливает правила запрета на использование кормов, разрешая с июля 2017 года использование обработанных белков, полученных от семи видов насекомых, включая *Hermetia illucens*, в аквакультуре [3]. Тем не менее насекомые, выращиваемые для производства кормов, считаются сельскохозяйственными животными в соответствии с Регламентом ЕС 1069/2009, который подразумевает, что они регулируются «общими правилами ЕС в отношении кормов» и, следовательно, могут кормить только материалами, разрешенными для кормления животных. В результате правила ЕС запрещают кормить насекомых для использования в качестве корма для животных, например, навозом и отходами общественного питания. Таким образом, большинство обычных потоков отходов не рассматриваются ЕС в качестве подходящих субстратов, что представляет собой юридический барьер для продажи личинок, используемых для биоконверсии органических отходов [4].

Правовой статус корма для личинок (разрешенный или запрещенный) и обоснование этого статуса представлены в таблице 2.

В Российской Федерации (РФ) нет законодательных актов, которые напрямую регулируют деятельность с использованием насекомых в качестве корма. Однако, есть предприятия, осуществляющие производство продуктов из личинки мух *Hermetia illucens* и подчиняющиеся следующим законодательным актам для регулирования деятельности:

1. Единые ветеринарные (ветеринарно-санитарные) требования, предъявляемые к товарам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору), утверждены Решением Комиссии Таможенного союза от 18.06.2010 N 317.
2. «Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках», № 123–4/281–87.
3. Инструкция о радиологическом контроле качества кормов (утв. Главным государственным ветеринарным инспектором РФ 1 декабря 1994 г. № 13-7-2/216).

Таблица 2. Группы вариантов источников питания насекомых и их правовой статус

| Описание группы                                                                                                                                                                                                                                                                      | Статус                | Юридическое обоснование                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Кормовые материалы в соответствии с каталогом кормовых материалов ЕС и разрешены в качестве кормов для производства продуктов питания животные                                                                                                                                       | Разрешен              | Регламент (ЕС) № 68/2013                                                               |
| Пищевые продукты, произведенные для потребления человеком, но более не предназначенные для потребления человеком по таким причинам, как: в связи с истечением срока годности или из-за проблем, связанных с производственными дефектами или дефектами упаковки. Исключая мясо и рыбу | Разрешен              | Регламент (ЕС) № 68/2013<br>Регламент (ЕС) № 142/2011,<br>Приложение X, глава II       |
| Мясо и рыба, произведенные для потребления человеком, но более не предназначенные для потребления человеком по причинам, таким как просроченный срок годности или из-за проблем, связанных с производством или дефектами упаковки                                                    | Запрещен              | Регламент (ЕС) № 999/2001,<br>Регламент (ЕС) № 142/2011,<br>Регламент (ЕС) № 1069/2009 |
| Побочные продукты скотобоен (шкуры, волосы, перья, кости и т. д.), которые не попадают в пищевую цепь, но происходят от животных, пригодных для употребления в пищу человеком                                                                                                        | Запрещен              | Регламент (ЕС) № 999/2001,<br>Регламент (ЕС) № 1069/2009                               |
| Пищевые отходы от продуктов питания для потребления человеком как животного, так и неживотного происхождения из ресторанов, общепита и домашних хозяйств                                                                                                                             | Запрещен              | Регламент (ЕС) № 1069/2009,<br>статья 11(1)b                                           |
| Навоз животных и потроха                                                                                                                                                                                                                                                             | Запрещен              | Регламент (ЕС) № 1069/2009                                                             |
| Другие виды органических отходов растительного происхождения, такие как садовый и лесной материал                                                                                                                                                                                    | Разрешен/<br>Запрещен | Регламент (ЕС) № 767/2009,<br>Регламент (ЕС) № 68/2013<br>Директива 2008/98/ЕС         |
| Человеческий навоз и осадок сточных вод                                                                                                                                                                                                                                              | Запрещен              | Регламент (ЕС) № 767/2009,<br>Директива 91/271/ЕЭС<br>Директива 86/278/ЕЭС             |

Требование законодательных актов отображены в таблице 3.

Также упоминание о разведении, выращивании и использовании личинок *Hermetia illucens* в качестве кормовой добавки отображено в Приказе Минсельхоза России от 08.10.2021 N 694 «О внесении изменений в справочник в области аквакультуры (рыбоводства), утвержденный приказом Минсельхоза России от 15 июня 2015 г. N 247», что является ярким примером того, что использование продуктов из личинки *Hermetia illucens* развивается и представляет перспективный метод биоконверсии органических отходов [5].

Правовые ограничения, в основном, связаны с ограниченными знаниями и данными о токсичности, аллергенности и переносимости болезней, связанных с насекомыми, используемыми в качестве корма. Изучение и решение этих проблем ускорят процесс разрешения использования личинок *Hermetia illucens* в качестве кормовой добавки. Уже существуют исследования по воздействию на окружающую среду показывающие, что группы кормов для животных, которые в настоящее время не разрешены в ЕС, оказывают меньшее воздействие на окружающую среду, чем те, которые в настоящее время разрешены [1].

Таблица 3. Требования к кормовой добавке из личинок *Hermetia illucens*

| Наименование показателя                             | Норма               | Метод определения                               |
|-----------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|
| Запах                                               | Специфический       | ГОСТ 13495.13                                   |
| Массовая доля сырого протеина, %                    | 50,4 – 73,0         | ГОСТ 32044.1; ГОСТ 13496.4                      |
| Массовая доля сырого жира, %                        | 8,0-15,0            | ГОСТ 32905; ГОСТ 13496.15                       |
| Массовая доля сырой золы, %                         | 8,0-12,0            | ГОСТ 32933; ГОСТ 26226                          |
| Массовая доля клетчатки, %                          | 8,8-13,0            | ГОСТ 31675                                      |
| Массовая доля влаги, %                              | 4,8-7,0             | ГОСТ Р 57059; ГОСТ Р 54951                      |
| Общая бактериальная обсемененность, КОЕ/г, не более | 5 * 10 <sup>5</sup> | Правила бактериологического исследования кормов |
| Анаэробы, КОЕ/г                                     | Не допускаются      |                                                 |
| Сальмонеллы, КОЕ/25 г                               | Не допускаются      |                                                 |
| Энтеропатогенные типы кишечной палочки, КОЕ/г       | Не допускаются      |                                                 |
| Кислотное число, мг КОН/г, не более                 | 30,0                | ГОСТ 13496.18                                   |
| Перекисное число, моль ½ О/кг, не более             | 23,6                | ГОСТ 31485                                      |
| Кадмий, мг/кг, не более                             | 0,4                 | ГОСТ 30692                                      |
| Мышьяк, мг/кг, не более                             | 1,0                 | ГОСТ Р 51766                                    |
| Ртуть, мг/кг, не более                              | 0,2                 | ГОСТ 34427                                      |
| Свинец, мг/кг, не более                             | 5,0                 | ГОСТ 30692                                      |
| Стронций 90, мг/кг, не более                        | 200                 | МВИ №126/210-(01.00250-2008)-2011               |
| Цезий 137, мг/кг, не более                          | 600                 |                                                 |

Таким образом, личинки, выращенные на отходах, могут заменить традиционные источники кормового белка и снизить воздействие производства продуктов питания на окружающую среду. Необходимы дополнительные исследования, посвященные оценке потенциальных рисков безопасности пищевых продуктов, чтобы смягчить законодательство ЕС, ускорить процесс разработки законодательства в РФ. Дальнейшее развитие технологии производства личинок *Hermetia illucens* снизит воздействие этих ресурсов на окружающую среду, а также сделает производство более экономичным и конкурентоспособным и будет способствовать снижению потребности в рыбной и соевой муке в качестве корма для животных.

### Литература

1. Bosch G., van Zanten H.H.E. et al. Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: Legislation, efficiency and environmental impact // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol.222. – Pp. 355–363.
2. Van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security // Annu. Rev. Entomol. – 2013. – Vol.58. – Pp. 563–583.
3. Commission Regulation (EU) 2017/893 of 24 May 2017 amending Annexes I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protei 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0893&rid=1> (дата обращения: 21.02.2022).
4. Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, Stratiomyidae. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uved-formationaquaculture.cirad.fr/content/download/4328/32130/version/3/file/BLACK+SOLDIER+Technical+Handbook.pdf> (дата обращения: 21.02.2022).
5. Приказ Минсельхоза России от 08.10.2021 N 694 О внесении изменений в справочник в области аквакультуры (рыбоводства), утвержденный приказом Минсельхоза России от 15 июня 2015 г. N 247. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sudact.ru/law/prikaz-minselkhoza-rossii-ot-08102021-n-694/> (дата обращения: 23.02.2022).

УДК 533.12

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ГАЗА

*Мальгинова Н.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: malginova.natalya@yandex.ru, makustikova@itmo.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».*

---

В работе рассмотрены существующие методы определения плотности газа, включающие в себя анализ расчетного и экспериментального методов. Рассмотрены возможности увеличения точности определения плотности газа. Описаны этапы предлагаемого метода определения плотности газа с путем гидростатического взвешивания.

**Ключевые слова:** плотность, газ, гидростатическое взвешивание, экспериментальный метод, хладагент.

---

Плотность газа является одной из важнейших его характеристик. По значению плотности можно косвенным образом судить о чистоте газа, когда он известен, сравнив значение, полученное экспериментальным путем, с табличным.

Плотность газа также необходима для определения числа Воббе. Этот параметр позволяет определить взаимозаменяемость газообразных топлив [1].

Кроме того, информация о плотности может быть использована для идентификации фреонов и других веществ в газообразном состоянии.

Значение плотности газа требуется, в том числе для приведения объемной теплоты сгорания к массовому базису. Данная задача рассматривается, в частности, в контексте проведения международных сличений.

Целью данной работы стало изучение существующих методов определения плотности газа.

В рамках поставленной цели был выделен ряд задач:

1. Изучение используемых методов определения плотности газа.
2. Описание предлагаемого метода определения плотности газа путем гидростатического взвешивания.

Существует множество методов определения плотности газа или газовой смеси. В зависимости от того, известен ли компонентный состав исследуемого вещества, методы определения плотности разделяются на две группы:

1. Расчетные методы.
2. Экспериментальные методы.

Расчетный метод определения плотности газа описан в ГОСТ 31369 Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава представляет методику определения плотности газа следующим образом [2].

Плотность реального газа при стандартных условиях вычисляют по формуле (1):

$$D(t_2, p_2) = \frac{D_{(t_2, p_2)}^0}{Z_{(t_2, p_2)}}, \quad (1)$$

где  $D_{(t_2, p_2)}^0$  – плотность идеального газа при температуре  $t_2$ , и давлении  $p_2$ ;

$Z_{(t_2, p_2)}$  – коэффициент сжимаемости при температуре  $t_2$ , и давлении  $p_2$ .

---



Плотность идеального газа при температуре  $t_2$ , и давлении  $p_2$  определяют по формуле (2):

$$D_{(t_2, p_2)}^o = \frac{M}{V^o}, \quad (2)$$

где  $M$  – молярная масса смеси;

$V^o$  – молярный объем смеси идеальных газов.

Молярный объем смеси идеальных газов вычисляется следующим образом (3):

$$V^o = R * \frac{T_2}{p_2}, \quad (3)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;

$T_2$  – температура газа;

$p_2$  – давление газа.

Таким образом, для определения плотности газа расчетным методом необходимо знать компонентный состав смеси, температуру, давление, для которых требуется определить плотность, и коэффициент сжимаемости.

Наиболее распространенным экспериментальным методом определения плотности газа является пикнометрический метод [3]. Сущность этого метода заключается в измерении массы пикнометра с осушенным воздухом и осушенным газом при одинаковой температуре и давлении.

Вместимость  $V$  пикнометра вычисляют по формуле (4):

$$V = \frac{m - m_B}{\rho - 1,2047 * K}, \quad (4)$$

где  $m$  – масса пикнометра с дистиллированной водой;

$m_B$  – масса пикнометра с сухим воздухом;

$\rho$  – плотность дистиллированной воды при температуре опыта;

1,2047 – плотность сухого воздуха при стандартных условиях;

$K$  – коэффициент для приведения плотности при стандартных условиях к условиям опыта ( $t$ ,  $p$ ) (5):

$$K = \frac{293 * P}{(273 + t) * 101,325}. \quad (5)$$

Далее плотность газа  $\rho_{20}$  при температуре 20 °C и давлении 101,325 кПа вычисляют по формуле (6):

$$\rho_{20} = \frac{m_r - m_B}{K * V} + 1,2047, \quad (6)$$

где  $m_r$  – масса пикнометра с газом;

$m_B$  – масса пикнометра с воздухом;

$V$  – вместимость пикнометра.

Проанализировав данный метод, можно сделать вывод о том, что экспериментальное определение плотности газа требует нахождения внутреннего объема пикнометра, температуры, давления, а также массы пикнометра, заполненного воздухом и исследуемым газом. В результате погрешность определения плотности таким образом, зависит не от погрешности справочных данных, как при расчетном методе, а от погрешности применяемых средств измерений.

Погрешность определения плотности газа во многом зависит от внутреннего объема заполняемой емкости. В то же время большое значение имеют характеристики используемых весов, погрешность которых, как правило, снижается с уменьшением наибольшего предела взвешивания. В результате возникает следующая задача: требуется, с одной стороны, увеличить объем заполняемой газом емкости, с другой – снизить массу взвешиваемой системы.

Для решения данной задачи предлагается применение гидростатического взвешивания. Сущность метода заключается в следующем:

1. Определяют внутренний объем емкости аналогично [4].

2. Определяют массу откакумированной емкости, взвешенной в дистиллированной воде.
3. Определяют массу емкости, заполненной исследуемым газом, взвешенной в дистиллированной воде.
4. Рассчитывают плотность газа  $\rho$  по известной массе газа и внутреннему объему емкости (7):

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{K \cdot V}, \quad (7)$$

где  $m_1$  – масса емкости с исследуемым газом, взвешенной в дистиллированной воде;

$m_0$  – масса откакумированной емкости, взвешенной в дистиллированной воде;

$V$  – внутренний объем емкости;

$K$  – коэффициент для приведения плотности при стандартных условиях к условиям опыта.

В результате выполнения исследовательской работы:

- был изучен расчетный метод определения плотности газа;
- были рассмотрены основные этапы определения плотности газа пикнометрическим методом;
- была разработана процедура определения плотности газа с применением гидростатического взвешивания.

Исследование было проведено с целью изучения существующих методов определения плотности газа и газовой смеси, а также с целью разработки нового метода с использованием гидростатического взвешивания. Вопрос идентификации сложных смесей – заменителей хладагентов, актуальный для разработки анализатора хладагентов, в частности может быть решен предлагаемым способом.

## Литература

1. ГОСТ Р 51733-2001. Котлы газовые центрального отопления, оснащенные атмосферными горелками, номинальной тепловой мощностью до 70 кВт. Требования безопасности и методы испытаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200025957> (дата обращения: 22.01.2022).
2. ГОСТ 31369 Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200068175> (дата обращения: 22.01.2022).
3. ГОСТ 17310. Газы. Пикнометрический метод определения плотности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200031490> (дата обращения: 22.01.2022).
4. ГСИ. Пикнометры напорные. Методика поверки. Санкт-Петербург. – 2018. – 15 с.

УДК 664.48

## **АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ГРАНУЛЯЦИИ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПРЕЦИПИТАТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ОТХОДОВ РЫБ СЕМЕЙСТВА ЛОСОСЕВЫХ**

*Мануйлов А.Н.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Куприна Е.Э.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: manu2@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 данной работе рассматривается технология улучшения биологической и пищевой ценности минерального преципитата путем его обогащения белковым гидролизатом, а также в исследовании влияния режимов грануляции на технологические и физико-химические свойства полученной пищевой добавки.

**Ключевые слова:** минеральный преципитат, белковый гидролизат, гранулирование, псевдоожигенный слой, гранулы, биологически активная добавка, физико-химические свойства.

---

При комплексной переработке отходов от разделки форели электрохимическим способом кроме жира получают еще два ценных продукта - минеральный преципитат и белковый гидролизат. Было целесообразно использовать эти два продукта при разработке БАД с возможностью обогащения минерального преципитата белковым гидролизатом. Технология комплексной электрохимической переработки отходов от разделки гидробионтов описана в работе [1].

Для решения этой задачи было предложено провести грануляцию минерального преципитата используя белковый гидролизат в качестве связующего. Выбор готовой формы продукта в виде гранул позволяет решить сразу несколько задач. Во-первых, продлевается срок хранения и возможность сохранить необходимые свойства в течение гораздо большего времени, а во-вторых, продукт в виде гранул намного удобнее использовать. Помимо этого, решаются технологические проблемы при хранении минерального преципитата в сухом порошкообразном состоянии, такие как слеживаемость, пылеобразование. Все это позволяет устранить экологические проблемы производства и сохранить органолептические и физико-химические показатели готового продукта. Для выполнения указанных задач нами была применена грануляция в псевдоожигенном слое.

Для грануляции порошкообразных материалов в промышленности широко используется аппараты с псевдоожигенным слоем, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с другими схожего назначения. К ним относятся возможность совмещения в одном аппарате смешения гранулируемых материалов, собственно процесса гранулирования и сушки. В результате этого получается непрерывное производство с высокой производительностью выходящего продукта при одновременном улучшении качества продукта и санитарно-гигиенических условий производства.

В качестве объектов исследования были использованы следующие материалы:

1. Минеральный преципитат, полученный из кожи и кости радужной форели. Представляет собой светло-серый мелкий порошок. Не растворим в воде, спирте.

2. Для получения гранул необходимо использовать связующий компонент, в качестве которого был использован раствор белкового гидролизата также из кожи и кости радужной форели.

Оба продукта были получены в одном технологическом процессе при комплексной переработке отходов.

Технологические и физико-химические свойства исследуемых материалов представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Технологические характеристики минерального преципитата

| Материал                  |       |      | Минеральный преципитат |
|---------------------------|-------|------|------------------------|
| Насыпная плотность, г/см³ |       |      | 0,878                  |
| Сыпучесть, г/с            |       |      | 2,381                  |
| Фракционный состав        | 0,315 | м, г | 8,0                    |
|                           |       | %    | 1 16,0                 |
|                           | 0,25  | м, г | 5,1                    |
|                           |       | %    | 10,2                   |
|                           | 0,2   | м, г | 4,7                    |
|                           |       | %    | 9,4                    |
|                           | 0,1   | м, г | 20,0                   |
|                           |       | %    | 40,0                   |
|                           | 0,063 | м, г | 12,2                   |
|                           |       | %    | 24,2                   |
| Влагосодержание, %        |       |      | 6,0                    |

Таблица 2. Физико-химические свойства гидролизата из отходов радужной форели

| Сырье                                                  | Количество сухих веществ % | Зола, % | N <sub>общ</sub> , % | N <sub>амин</sub> , % | Белок, % | Жир, % |
|--------------------------------------------------------|----------------------------|---------|----------------------|-----------------------|----------|--------|
| Гидролизат, полученный из кожи и кости радужной форели | 8,8                        | 3,46    | 0,85                 | 0,18                  | 4,9      | 5      |

При исследовании процесса грануляции в псевдоожиженном слое использовали лабораторный аппарат фирмы «Aeromatic».

Рабочие параметры процесса гранулирования представлены в таблице 3.

Таблица 3. Рабочие параметры процесса гранулирования

| № п/п  | Время, мин | Количество связующего, мл | Температура на входе в аппарат, °C | Температура на выходе из аппарата, °C | Расход воздуха на псевдоожижение, м <sup>3</sup> /ч |
|--------|------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Опыт 1 | 5          | 20                        | 70                                 | 40                                    | 50                                                  |
| Опыт 2 | 10         | 40                        | 80                                 | 50                                    | 50÷68                                               |
| Опыт 3 | 15         | 60                        | 90                                 | 62                                    | 50÷60                                               |

После проведения процесса грануляции исследовались технологические характеристики полученных гранул, а именно: остаточная влажность, фракционный состав, сыпучесть, насыпная плотность, распадаемость, прочность [2, 3]. Данные по остаточному влагосодержанию, сыпучести, насыпной плотности представлены в таблице 4.

Таблица 4. Технологические характеристики гранулята

|                                      | Опыт №1                | Опыт №2 | Опыт №3 |
|--------------------------------------|------------------------|---------|---------|
| Материал                             | Минеральный преципитат |         |         |
| Насыпная плотность, г/с <sup>3</sup> | 0,72                   | 0,67    | 0,65    |
| Сыпучесть, г/с                       | 10,0                   | 10,0    | 8,33    |
| Влагосодержание, %                   | 5,50                   | 5,77    | 5,74    |

Анализ технологических характеристик показал, что с увеличением расхода связующего отмечается изменение насыпной плотности гранул и улучшение сыпучести. Далее проводили исследования фракционного состава каждого опыта с использованием стандартного набора сит с отверстиями диаметром: 2,5; 1,0; 0,8; 0,5; 0,315; 0,25; 0,2; 0,1; 0,063 мм.

Полученные данные представлены таблице 5.

Таблица 5. Гранулометрический состав гранулята

| Диаметр<br>отверстия<br>$d_{отв}$ , мм | Опыт 1             |       | Опыт 2 |       | Опыт 3 |       |
|----------------------------------------|--------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                                        | Фракционный состав |       |        |       |        |       |
|                                        | м, г               | %     | м, г   | %     | м, г   | %     |
| 2,5                                    | 13,7               | 8,83  | 6,4    | 3,54  | 5,6    | 3,11  |
| 1,0                                    | 16,6               | 10,7  | 29,7   | 16,41 | 38,8   | 21,58 |
| 0,8                                    | 20,2               | 13,03 | 41,7   | 23,04 | 49,5   | 27,53 |
| 0,5                                    | 28,2               | 18,19 | 34,3   | 18,95 | 35,2   | 18,91 |
| 0,315                                  | 14,3               | 9,22  | 11,0   | 6,08  | 10,4   | 5,78  |
| 0,25                                   | 10,3               | 6,64  | 6,7    | 3,7   | 5,7    | 3,17  |
| 0,2                                    | 31,3               | 20,19 | 22,4   | 12,38 | 19,2   | 10,68 |

Выявлено, что средний диаметр гранул минерального преципитата изменялся в диапазоне от 2,5 до 0,2 мм. При увеличении расхода связующего процентное содержание более крупных гранул увеличивалось. Также размер гранул менялся в зависимости от температурного режима.

Известно, что фракционный состав является важным показателем, по которому можно судить о качестве продукта, который в свою очередь определяет прочность и растворимость гранул. Поэтому следующим шагом было определение этих характеристик.

При исследовании прочности гранул было установлено, что с увеличением расхода связующего происходит ее увеличение.

Распадаемость является одной из качественных характеристик готовой формы биологически-активной добавки, которая показывает ее усвояемость при употреблении. Нами была исследована распадаемость полученных гранул. Согласно ГОСТу, верхний предел распадаемости для гранул соответствует 15 минутам [4]. Данные представлены в таблице 6.

Таблица 6. Прочностные характеристики образцов гранулята

| № опыта | Статическая прочность, МПа | Распадаемость, с |
|---------|----------------------------|------------------|
| 1       | 0,324                      | 344,3            |
| 2       | 0,575                      | 352,6            |
| 3       | 0,767                      | 421,2            |

Далее исследовали изменение аминокислотного состава гранул в процессе грануляции в псевдооживленном слое. Нами определено влияние температуры грануляции на изменение аминокислотного состава полученных гранул. Данные представлены в таблице 7.

Экспериментальные данные аминокислотного состава гранул, полученных при указанных режимах грануляции, сильно не отличаются между собой.

Таким образом, разработана технология получения БАД на основе минерального преципитата, полученного при комплексной переработке отходов от разделки форели в гранулированном виде с улучшенными биохимическими характеристиками за счет обработки преципитата белковым гидрализатом.

Выявлено влияние режимов грануляции на технологические свойства гранул, такие как насыпная плотность, сыпучесть, влагосодержание, прочность, распадаемость.

Показано, что в ходе грануляции гранулометрический состав минерального преципитата изменялся в диапазоне размеров от 2,5 до 0,2 мм.

Отмечено, что при количестве связующего от 20 до 40 мл гранулят характеризуется полидисперсным фракционным составом. При внесении более 60 мл отмечается формирование пульпы, что отрицательным образом сказывается на образовании гранул.

Таблица 7. Влияние режимов грануляции на аминокислотный состав

| Режимы грануляции ( $t_{\text{вх}}^{\circ}\text{C}$ - $t_{\text{вых}}^{\circ}\text{C}$ ) |               |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|-------|-------|
| Аминокислота (%)                                                                         | До грануляции | 70-40 | 80-50 | 90-62 |
| Аланин                                                                                   | 12,4          | 11,6  | 11,3  | 10,9  |
| Аргинин                                                                                  | 11,2          | 10,7  | 10,4  | 9,8   |
| Аспарагиновая                                                                            | 6,2           | 5,8   | 5,6   | 5,2   |
| Глутаминовая                                                                             | 16,7          | 15,8  | 15,4  | 15,1  |
| Глицин                                                                                   | 21,4          | 20,7  | 20,3  | 19,6  |
| Гистидин                                                                                 | 0,8           | 0,8   | 0,7   | 0,6   |
| Оксипролин                                                                               | 3,3           | 2,8   | 2,8   | 2,5   |
| Изолейцин                                                                                | 2,2           | 2,0   | 1,7   | 1,9   |
| Лейцин                                                                                   | 5,7           | 5,6   | 5,3   | 5,2   |
| Лизин                                                                                    | 3,8           | 3,6   | 3,6   | 3,3   |
| Метионин                                                                                 | 1,9           | 1,9   | 1,8   | 1,65  |
| Фенилаланин                                                                              | 0,3           | 0,28  | 0,28  | 0,27  |
| Пролин                                                                                   | 5,5           | 5,4   | 5,2   | 4,9   |
| Серин                                                                                    | 3,2           | 3,1   | 3,1   | 2,8   |
| Треонин                                                                                  | 1,4           | 1,3   | 1,3   | 1,0   |
| Триптофан                                                                                | 0,2           | 0,1   | 0,09  | 0,08  |
| Тирозин                                                                                  | 0,1           | 0,09  | 0,086 | 0,083 |
| Валин                                                                                    | 3,3           | 3,29  | 3,23  | 3,10  |

Также установлено, что благодаря грануляции происходит уменьшение насыпной плотности и улучшение сыпучести, что обеспечивает технологическую чистоту производства БАД.

Так как известно, что эффективность готовой формы БАД в виде гранул характеризуется временем распадаемости, нами установлено, что время распадаемости зависит от расхода связующей жидкости при грануляции. В нашем случае время распадаемости опытного образца, полученного при количествах связующего от 20 до 60 мл удовлетворяло требованиям и составило 7 мин.

Благодаря использованию белкового гидролизата в качестве связующего удалось обогатить минерасодержащую БАД ценными аминокислотами, в связи с этим было исследовано влияние режимов грануляции на аминокислотный состав полученных гранул. Исследование аминокислотного состава полученных гранул при различных температурных режимах показало незначительные изменения при повышении температуры входящего воздуха, что может быть связано как с потерей влаги, так и с денатурацией белков при грануляции. Это свидетельствует о том, что в исследуемых температурных режимах практически не наблюдается каких-либо химических изменений белков, вследствие чего обеспечивается высокая биологическая ценность продукта.

## Литература

1. Куприна Е.Э. Научные основы технологии переработки белок- и хитинсодержащего сырья электрохимическим способом: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: специальность 03.00.23 <Биотехнология> / Куприна Елена Эдуардовна; [С.-Петербург. гос. технол. ин-т (техн. ун-т)]. - Санкт-Петербург. – 2007. – 40 с.
2. Коузов П.А. Основы анализа дисперсионного состава промышленных пылей и измельченных материалов. -3-е изд. перераб. – Л.: Химия. – 1987. – 264с.
3. Бобылев Р.В., Грядуква Т.П. Технология лекарственных форм. Уч. В двух томах. – Т.2., Медицина. – 1991. – 368 с.
4. Минздрав. Государственная фармакопея Российской Федерации. – Издание XIII. – Т.1. – 1470 с.

УДК 502.131.1

## УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И СТРАТЕГИЯ 2022

*Маркова А.И.<sup>1</sup> (студент), Монзуль Н.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. экон. наук, доцент Павлова А.С.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: frau.marckova1998@gmail.com, nataly14monz@gmail.com, aspavlova@itmo.ru*

---

В данной работе приводится аналитический обзор научно-исследовательской литературы об устойчивом развитии в пищевой промышленности. В статье раскрывается проблема устойчивого развития в пищевой промышленности. Авторы приводят основные тенденции и стратегии питания в 2022 г.

**Ключевые слова:** пищевая промышленность, здоровое питание, устойчивое развитие, тенденции в питании.

---

Цель исследования: рассмотрение тенденций развития системы устойчивого потребления продуктов питания (sustainable food) и устойчивого развития пищевой промышленности.

Материалы и методы: в исследовании были использованы литературные данные, статистическая отчетность, научные исследования по данной теме. Использовались такие общенаучные методы, как описание, анализ, сравнение.

Мир сталкивается с проблемой удовлетворения растущего спроса на устойчиво произведенные продукты питания в условиях давления населения, нехватки ресурсов, деградации экосистем и изменения климата. Во всем мире по-прежнему около 800 миллионов человек не получают достаточное количество калорий, и по крайней мере 2 миллиарда человек страдают от дефицита питательных веществ, а 1,9 миллиарда человек имеют избыточный вес или страдают ожирением [1]. Эти три формы проблем с питанием иногда называют тройным бременем недоедания [2]. Это тройное бремя способствует нарушениям физического и когнитивного развития человека, снижению производительности, восприимчивости к инфекционным и хроническим заболеваниям и преждевременной смерти. Сокращение различных форм недоедания требует целенаправленных мероприятий в области питания. Однако, в дополнение к конкретным мероприятиям в области питания, необходимы также знания о том, как тенденции влияют на выбор продуктов питания. Для того чтобы понять, какие меры по сохранению и развитию устойчивого «здоровья» общества и окружающей среды, необходимо рассмотреть ситуацию на сегодняшний день, а также изучить тенденции деятельности в данном направлении.

Последние исследования выделяют следующие ключевые мега тренды в области продуктов, питания и здоровья [3]:

1. Натуральные функциональные ингредиенты.

Спрос на включение функциональных натуральных ингредиентов в новые форматы продуктов. Это привело к переосмыслению миндаля, авокадо, черники, семян чиа и сотен других продуктов. Потребители хотят, чтобы их продукты приносили пользу, которую они воспринимают как естественную и неотъемлемую часть пищи.

2. Разрозненность убеждений о здоровом питании.

Интернет является одной из главных причин разрозненности представлений людей о еде и здоровье. Люди обращаются к онлайн-источникам, когда хотят узнать о диете и здоровье.

---

Они проводят собственные исследования, которым, по их мнению, можно доверять, и принимают собственные решения. Среднестатистического потребителя больше нет. Экспертам доверяют меньше, чем 10 лет назад.

### 3. Управление весом.

Это потребительская мотивация, стоящая за большинством тенденций. Больше белка, больше жира, меньше сахара, меньше углеводов – все это сильно подпитывается желанием потребителей похудеть или сохранить вес. Это желание лежит в основе аспекта повседневных решений большинства людей о еде.

### 4. Спрос на продукты для перекуса.

Потребители готовы покупать все типы инновационных закусок при условии, что они обеспечивают вкус и пользу для здоровья, которую они ищут. Этот запрос сделал мясные закуски одной из самых успешных категорий в супермаркетах США.

### 5. Спрос на устойчиво произведенные продукты.

Устойчивое развитие должно быть частью стратегии каждой компании. Потребители не обязательно будут готовы заплатить больше за устойчивый продукт, но экологичность – это отличительная черта и преимущество продукта на рынке.

Для понимания последнего тренда необходимо ответить на вопрос: что потребители считают за устойчивый продукт? Тенденция разрозненности мнений также важна для устойчивости – как и в любой другой области. Взгляды людей сильно отличаются не только о здоровом питании, но и об устойчивости. Это тот случай, когда потребители скептически смотрят на «greenwashing» и тот, как компания определяет экологичность продукта. Реклама, которая открыто и громко рекламирует продукт как устойчивый, может оттолкнуть основных потребителей.

Например, в Великобритании реклама бренда растительного молока Alpro компании Danone была запрещена регулятором рекламы за «вводящее в заблуждение» экологическое заявление о том, что продукт «полезен для планеты». Плакат для продуктов Alpro с миндалем, овсом и без добавок гласил: «Следующая остановка. Ваш рецепт более здоровой планеты!» и «Хорошо для планеты, хорошо для вас!». Неспособность компании Danone убедить регулирующий орган в том, что ее экологические претензии могут быть обоснованы, привлекла огромное негативное внимание средств массовой информации.

Подогреваемые маркетингом, средствами массовой информации и научными дебатами о том, что означает устойчивое развитие и какие продукты могут законно претендовать на звание устойчивого, потребители формируют свои собственные взгляды.

Понимая наличие разных взглядов на концепции «устойчивого продукта» и «здорового питания», авторы обратились к определению «устойчивого питания» Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций (ФАО). Согласно определению ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) устойчивое питание – это питание с низким воздействием на окружающую среду, которое способствует продовольственной безопасности и питанию, а также здоровому образу жизни нынешнего и будущих поколений. Такие рационы питания защищают и биоразнообразие, и экосистемы, приемлемы с культурной точки зрения, доступны, экономически справедливы. Кроме того, данные системы питания безопасны и здоровы при одновременной оптимизации природных и человеческих ресурсов [4].

В контексте устойчивого питания следует обратить внимание на тенденции развития в производстве и потреблении животного белка. В процессе выбора продуктов помимо их вариативности значение имеет необходимость употребления пищи различного происхождения (растительного и животного). Мясо и молочные продукты являются продуктами, важными для организма.

Производители животного белка переосмысливают производство и вводят инновации в стремлении к устойчивому развитию – в частности достижения углеродной нейтральности и даже больше. Эти компании производят высококачественный белок, отличающейся плотностью питательных веществ, универсальностью, вкусом и текстурой.



В медиа часто утверждают, что спрос на животные белки падает и их заменяют на альтернативные белки. Спрос на растительный белок растет, но есть ряд проблем такие как высокая себестоимость продукции и принятие потребителей. Сейчас цифры говорят о большом росте спроса на животный белок. В 2020 году продажи мяса в продуктовых магазинах выросли на 10 млрд долларов, а растительных заменителей всего на 400 млн долларов. Также мясные закуски одна из самых успешных категорий в продуктовых магазинах – в США спрос вырос на 19% в 2021 г.

Устойчивость чаще всего упоминается как ахиллесова пята животного белка и общая тема атак СМИ. Так опрос 1517 шведов показывает, что доля потребителей, которые не едят мясо из-за потенциального негативного воздействия на ОС, выросла с 4% в 2013 г. до 15% в 2020 г. В Великобритании 24% потребителей говорят, что они едят меньше красного мяса, чтобы уменьшить свой углеродный след (ADHB, 2020).

Однако, как показывает второй мега тренд, потребители имеют доступ к разнообразной информации и могут узнать о компаниях, добившихся успехов в устойчивом производстве, и принять собственное решение о продукте.

Экологически устойчивые продукты питания представляют серьезную проблему для пищевой промышленности, особенно для компаний, производящих животные белки, которые уже много лет демонизируются защитниками окружающей среды. Но это также и огромная возможность для этих компаний, потому что у потребителей есть запрос на экологически устойчивый продукт, но большинство из них также хотят, чтобы мясо оставалось частью их рациона, о чем свидетельствует резкий скачок спроса на мясо в 2020 году. Например, в Великобритании красное мясо было одно из самых продаваемых категорий в супермаркетах. Потребители хотят слышать положительные истории о благополучии животных на фермах. Услышав эти истории, они могут дать себе разрешение «побаловать себя» мясом и молочными продуктами. Эти истории позволяют им разрешить себе наслаждаться мясом без чувства вины, которое борцы с животноводством пытаются вызвать у людей.

Есть признаки того, что компании увидели вызов и отреагировали на него. Производители животного белка стремятся устранить недостатки, изменить практику и сообщить об этих изменениях. Например, хорошо управляемые пастбища так же хорошо улавливают углерод, как и леса, и могут превзойти пахотные монокультуры по биоразнообразию.

Компании, которые следуют трендам и передовой практике, могут использовать ряд заявлений, чтобы сообщить о своих намерениях в области устойчивого развития: травяной откорм; местные источники; регенеративное сельское хозяйство; органический; углеродно-нейтральный.

Согласно данным Nielsen, на рынке США продажи мяса, соответствующие требованиям устойчивости составляют 10 млрд долларов, ежегодный рост составляет 6,4%. Для контекста это 10% мясного рынка в США, и также это превышает в 10 раз общий объем продаж растительных заменителей мяса. Таким образом, мы можем выделить предпочтения потребителей.

В качестве примера производства, использующего концепции устойчивого развития, авторы приводят компанию «Fonterra».

Компания «Fonterra» является ведущим мировым производителем и экспортером молочных продуктов. Это краеугольный камень экономики Новой Зеландии, обеспечивающий 25% экспорта страны.

Почти половина выбросов парниковых газов в Новой Зеландии приходится на сельское хозяйство. По этой причине компания «Fonterra» регулярно проводит анализ жизненного цикла своего углеродного следа.

Компания «Fonterra» и ее фермеры гордятся традиционной моделью травяного питания в Новой Зеландии, где животные могут свободно пастись на пастбищах. Именно это пастбищное и высокоэффективное сельское хозяйство в сочетании с высокой долей возобновляемых источников энергии в Новой Зеландии делает молочную промышленность

страны одной из самых эффективных с точки зрения выбросов в мире. Уменьшение выбросов метана на фермах в настоящее время достигается путем внедрения надлежащей практики управления, включая улучшение здоровья животных и управления пастбищами. Благодаря внедрению подобных практик в Новой Зеландии были сокращены выбросы на ферме свыше 20% с 1990 по 2014 г.

Компания «Fonterra» использует такие стандарты, как ISO 26000 и ISO 14001, чтобы сохранить свою приверженность устойчивому развитию.

Также компания «Fonterra» активно сотрудничает с другими промышленными органами и агентствами для построения устойчивого будущего для производства молочной продукции. Например, она сотрудничала с Министерством добывающей промышленности для поиска методов сбережения электричества на ферме. Был проведен аудит в 150 фермах. Исследование по итогам аудита показало, что около 161 000 кВт/ч в год было сэкономлено благодаря применению рекомендаций. Около 297 000 кВт/ч будет сэкономлено благодаря внедрению последующих рекомендаций.

Закключение. Необходимо сохранять и улучшать качество производимой продукции для поддержания здоровья населения, и учитывать воздействие на окружающую среду, так как сферы являются взаимопроникающими. На примере компании «Fonterra» видно, что в отрасли животноводства уже успешно внедряются инновации для достижения устойчивого развития.

### Литература

1. FAO, IFAD and WFP. The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome, FAO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/publications/sofi/2015/en/> (дата обращения: 19.01.2022).
2. Labadarios D. Malnutrition in the developing world: the triple burden // South African Journal of Clinical Nutrition. – 2005. – №18(2). – С. 119–121.
3. Mellentin J. 10 Key Trends in Food, Nutrition & Health 2022 // New Nutrition Business. The Centre for Food & Health Studies. – 2021. – №2/3. – 141 с.
4. Burlingame B., Dernini S. Sustainable Diets and Biodiversity // Proceedings of the International Scientific Symposium Biodiversity And Sustainable Diets United Against Hunger. – 2010. – №1. – 309 с.

УДК 615.32

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СЕНСОРНЫХ СВОЙСТВ ВЕГЕТАТИВНЫХ ЧАСТЕЙ РАСТЕНИЙ РОДА РОЗОВЫЕ (ROSACEAE) И СМОРОДИНА (RIBES)

*Мартыненко К.В.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Баланов П.Е.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: kostyatipton@gmail.com, balanov@itmo.ru*

---

Проведены исследования физико-химических и сенсорных свойств нескольких видов сырья из двух регионов страны. Качество сырья определяется органолептическими, физико-химическими и показателями его безопасности. Также проведена сравнительная характеристика всех образцов. В ходе данной работы мы имели дело с вегетативными частями растений рода Розовые (Rosaceae) и Смородина (Ribes), которые представляют собой важную часть стратегий выживания растений и питания человека.

**Ключевые слова:** экстрактивные вещества, вторичные вещества, род Розовые (Rosaceae), род Смородина (Ribes), показатели безопасности.

---

Давно известно, что в растениях содержатся вещества, образующиеся в результате вторичного обмена веществ и способные оказывать благотворное влияние как на сами растения, так и на человека. Во второй практической части данной статьи более подробно рассматривается исследование физико-химических и сенсорных свойств вегетативных частей растений рода Розовые (Rosaceae) и Смородина (Ribes).

Кроме того, нам было важно включить некоторые факторы окружающей среды, которые могут влиять на экспрессию вторичных метаболитов. В такие времена, когда предполагается, что климат Земли резко изменится в ближайшие десятилетия, важно заранее понять, как изменится состав вторичных компонентов в растениях. Такое изменение климата и связанное с ним изменение состава природных веществ может ослабить защитные механизмы растений, что может привести к снижению роста или, в худшем случае, к гибели растения. Это также может повлиять на питание человека.

Метаболизм растений можно разделить на первичный и вторичный. В первичном или основном метаболизме синтезируются основные клеточные компоненты, которые представляют собой, так сказать, основное молекулярное оборудование клетки. Биогенез этих основных клеточных компонентов происходит сходным образом как в животных, так и в растительных клетках [1].

Однако, в дополнение к первичным метаболитам растения также продуцируют большое количество весьма различных химических соединений, которые не играют решающей роли в первичном метаболизме растения. Эти вещества называются вторичными растительными веществами, вторичными метаболитами или природными растительными веществами и образуются в результате метаболизма первичных веществ, таких как углеводы, жиры и аминокислоты. Из-за их различной химической структуры они также по-разному приносят пользу растению. Помимо прочего, они могут служить защитным веществом, фитогормоном или основным строительным блоком необходимых сложных молекул [2].

Долгое время вторичные метаболиты рассматривались как побочные продукты метаболизма, образующиеся в процессе метаболизма, но не играющие никакой роли в образовании новых клеток, и экономическое значение этих веществ также не признавалось.

---

До конца двадцатого века они считались отходами метаболизма. Однако, со временем наука постепенно осознала его экологическую важность и роль в обеспечении выживания вида в эволюционном смысле [3]. Таким образом, термин вторичный метаболизм не подразумевает второстепенное значение по сравнению с первичным метаболизмом, а просто указывает на то, что вторичные метаболиты образуются в результате первичного метаболизма [4].

Вторичные растительные вещества часто специфичны для вида растений и обычно выполняют определенные экологические функции. Эффект зависит от самого вещества, но может включать, например, привлечение насекомых или других животных для переноса семян, защиту от патогенных микроорганизмов или травоядных и действие в качестве природного пестицида [5]. На сегодняшний день известно около 200 000 различных структур вторичных метаболитов растений.

Биосинтез вторичных веществ характерен для органов, клеток или развития почти всех видов высших растений. В большинстве случаев метаболические пути и гены, участвующие в их синтезе, жестко регулируются и могут быть связаны с экологическими, сезонными или внешними триггерами. Хотя вторичные метаболиты часто обнаруживаются во всем растении, их исходное место синтеза часто ограничено одним органом, таким как корни, плоды или листья. Именно поэтому в своей работе мы используем именно вегетативные части растений, а не только листья. Место хранения часто зависит от полярности соединений: гидрофильные соединения, такие как алкалоиды, глюкозинолаты и дубильные вещества, хранятся в вакуолях или идиообластах, тогда как липофильные соединения, такие как эфирные масла на основе терпена, хранятся в трихомах, железистых волосках, смоляных протоках, мембранах тилакоидов или на кутикуле [6].

Корни, листья, цветы трав используются для производства травяных чаев. Свежесобранные, они содержат большинство активных ингредиентов и имеют особенно ароматный вкус. В прошлом необходимые травы собирались исключительно вручную. Сегодня в основном используются сушеные травы, которые предлагаются на рынке в различных вариантах. Чай обычно предлагается в виде смеси различных трав и специй, чтобы убедить даже требовательный вкус с точки зрения вкуса. Поэтому исследования сенсорных свойств сырья на первом этапе так важно, чтобы быть уверенным в качестве для дальнейших исследований [7].

Содержание активного ингредиента в чаях зависит от качества трав, хранения и от типа дальнейшей переработки. Нельзя использовать пластиковые банки, так как содержащиеся в них пластификаторы могут серьезно повлиять на качество и, следовательно, на эффект чая. Кроме того, место для хранения должно быть темным, довольно прохладным и абсолютно сухим. Поскольку срок годности чаев ограничен, нужно запастись меньшим количеством.

Качество травяного чая определяется по органолептическим, физико-химическим показателям и показателям безопасности. Основными физико-химическими показателями качества чая являются: влага, водорастворимые экстрактивные вещества, общая и водорастворимая зола, пищевые волокна и мелочь, выраженные в массовых долях их количества. Наличие в чае экстрактивных веществ является одним из важных показателей его качества. К ним относятся водорастворимые компоненты чая, такие как кофеин, дубильные вещества, азотистые вещества, углеводы и минеральные вещества.

#### **Исследования органолептических показателей**

Определение органолептических показателей, влажности и примесей сделаны в соответствии с ГОСТ 1936-85. Процедура определения влажности заключается в высушивании образца при определенной температуре и вычислении потери массы по отношению к массе образца до высушивания.

#### **Определение массовой доли мелочи**

Навеску массой около 40 г, взятую из объединенной пробы, взвешивают с погрешностью не более 0,1 г, помещают на сито диаметром 180 – 200 мм с сеткой № 4 по ГОСТ 6613, просеивают в течение 3 мин путем равномерного встряхивания – по 100 – 120 качений в минуту (можно использовать сито устройства для выделения мелочи в чае).

**Определение массовой доли сухих веществ**

Метод основан на высушивании навески пробы до постоянной массы при температуре  $103 \pm 2$  °C. Сухой остаток в процентах от первоначальной навески дает содержание сухих веществ в исследуемой пробе.

**Определение водорастворимых экстрактивных веществ**

Анализы проведены соответствии с ГОСТ 28551-90.

**Определение показателей безопасности**

Метод основан на экстрагировании водорастворимых веществ из пробы чая кипячением с обратным холодильником и последующим количественным определением высушенного экстракта.

Исследования по оценке загрязнения сырья проводилось на спектрокане МАКС-GF2E. Спектрометр относится к аналитическому оборудованию, а конкретно – к приборам для химического анализа, предназначен для определения содержания химических элементов в различных веществах, находящихся в твердом, порошкообразном или растворенном состояниях, а также нанесенных на поверхности и осажденных на фильтры.

Результаты исследований приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Исследование физико-химических и сенсорных свойств

|                              | Массовая<br>доля<br>влаги, % | Массовая<br>доля<br>мелочи, % | Прочие<br>примеси,<br>% | Массовая<br>доля<br>сух.в-в. % | Экстрактивн.<br>вещества, %<br>на сухое<br>вещество | Массовая<br>доля<br>общей<br>зола, % |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Малина<br/>(Крым)</b>     | 4,33±0,22                    | 3,43±0,17                     | 9,25±0,2                | 84,1±1,68                      | 41,69±0,83                                          | 13,59±0,68                           |
| <b>Малина<br/>(Алтай)</b>    | 6,23±0,31                    | 1,78±0,089                    | 3,07±0,15               | 91,6±1,81                      | 56,69±1,13                                          | 10,60±0,53                           |
| <b>Облепиха<br/>(Крым)</b>   | 7,34±0,37                    | 4,65±0,2                      | 7,06±0,2                | 91,4±1,82                      | 43,1±0,86                                           | 5,84±0,29                            |
| <b>Облепиха<br/>(Алтай)</b>  | 6,67±0,33                    | 2,32±0,12                     | 3,68±0,18               | 93,1±1,86                      | 62,7±1,25                                           | 7,43±0,37                            |
| <b>Ежевика<br/>(Крым)</b>    | 7,21±0,36                    | 7,55±0,2                      | 4,09±0,2                | 93,2±1,86                      | 54,34±1,08                                          | 10,09±0,5                            |
| <b>Ежевика<br/>(Алтай)</b>   | 6,56±0,32                    | 13,43±0,2                     | 8,20±0,2                | 92±1,84                        | 46,24±0,92                                          | 11,87±0,59                           |
| <b>Смородина<br/>(Крым)</b>  | 7,43±0,37                    | 4,03±0,2                      | 9,93±0,2                | 88,1±1,76                      | 40,1±0,8                                            | 13,78±0,69                           |
| <b>Смородина<br/>(Алтай)</b> | 6,31±0,36                    | 2,57±0,13                     | 3,87±0,19               | 90,8±1,82                      | 46,7±0,93                                           | 4,58±0,23                            |
| <b>ГОСТ Р<br/>55327-2012</b> | <8%                          | <5%                           | <10%                    | > 91%                          | 41–58%                                              | 3–15%                                |

По показателям веществ, можно понять, что одно и то же растение, выращенное в разных регионах, может отличаться по показателям. Высокий уровень экстрактивности позволяет сделать вывод о пригодности сырья для нужд пищевой промышленности. Благодаря своему физическому строению растения не могут избежать неблагоприятных условий окружающей среды. Поэтому, чтобы гарантировать свое существование с момента их эволюции миллионы лет назад, им пришлось разработать множество стратегий для решения проблем, связанных с естественными врагами, сезонными колебаниями и климатическими изменениями. Понятно, что без успешных стратегий адаптации к условиям окружающей среды они вымерли бы, как и многие другие существа. Способность растений производить вторичные метаболиты считается одной из таких стратегий. Можно сделать вывод, что эти вещества позволяют растениям адаптироваться к изменениям окружающей среды и выживать в экстремальных условиях, известных как абиотические стрессы. Поэтому предполагается, что многие условия окружающей среды влияют на биосинтез вторичных метаболитов.

Таблица 2. Исследование лучших образцов на тяжелые металлы\*

|                                    | <b>Облепиха<br/>(Алтай)</b> | <b>Ежевика<br/>(Крым)</b> | <b>Смородина<br/>(Алтай)</b> | <b>Малина<br/>(Алтай)</b> |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Sr, мг/кг                          | 136                         | 72                        | 111                          | 85                        |
| Pb, мг/кг                          | 5 б)                        | 3 б)                      | 0 б)                         | 3 б)                      |
| As, мг/кг                          | 5                           | 2 б)                      | 3                            | 4                         |
| Zn, мг/кг                          | 41                          | 59                        | 40                           | 50                        |
| Cu, мг/кг                          | 0 б)                        | 0 б)                      | 0 б)                         | 0 б)                      |
| Ni, мг/кг                          | 3 б)                        | 3 б)                      | 4 б)                         | 4 б)                      |
| Co, мг/кг                          | 0 б)                        | 1 б)                      | 0 б)                         | 0 б)                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % | 0,02 б)                     | 0,00 б)                   | 0 б)                         | 0,03 б)                   |
| MnO, мг/кг                         | 332                         | 127                       | 229                          | 851                       |
| Cr, мг/кг                          | 28 б)                       | 28 б)                     | 29 б)                        | 32 б)                     |
| TiO <sub>2</sub> , %               | 0,05 б)                     | 0,04 б)                   | 0,04 б)                      | 0,05 б)                   |

\*где б) – меньше нижнего предела градуировки

Растения демонстрируют изменения в биосинтезе и накоплении вторичных метаболитов в ответ на абиотические и биотические факторы. Мы видим, что концентрация вторичных метаболитов растений также может различаться у растений одного и того же вида, произрастающих в разных условиях окружающей среды, в данном случае в двух разных регионах, на Алтае и в Крыму. Растения, произрастающие в естественных условиях, подвержены повреждениям от биотического и абиотического стресса. Эти экологические стрессы запускают синтез некоторых вторичных веществ в растениях, которые позволяют растениям противостоять негативным последствиям стрессов. Как уже упоминалось, экологические стрессы являются решающими факторами, определяющими образование вторичных метаболитов в растениях. Снижение роста растений и урожайности живых организмов называется биотическим стрессом, абиотический стресс — это собирательный термин для стресса от температуры, света, нехватки воды, пестицидов, тяжелых металлов, загрязняющих веществ, токсичных газов, таких как озон, и солености.

### Литература

1. Schopfer P. Plant Physiology. – Springer. – 2016. – 355 p.
2. Richter G. Metabolic physiology of plants: physiology and biochemistry of primary and secondary metabolism. – Georg Thieme Verlag. – 1997. – 3 p.
3. Егорова И.Э. Основные разделы биохимии. – Иркутск: ИГМУ. – 2019. – 138 с.
4. Вейлер Э. и Новер Л. Общая и молекулярная ботаника. – Штутгарт: Георг Тиме Верлаг. – 2008. – 154 с.
5. Heldt H.W. Biochemistry of plants. – Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH. – 2003. – 413 p.
6. Тайз Л. Физиология растений. Академическое издательство «Спектр». – 2000. – 369 с.
7. Акамович Т., Брукер Дж. Биохимия вторичных метаболитов растений и их действие на животных. Труды Общества питания. – 2005. – С. 403–412.

УДК 543.9; 632.95

## АПТАСЕНСОРЫ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ

*Аль-Ясари А.<sup>1</sup> (аспирант), Матыцина В.В.<sup>1</sup> (студент)*

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

<sup>1</sup> Университет ИТМО

*e-mail: arkanhadi888@gmail.com, 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 различные виды биосенсоров, такие как микробные, ферментные, биосенсоры на основе надмолекулярных структур клетки, ДНК-биосенсоры (аптасенсоры). Описаны особенности работы электрохимических, колориметрических и флуоресцентных аптасенсоров и был определен один из самых многообещающих методов количественного определения пестицидов - электрохимический аптасенсор благодаря высокой чувствительности, простоте, портативности, миниатюрности и низкой стоимости.

**Ключевые слова:** пищевая безопасность, пестициды, биосенсоры, аптасенсоры, аптамеры, метод SELEX.

---

Пестициды – это химические или биологические препараты, которые применяются для борьбы с вредителями растений, сорными растениями и также используются с целью увеличения валового выхода растительного сырья. Использование пестицидов на сегодняшний день является одним из самых распространённых способов защиты растений от внешних раздражителей по причине простоты использования, высокой эффективности воздействия при правильном использовании.

Основными органическими загрязнителями во всем мире являются пестициды, которые вызывают озабоченность из-за их распространенности в различных экосистемах. В природе остатки пестицидов подвергаются процессу химической, физической и биохимической деградации, но из-за повышенной стабильности пестицидов и в некоторых случаях растворимости в воде их остатки сохраняются в экосистеме. Удаление пестицидов выполняется с помощью методов, классифицированных как биологический, химический, физический и физико-химический процесс восстановления из различных типов матриц, таких как вода и почва.

Биологический процесс восстановления может включать биологические процессы с использованием штаммов грибов и бактерий, способных разлагать пестициды.

Химический процесс восстановления включает применение агентов для содействия извлечению опасных химических веществ, таких как пестициды, в безвредные или менее вредные химические вещества посредством химических реакций. В зависимости от матрицы для исправления, экономические затраты могут быть очень высокими.

В рамках физического восстановления существуют адсорбционные материалы для пестицидов, которые могут быть эффективно использованы для очистки сточных вод, содержащих пестициды.

---

Физико-химический процесс восстановления пестицидов основан на использовании форм энергии, применяемых для уничтожения этих загрязнителей, с альтернативами, такими как фотолиз и ультразвук.

Широкое применение пестицидов приводит к тому, что со временем они накапливаются в почве, воде, нанося ущерб их микрофлоре и микрофауне, препятствуют усвоению растениями важных минеральных питательных веществ, остаются в посевах и, наконец, попадают в пищевую цепь, тем самым представляя угрозу для человека. Пестициды препятствуют нормальному функционированию эндокринной и репродуктивной систем в живых организмах.

Загрязнения пестицидами в пищевой цепи и окружающей среде является глобальной проблемой, которую необходимо активно контролировать для обеспечения безопасности экологии и здоровья человека [1].

Стандартным методом определения пестицидов является масс-спектрометрический метод, основанный на ионизации атомов и молекул вещества, с последующем разделением образующихся ионов в соответствии с их массовым числом. Главный недостаток метода заключается в изучении продуктов превращения, а не самого анализируемого вещества. Кроме того, для проведения данного анализа требуется трудоемкая пробоподготовка, дорогостоящее оборудование и обученный персонал.

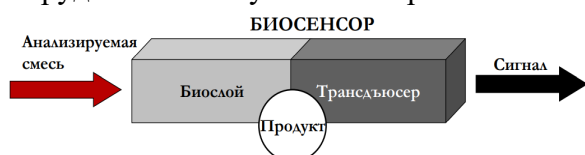


Рис. 1. Устройство биосенсора

Поэтому в последнее время стали активно разрабатываться простые, надежные и экономически выгодные мобильные методы обнаружения пестицидов с применением биосенсоров.

Биосенсоры – это компактные аналитические приборы, состоящие из биослоя, чувствительного к определенным молекулам, и трансдюсера (рис. 1) [2]. Принцип работы биосенсоров состоит в следующем: биологический детектирующий элемент меняет собственные физико-химические характеристики (или характеристики среды возле него) под влиянием исследуемой пробы, по величине сдвига которых определяется содержание исследуемого вещества.

Тип биологического сенсора обуславливается либо биоматериалом, который применяют для определения концентрации анализируемого вещества, либо используемым трансдюсером [3]. В зависимости от чувствительного элемента биосенсоры делятся на микробные, ферментные, ДНК- биосенсоры, на основе надмолекулярных структур клетки.

Микробный биосенсор представляет собой сложное аналитическое устройство, в котором микроорганизм является чувствительным элементом, реагирующим на присутствие пестицида в исследуемом образце, а аналитический сигнал зависит от концентрации определяемого соединения. У микробных биосенсоров имеются такие изъяны, как низкая избирательность, большая продолжительность проведения анализа вследствие низкой скорости реакции и необходимость в создании высокой концентрации живых клеток на поверхности трансдюсера [4].

Ферментные биосенсоры являются одними из самых распространенных типов биосенсоров. Применение ферментов (все они являются белками) зависит от селективности системы субстрат – аналит. Для создания ферментного биосенсора необходимо иммобилизовать фермент как часть распознающего слоя на поверхности соответствующего трансдюсера для определения концентрации исследуемых химических соединений [5]. Хотя и ферментные биосенсоры распространены больше других, они все равно имеют ряд недостатков, таких как восприимчивость к интерференционным помехам, pH фактору.

Биосенсоры на основе надмолекулярных структур клетки имеют похожие особенности с вышеперечисленными биосенсорами. Надмолекулярные структуры клеток – это внутриклеточные структуры со сложной строением. На сегодняшний день этот тип биосенсоров используется лимитировано по причине недостатка - неспособности к сохранению стабильности системы на протяжении длительного интервала времени вне клетки.



Наиболее перспективными на сегодняшний день являются биосенсоры, построенные на основе нескольких цепей ДНК (аптамеров), так называемые аптасенсоры. Аптамер требует либо одноцепочечной ДНК, либо РНК длиной примерно 15–100 нуклеотидов для поддержания своего специфического распознавания и различения родственной мишени в гетерогенной среде.

Как правило, аптамеры отбирают из исходного олигонуклеотидного пула (ИОП), содержащего 10<sup>14</sup> – 10<sup>15</sup> вариаций олигонуклеотидов. ИОП является точно измеренной частью химически синтезированной комбинаторной библиотеки, включающей в себя подготовленные олигонуклеотиды (одноцепочечные ДНК или РНК) для связывания с молекулой-мишенью. Классическая процедура получения аптамеров называется SELEX (систематическая эволюция лигандов экспоненциальным обогащением) (рис. 2).

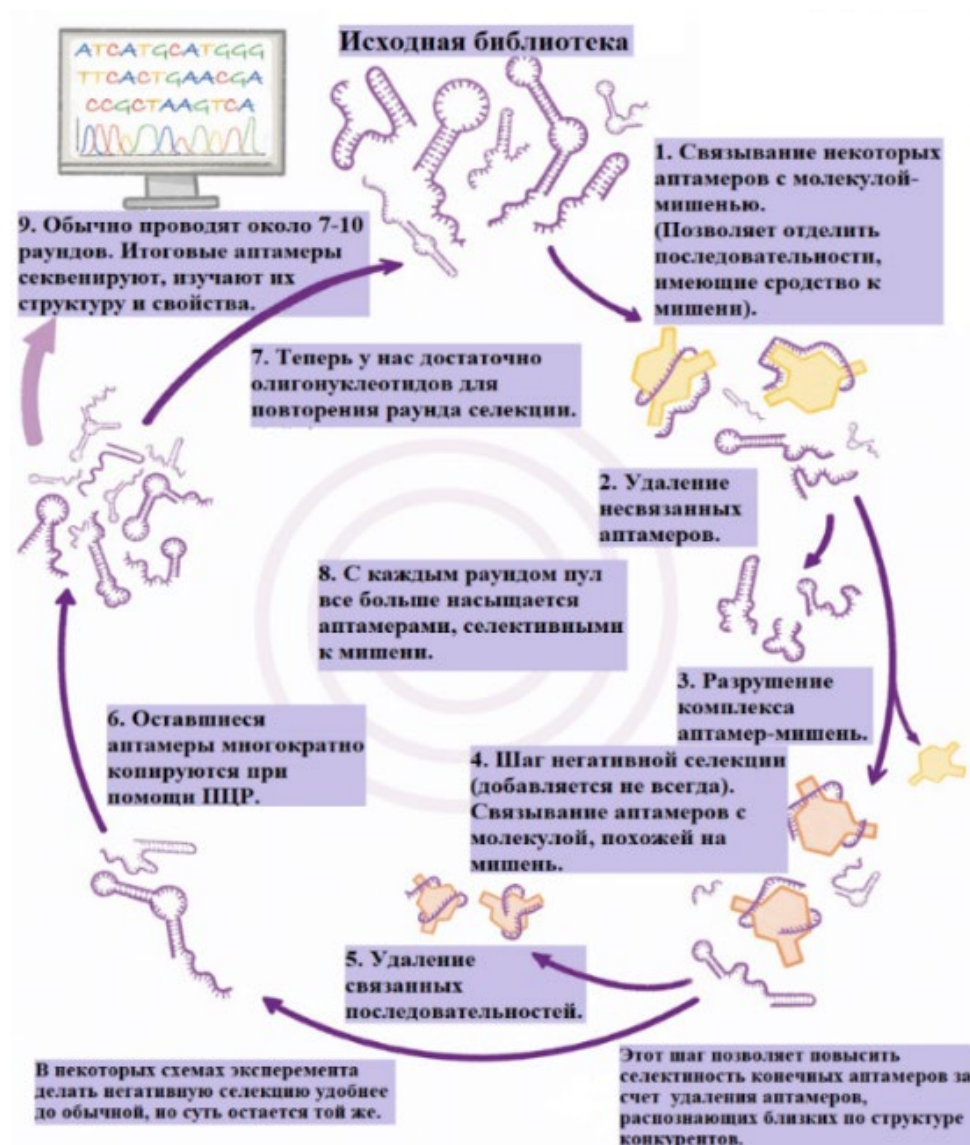


Рис. 2. Этапы метода SELEX

Вследствие особенностей химического строения аптамеры остаются устойчивыми к разнообразным физико-химическим влияниям, например, к химическим модификациям, необходимым для закрепления аптамера на носителе. Они связываются с мишенями обратимо, поэтому некоторые аптасенсоры можно использовать многократно.

Олигонуклеотиды функционируют на разнообразных принципах детекции. Это зависит от отличительных характеристик мишени, требований к их чувствительности и условиям их использования. Обычно аптамер напрямую связывается с мишенью и с ним протекают определенные конформационные изменения: меняется размер или вес молекулярного комплекса с аптамером, его свойство связываться с молекулами или наночастицами.

За последние несколько десятилетий были разработаны некоторые аптасенсоры для количественного анализа пестицидов, основанные на принципах колориметрических, флуориметрических и электрохимических методах анализа.

Электрохимические аптасенсоры - биосенсоры, которые в результате взаимодействия аптамер-мишень, измеряют изменения электрического сигнала. В электрохимических биосенсорах аптамеры наносятся на электрод, они обладают гибкой структурой, но принимают наиболее устойчивую конформацию при связывании с мишенью. Изменение положения заряженной молекулы, присоединенной к аптамеру относительно электрода, происходящее в этот момент, выявляется по изменению потенциала на электроде (рис. 3).

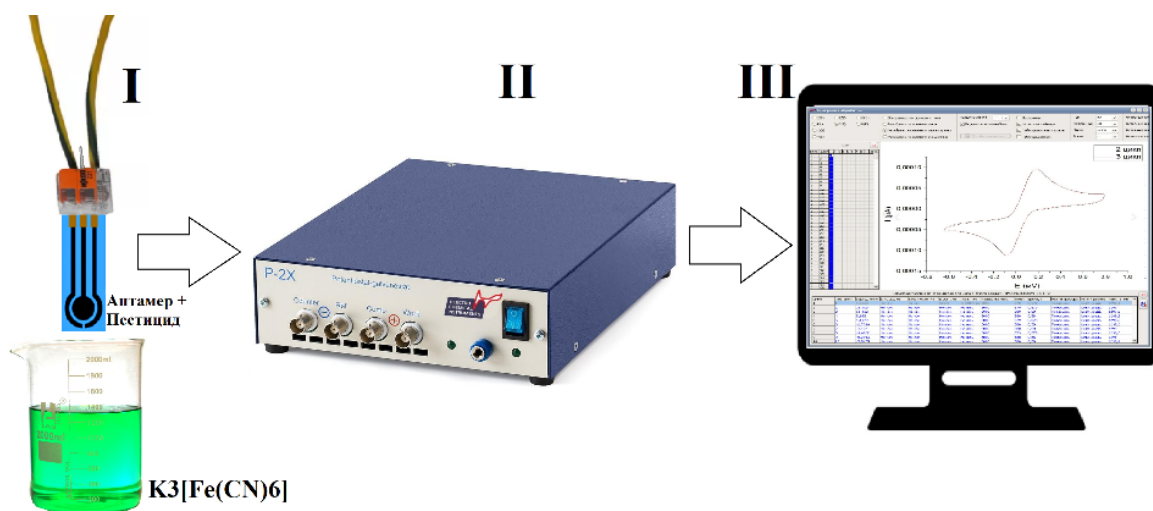


Рис. 3. Принцип работы электрохимических аптасенсоров: электрод, вставленный в коннектор (I), подключают к потенциостату (II), погружают в раствор гексацианоферрата калия 3 и снимают показания при помощи ПК (III)

Текущее развитие электрохимических аптасенсоров для обнаружения пестицидов в основном заключается в улучшении чувствительности обнаружения путем интеграции аптамеров с инновационными нанокompозитными материалами и окислительно-восстановительными зондами для повышения удельной площади поверхности и эффективности переноса электронов чувствительным электродом среди других методов.

В колориметрии в качестве индикаторов используются наночастицы благородных металлов. В число лучших наночастиц входят наночастицы золота (AuNPs) и наночастицы серебра (AgNPs).

Дисперсные AuNPs обычно демонстрируют красно-розовый цвет, который может быть превращен в фиолетово-синий в агрегированной форме. AgNPs демонстрируют различные цвета, в основном отображая желтый или светло-коричневый в дисперсионной форме и превращаясь в оранжевый или темно-коричневый с резким уменьшением поглощения в агрегированной форм. Чаще всего, в качестве цветowych индикаторов используют наночастицы золота.

Схематическое представление общей концепции колориметрических аптасенсоров на основе наночастиц для обнаружения пестицидов представлено на рисунке 4.

Количественное определение пестицидов методом флуориметрии основано на зависимости интенсивности люминесценции от концентрации пестицида в пробе. Принцип измерения состоит в облучении пробы излучением УФ-области и измерении полученного спектра с помощью фотодетектора. Флуоресцентные метки в аптасенсорах могут функционировать по-разному, например, флюорофор может быть связан с аптамерами, закреплёнными на золотых наночастицах и не проявлять свечение. Однако, если в среде есть мишень аптамера, то она вытеснит флюорохром из комплекса и можно будет обнаружить флуоресцентный сигнал (рис. 5).

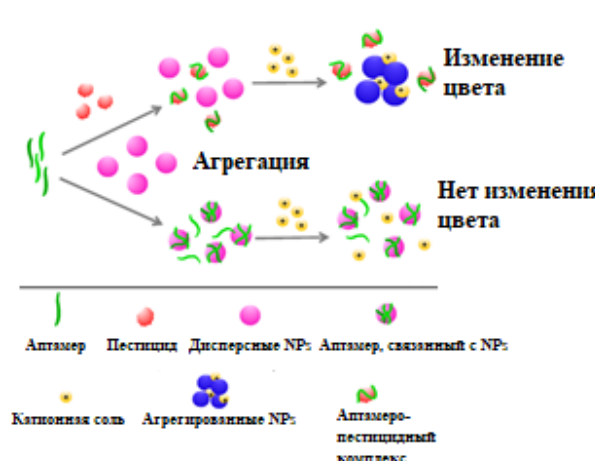


Рис. 4. Производство цвета осуществляется путем агрегации наночастиц, индуцированной солью

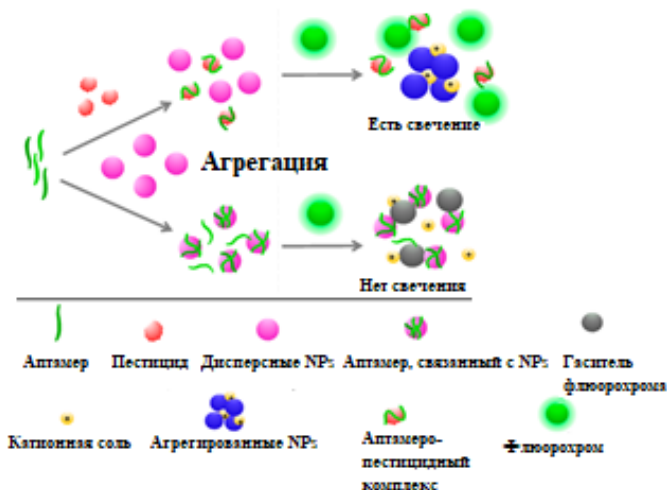


Рис. 5. Производство свечения осуществляется путем NP-индуцированного флуоресцентного гашения

Имеют место быть и другие варианты флуоресцентной детекции: например, когда аптамер связывается с ДНК-зондом и флуоресцентным соединением, которое может флуоресцировать только в присутствии двуцепочечной ДНК. ДНК-зонд, позволяющий структуре существовать в виде двуцепочечной ДНК, вытесняется нефлуоресцирующим исследуемым веществом из образца и по затуханию флуоресценции можно оценить содержание исследуемого вещества. Аптамеры, соединенные с флюорохромом и гасителем, включают шпильки, которые сближают гаситель и светящуюся молекулу, размыкающиеся при связывании с мишенью. Размыкание шпильки провоцирует устранение ингибирования флуоресцентного сигнала. Аптамер также можно связать с флюорохромом и гасителем, но только чтобы они взаимодействовали при связывании аптамера с мишенью, тогда флуоресценция будет свидетельствовать об отсутствии мишеней в изучаемом материале (рис. 6).

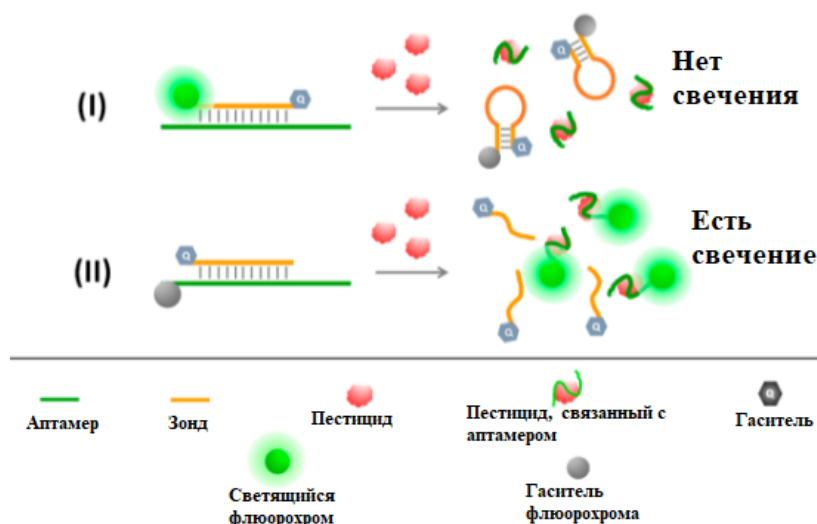


Рис. 6. Флуоресцентные аптасенсоры с использованием дополнительных зондов: двухмаркированный (I) и одномаркированный (II) флуоресцентный зонд

Применение биосенсоров на основе аптамеров или аптасенсоров является многообещающей тенденцией в скрининге пестицидов из-за их чувствительности и специфичности к целевым показателям пестицидов, высокой надежности, экономической эффективности и гибкости [6]. Для мониторинга пестицидов особенно перспективным направлением является применение электрохимических аптасенсоров из-за их высокой чувствительности, скорости, простоты, портативности, миниатюрности и низкой стоимости.

## Литература

1. Sharma A., Kumar V., Bhardwaj R., Thukral A.K. Seed pre-soaking with 24-epibrassinolide reduces the imidacloprid pesticide residues in green pods of Brassica juncea L. *Toxicol Environ Chem* 99(1). – 2017. – Pp. 95–103.
2. Бутусов Л.А., Чудинов Г.К., Борулева Е.А., Кочнева М.В., Омельченко В.И., Шарыгина А.В., Аликберова Т.А. Возможности и перспективы биосенсорных технологий в анализе продуктов питания // *Вестник РДН. Серия: Агрономия и животноводство*. – 2018. – Vol.13. – №1. – С. 70–77.
3. Moina C. Fundamentals and Applications of Immunosensors [Текст] / C. Moina, G. Ybarr // *Advances in Immunoassay Technology* / ed. N. Chiu: InTech. – 2016. DOI:10.5772/36947.
4. Plekhanova Yu.V., Reshetilov A.N. Microbial Biosensors for the Determination of Pesticides // *Journal of analytical chemistry* 74:12. – 2019. – Pp. 1159–1173.
5. Biosensors - Micro and Nanoscale Applications [Текст] / ed. Rinken T.: InTech. – 2016. – 466 p.
6. Kamonrat Phopin, Tanawut Tantimongcolwat Pesticide Aptasensors—State of the Art and Perspectives // *View Web of Science ResearcherID and ORCID* 20:23. – 2020. DOI: 10.3390/s20236809.

УДК 502; 504

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ СМЕСЕЙ

*Миниахметова А.В.<sup>1</sup> (аспирант), Бараненко Д.А.<sup>1</sup>, Ильина В.С.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: miniaigul86@mail.ru*

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

---

В работе рассмотрено применение экологической оценки воздействия в жизненном цикле технологий производства функциональных ингредиентов для профилактики онкологических заболеваний в качестве обоснования применения сырьевого ингредиента для российского и зарубежного потребителя и составления экологической декларации EPD.

**Ключевые слова:** профилактика онкологических заболеваний, функциональные пищевые ингредиенты, биологически активные вещества, инкапсулирование, оценка жизненного цикла, экологическая декларация продукции EPD.

---

Стремительный мировой прогресс в науке и технике, увеличение в ряде стран расходов на здравоохранение, изменение законодательства в пищевой индустрии, усиливающего требования к пищевым продуктам и информации для потребителей, растущий интерес к достижению хорошего самочувствия с помощью специального питания – все эти факторы усиливают интерес мирового сообщества к новым функциональным продуктам питания (ФПП), приводящим к снижению риска развития сопутствующих неинфекционных заболеваний, сохраняя и улучшая при этом качество здоровья за счет наличия в составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов [1].

На сегодняшний день онкологические заболевания остаются актуальной проблемой здравоохранения большинства стран мира, в том числе России. Так, в 2020 г. в мире от онкологических заболеваний погибло 19,3 млн человек, 10 млн из которых имели летальный исход. Важным поведенческим фактором риска онкологических заболеваний является несбалансированный рацион питания [2].

На сегодняшний день данное направление в науке о питании требует разработки теоретических основ и новых практик создания ФПП с учетом требований по качеству и экологической безопасности.

Авторами выполнен сравнительный анализ экологического воздействия в жизненном цикле двух функциональных ингредиентов для профилактики онкологических заболеваний, получаемых из различных источников сырья – побочных продуктов процесса переработки соевого масла и экстракта лабазника вязолистного. Объектами исследования являлись наноинкапсулированный экстракт лабазника и микроинкапсулированные фитостерины (фитостеролы) из побочных продуктов производства соевого масла.

Исследование проводилось на основе экспериментальных данных, полученных в Международном научном центре "Биотехнология третьего тысячелетия" факультета биотехнологии Университета ИТМО в 2020 году [3–5].

---

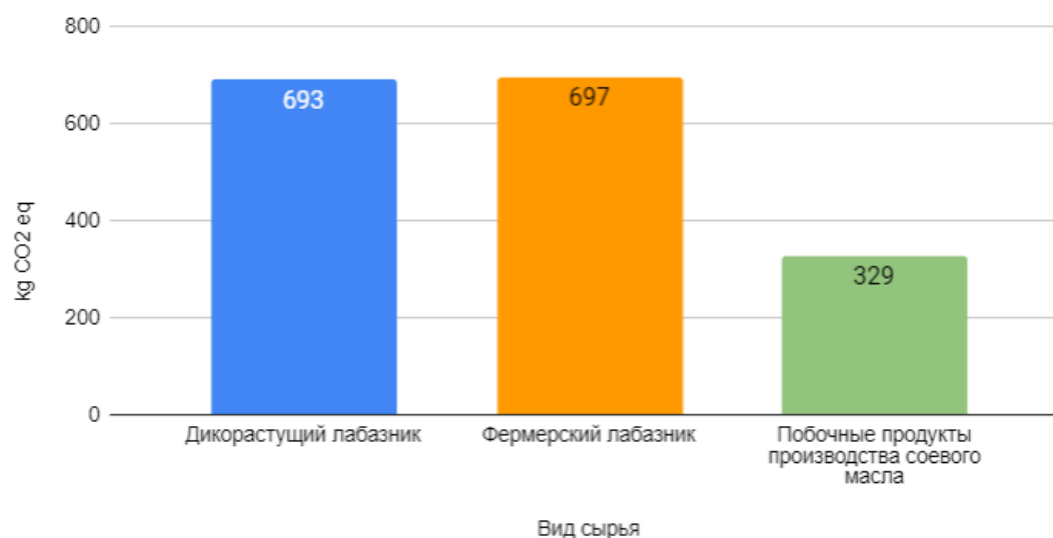


Рисунок. Сравнительная оценка углеродного следа технологий производства БАВ в жизненном цикле

На основе результатов проведенного анализа углеродного следа (рисунок), выполненного с помощью модели IPCC 2013, можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным сырьем для производства функциональной пищевой смеси являются побочные продукты производства соевого масла с получением микроинкапсулированных БАВ. Выбор вторичного сырья обеспечит не только лучшие экономические результаты, но и наименьшее негативное воздействие конечного продукта на окружающую среду.

Полученные результаты могут найти практическое применение в России при разработке экологической декларации для функциональных пищевых ингредиентов.

## Литература

1. Профилактика заболеваний: учебное пособие для студентов высших учебных заведений // Алексеенко С.Н., Дробот Е.В. – Москва: Изд. дом Акад. Естествознания. – 2015. – 449 с.
2. Информационные бюллетени – Рак. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cancer> (дата обращения: 20.06.2021).
3. Baranenko D., Bepalov V.G., Nadtochii L., Shestopalova I., Chechetkina A., Lepeshkin A., Ilina V. Development of encapsulated extracts on the basis of meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) in the composition of functional foods with oncoprotective properties // *Agronomy Research*. – 2019. – Vol.17. – №5. – Pp. 1829–1838.
4. Савинова Т.С., Войшвилло Н.Е., Андрюшина В.А., Карпова Н.В., Белецкая И.П. Извлечение смеси фитостеринов из побочных продуктов переработки соевых бобов и использование её в производстве 9 $\alpha$ -гидроксиандрост-4-ен-3, 17-диона // *Химико-фармацевтический журнал*. – 2012. – №46(3). – С. 40–43.
5. Луцкий В.И., Молокова Д.В. Фитостерины из побочных продуктов масложиркомбината // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. – 2012. – №2(3) – С. 42–45.



УДК 502; 504

## ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

*Миниахметова А.В.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Сергиенко О.И.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: miniaigul86@mail.ru*

---

В работе приводится обзор оценки углеродного следа при производстве продукции растительного происхождения. Рассмотрено применение оценки жизненного цикла для расчета углеродного следа в цепочке производства картофеля на основе традиционной технологии выращивания картофеля и технологии с применением биопрепарата. Применение биопрепарата позволило не только повысить качество и сохранить потребительские свойства продукции при ее длительном хранении, но и обеспечить снижение углеродного следа и лучшую экологическую эффективность цепочки производства картофеля.

**Ключевые слова:** оценка жизненного цикла, углеродный след, агропромышленный комплекс, парниковые газы, поглощение

---

По некоторым данным вклад сельского хозяйства в глобальный углеродный след составляет 25% [1]. При этом рост выбросов парниковых газов постоянно возрастает, что связано с ростом потребностей населения в продуктах питания.

На сегодняшний день из-за прогнозируемого опасного изменения климата ученые и специалисты агропромышленного комплекса обращают внимание на снижение воздействия на окружающую среду, вызванного производством продуктов питания, внедрение экологически безопасных и «устойчивых» технологий, рациональное использование отходов производства. Наряду с этим агропромышленный комплекс стремится удовлетворить потребности общества в качественных продуктах питания, сохраняющих свои потребительские свойства при длительном хранении.

Основным источником углеродного следа сельскохозяйственной продукции является сжигание ископаемого топлива при использовании оборудования, производство и применение удобрений. Вклад продукции растительного происхождения в углеродный след вызван выбросами парниковых газов на этапе производства. В период вегетации углекислый газ поглощается из атмосферного воздуха и углерод накапливается в наземных и подземных частях растений в виде биомассы, оказывая влияние на уровень углекислого газа в атмосфере.

Учет «горячих точек» с наибольшим вкладом в общий углеродный след позволяет руководителям агрокомплексов получить ряд преимуществ:

- применение более безопасных для окружающей среды технологий;
- увеличение прибыли за счет применения экологически безопасных технологий и сокращения затрат на производство;
- выпуск продукции, которая обладает экологическими преимуществами для ответственных потребителей;
- снижение углеродного баланса за счет внедрения экологически чистых методов производства продовольственного растительного сырья.

Результаты (табл. 1) исследования поглощения углерода на сельскохозяйственных фермах водно-болотных угодий Восточной Калькутты (Индия) [2] показали, что остатки культурных растений, которые остаются в поле после сбора урожая, являются источником питательных

---

веществ, в том числе углерода, что не только увеличивает плодородие почвы, но и положительно влияет на изменение климата. Дополнительным «бонусом» для производителей может стать будущая финансовая выгода при развитии рынка «углеродных кредитов» в Индии.

Таблица 1. Содержание углерода в сухой биомассе сельскохозяйственного сырья

| Растение                                                                       | Ср. сухая<br>биомасса 20<br>обр. растений, г | Содержание углерода, г угл./г сух.<br>биомассы |                     |                    |                    | Всего<br>С, г  | %<br>сод.-<br>ния С |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------------------|
|                                                                                |                                              | Корень                                         | Стебель             | Лист               | Плод               |                |                     |
| Романская<br>брокколи,<br><i>Brassica<br/>oleracea</i> var,<br><i>Botrytis</i> | 245,21 ± 25,8                                | 0,2414 –<br>0,2811                             | 0,2546 –<br>0,285   | 0,3215 –<br>0,3674 | 0,2716 –<br>0,312  | 1,167          | 0,476               |
| Редиска<br><i>Raphanus<br/>sativus</i>                                         | 74,58 ± 11,9                                 | 0,2485 –<br>0,2812                             | 0,3411 –<br>0,3646  | 0,4389 –<br>0,4387 | –                  | 1,057          | 1,417               |
| Баклажан<br><i>Solanum<br/>melongena</i>                                       | 189,93 ± 36,0                                | 0,2341 –<br>0,2684                             | 0,2622 –<br>0,2987  | 0,3318 –<br>0,3537 | 0,3305 –<br>0,3456 | 1,213          | 0,638               |
| Амарант<br>красный<br><i>Amaranthus<br/>gangeticus</i>                         | 3,89 ± 0,84                                  | 0,2447 –<br>0,2859                             | 0,3115 –<br>0,3506  | 0,383 –<br>0,4068  | –                  | 0,991          | 25,48<br>2          |
| Базелла белая<br><i>Basella alba</i>                                           | 45,1 ± 15,3                                  | 0,2719 –<br>0,2962                             | 0,3251 –<br>0,349   | 0,4129 –<br>0,4356 | –                  | 1,045          | 2,318               |
| Шпинат<br>огородный<br><i>Spinacia<br/>oleracea</i>                            | 2,58 ± 0,5                                   | 0,2822 –<br>0,3142                             | 0,3146 –<br>0,3347  | 0,4016 –<br>0,1274 | –                  | 0,887          | 34,39<br>3          |
| Рис посевной<br><i>Oryza sativa</i><br>(boro)<br>Семена                        | 29,22 ± 0,89<br>45,32 ± 7,22                 | 0,2015 –<br>0,2434                             | 0,2615 –<br>0,2956, | 0,3216 –<br>0,3485 | 0,4134 –<br>0,4346 | 1,260<br>0,424 | 4,312<br>0,936      |

Следующим примером растительной продукции, которая может быть рассмотрена как экологически чистый источник сырья является промышленная конопля [3]. Ее можно использовать для производства широкого ассортимента экологически чистой продукции с общим низким воздействием на окружающую среду: натуральный наполнитель для тканевых материалов, поглощающих парниковые газы (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>) [4], стройматериал костробетон, биотопливо.

Согласно данным авторов [3] (табл. 2) одна тонна стеблей промышленной конопли содержит 0,445 т углерода, поглощенного из атмосферы, что составляет 44,46% от сухого вещества стебля. CO<sub>2</sub> при выращивании конопли значительно ниже среднего уровня. Авторы сделали вывод, что углерод, поглощенный в отходах конопли, компенсирует выбросы от выращивания и логистики, что позволяет рассматривать выращивание конопли в качестве смягчения последствий изменения климата.

Таблица 2. Показатели поглощения углекислого газа различными частями конопли

| Показатель                                | Поглощенный CO <sub>2</sub> , т |
|-------------------------------------------|---------------------------------|
| CO <sub>2</sub> на т стебля конопли       | 1,37                            |
| CO <sub>2</sub> на га (стебель)           | 7,47 – 11,25                    |
| CO <sub>2</sub> на га (корень и лист)     | 1,40 – 2,06                     |
| CO <sub>2</sub> на га, оставшегося в поле | 1,67 – 2,46                     |

Исследование снижения углеродного баланса за счет производства овощных культур показало, что общее поглощение CO<sub>2</sub> культурными растениями и лесопосадками может



достигать до 59% от общего количества углекислого газа, образующего при сжигании топлива и производстве цемента на территории Польши (табл. 3) [5].

Таблица 3. Показатели поглощения углекислого газа культурными растениями

| Культурное растение | Поглощение CO <sub>2</sub> , т CO <sub>2</sub> /га в год |
|---------------------|----------------------------------------------------------|
| Цветная капуста     | 36                                                       |
| Брокколи            | 22                                                       |
| Артишок             | 13                                                       |
| Помидор             | 24                                                       |
| Картофель           | 13                                                       |

Приведенный тематический обзор показывает, что грамотное обращение с отходами продукции растительного происхождения, а также экологизация процессов в агропромышленном комплексе актуальна для решения проблемы изменения климата.

Применение экологически устойчивых технологий позволит снизить углеродный след в сельскохозяйственном секторе, а также увеличить плодородие используемых почв, увеличить качество продукции, и, следовательно, обеспечить продовольственную безопасность и реализацию принципов устойчивого развития.

## Литература

1. Magomedov I.A., Khaliev M.S-U., Bagov A.M. Agriculture and its contribution to global warming. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/344092989\\_Agriculture\\_and\\_its\\_contribution\\_to\\_global\\_warming](https://www.researchgate.net/publication/344092989_Agriculture_and_its_contribution_to_global_warming) (дата обращения: 14.01.2022).
2. Sudin Pal, Subhra Kumar Mukhopadhyaya, Buddhadeb Chattopadhyay. Importance of agriculture and crop residues in carbon sequestration and nutrient enrichment at agricultural farms of East Kolkata Wetland area, a Ramsar site. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jstor.org/stable/24908022> (дата обращения: 13.01.2022).
3. The Science behind Carbon Dioxide Reduction with Hemp. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hempnewstv.wordpress.com/2009/09/28/the-science-behind-carbon-dioxide-reduction-with-hemp/> (дата обращения: 13.01.2022).
4. Vandana Loka Prakash, R Ravi. Usage of hemp and vetiver blended with lime as natural additives to reduce greenhouse gas emissions. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2054/1/012066> (дата обращения: 13.01.2022).
5. Artur Pawlowski, Malgorzata Pawlowska, Lucjan Pawlowski. Mitigation of greenhouse gases emissions by management of terrestrial ecosystem. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sciendo.com/article/10.1515/eces-2017-0014> (дата обращения: 13.01.2022).

УДК 504.062; 678; 67.08

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ И КОМПОСТИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Молодых А.П.<sup>1</sup> (студент), Николаев Е.Н.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: apmol@niuitmo.ru*

---

На сегодняшний день проблема образования отходов в целом и пластиковых отходов в частности стоит крайне остро. В основном это вызвано растущими объемами производимого пластика и неразвитой культурой вторичной переработки. Повсеместное внедрение компостируемого материала на замену пластику могло бы частично решить проблему пластикового загрязнения, чем и обуславливается актуальность исследования. В ходе работы были проанализированы литературные источники и составлена сводная таблица исследованных композитных смесей.

**Ключевые слова:** литературный обзор, компостируемые материалы, биоразлагаемые материалы, композитные материалы, вторичные материальные ресурсы.

---

Один из ключевых моментов в проблеме пластиковых отходов – темпы производства. Половина когда-либо произведённого пластика была изготовлена за последние 15 лет. При этом, на данный момент наблюдается тенденция экспоненциального роста объёмов производства пластика: с 2,3 млн тонн в 1950 году, до 448 млн тонн в 2015 году, с ожидаемым удвоением к 2050 году [1]. Другая сторона проблемы – рост площади, занимаемой свалками ТБО. Только в России ежегодно в мусорный контейнер отправляется примерно 70 млн тонн отходов, из которых 94% отправляется на свалку, 2% сжигается, и только 4% отправляется на переработку. Прямым следствием этого является рост площади, занимаемой мусорными свалками – 400 тыс. га в год, при общей площади свалок в России в 4 млн га, что при несложных расчётах показывает удвоение площади свалок через 10 лет [2]. Налаженная система переработки пластика могла бы облегчить проблему свалок, поскольку доля пластикового мусора в общем объеме составляет в зависимости от региона мира от 8 до 12%. Однако, на сегодняшний день одна из главных проблем пластика – очень долгое время разложения – до 450 лет [3]. Повсеместное внедрение компостируемого материала на замену пластику могло бы частично решить проблему пластикового загрязнения, чем и обуславливается актуальность исследования.

Традиционные пластики вроде полиэтилена, полипропилена или полиэтилен терефталата применяются повсеместно из-за их высокой доступности и низкой стоимости. Однако, в связи с тем, что они были синтезированы человеком и не встречаются в природе, организмов, способных разрушить эти соединения также нет. Как следствие – крайне долгое время разложения.

В соответствии с ГОСТ Р 57226–2016, биоразложение – «разложение, происходящее в результате биологического воздействия, в особенности воздействия ферментов, приводящее к существенному изменению химической структуры материала». В определении кроется главный недостаток термина биоразлагаемость: поскольку главный критерий – нарушение химической структуры исходного материала, к продуктам разложения не предъявляется никаких требований. Наряду с биоразложением среди терминов и определений данного документа присутствует компостирование – «аэробный процесс, в результате которого образуется компост». Компост в свою очередь – «органическое удобрение, полученное путем

---

биоразложения смеси, состоящей в основном из различных растительных остатков, иногда с другими органическими материалами, и содержащей ограниченное количество минеральных веществ». К компосту, в отличие от продуктов биоразложения, предъявляется ряд требований, определяющих пригодность к компостированию. Критерии качества компоста включают в себя низкое содержание регламентируемых металлов, отсутствие экотоксичности и явно различимых остатков [4].

С каждым годом интерес к биоразлагаемым материалам растет, что выражается значительным количеством научных работ на эту тему.

Sanja Mahović Poljaček и др. в своей работе описали композитную смесь PCL, PLA и кокосового волокна как материал для изготовления печатных плит. Авторы отмечают, что добавление кокосового волокна в смесь полимеров увеличивало итоговую твердость и эластичность.

Warangkana Choklob и др. исследовали свойства композитной пленки из PLA и золы рисовой шелухи (RHA) для использования в качестве упаковочной плёнки для фруктов. Результаты показали, что увеличение содержания золы рисовой шелухи привело к увеличению максимальной прочности на разрыв и относительного удлинения при разрыве, наилучший результат был зафиксирован для наименьшей скорости вращения вала, которой соответствовала наибольшая толщина плёнки. Также были исследованы скорости проникновения водяного пара и кислорода, наименьшие наблюдались при 5% золы в смеси. В то же время наилучшим вариантом для хранения бананов оказался вариант с 20% золы в составе.

Farah Dina Abdullah и др. изучили влияние предварительной обработки RH 6% раствором гидроксида натрия на свойства композита PLA и RH. В эксперименте рисовая шелуха составляла 25% веса композита. Было обнаружено, что прочность на разрыв и сгибание образцов с TRH была ниже, чем у образцов с RH.

Nor'aini Ahmad Zawawi и др. исследовали свойства композитов PLA с RH и PLA с волокнами коноплевого гибискуса как альтернативного материала для изготовления печатных плат. По наблюдениям исследователей композит PLA с коноплевым гибискусом обладает большей проницаемостью чем композит PLA и RH. При этом оба пригодны для использования при изготовлении печатных плат.

Daniele Battezzore и др. изучали температурные, механические и морфологические свойства композита PLA и RHA при разных содержаниях RHA: 5, 10, 20, 30 процентов по весу. Результаты тестов показали значительное увеличение модуля Юнга и уменьшение кислородной проницаемости образцов с кремнезёмом по сравнению с обычным PLA. Авторы также отметили, что производство композита, содержащего 20% кремнезёма, является экономически обусловленным при восстановлении энергии сжигания RH.

Sareeladdanon S. и др. исследовали свойства композитов PLA и кремнезёма. Результаты показали, что наилучшие значения модуля Юнга и предела прочности были для композитов с 0,5% кремнезёма. Значение удлинения при разрыве было у композита с 1% кремнезёма.

Jamshid Mohammadi-Rovshandeh и др. изучили эффект удаления лигнина на свойства композита PLA, крахмала и TRH для пищевых упаковок. Было обнаружено увеличение предела прочности и твердости композитных материалов с RH и TRH.

Daniele Battezzore и др. описали использование целлюлозы извлечённой из RH в композите с PLA. Испытания образцов показали значительное улучшение механических свойств и уменьшение кислородной проницаемости с увеличением количества целлюлозы в композите.

Luboš Běhálek и др. изучили свойства композитов PLA, RH и целлюлозы, и динамику их изменения при изменении температуры. По результатам тестов, модуль Юнга композитов с 30% RH увеличился на 32% по сравнению с чистым PLA, и на 48% в композитах с 30% целлюлозного волокна.

Ramengmawii Siakeng и др. исследовали свойства композитов PLA и обработанных гидроксидом натрия кокосовых и ананасовых волокон. Состав исследованных образцов – 70% PLA, 30% растительного волокна: кокосовое/ананасовое волокно – 3:7, 1:1, 7:3. Случай 1:1 показал наилучшие характеристики прочности и упругости на изгиб.

Koenig M.F. и др. исследовали биоразлагаемые смеси PCL или PHBV (поли(3-гидроксibuтират 3-гидроксивалерат), относится к РНА) и производных крахмала. Результаты показали повышение модуля и уменьшение общей прочности по сравнению с полимером до смешивания.

L. Averous и др. исследовали свойства смеси PCL и крахмала. Результаты показали уменьшение модуля и увеличение ударного сопротивления в смесях крахмала и PCL.

Buenaventurada P. Calabia и др. рассмотрели композит PBS и хлопкового волокна. Результат показал увеличение прочности на разрыв и более высокий темп биоразложения композита PBS и кокосового волокна по сравнению с чистым PBS. Вдобавок, силановый агент способствовал большему увеличению прочности на разрыв.

Zhiliang Huang и др. исследовали композит PBS и волокна кожуры сахарного тростника. По результатам исследования темпы и степень биоразложения композитов были выше по сравнению с чистым PBS, с наилучшим результатом у образца с 5% тростникового волокна в составе.

Zelalem Chernet Lule и др. изучили свойства композита PBAT, PBS и кофейной шелухой. Результаты показали, что обработка кофейной шелухи привела к улучшению её совместимости с PBAT и PBS. По сравнению с чистым PBAT прочность на разрыв и модуль Юнга повысились на 96% и 278% соответственно.

Данные о материале полимерной матрицы и наполнителя, условия смешивания композитной смеси и изготовления тестового образца были в таблице.

Таблица. Основная информация об условиях изготовления биокompозитов

| Полимерная матрица   | Наполнитель                                                                       | Условия смешивания                                             | Условия изготовления образца                                                                                              |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Смесь PCL и PLA      | Кокосовое волокно                                                                 | Закрытый резиномеситель, 190°C, 5 минут                        | Термопресс, 190°C, 16 МПа, 5 минут                                                                                        |
| PLA                  | РНА, обработка соляной кислотой, сжигание в муфельной печи при 575°C, 5 – 6 часов | Двухшнековый экструдер, 160 – 170°C                            | Одношнековый экструдер с раздувочной головкой, 145 – 160 °C, скорость вращения вала: 150, 250, 350, 400 оборотов в минуту |
| PLA                  | РН или TRH, обработка гидроксидом натрия                                          | Закрытый резиномеситель, 180°C                                 | Инъекционное литьё, 190°C, температура формы 90°C                                                                         |
| PLA                  | РН или коноплевый гибискус                                                        | Закрытый резиномеситель, 170°C, 8 минут, 50 оборотов в минуту  | Термопресс, 175°C, 7 МПа, 5 минут                                                                                         |
| PLA                  | РНА, обработка серной кислотой, сжигание в муфельной печи при 800°C               | Двухшнековый экструдер, 165 – 175°C, 100 оборотов в минуту     | Термопресс, 180°C, 5 МПа, 3 минуты                                                                                        |
| PLA                  | РНА                                                                               | Двухшнековый экструдер                                         | Плоскощелевой экструдер с охлаждающей головкой                                                                            |
| Смесь PLA и крахмала | TRH, обработка гипохлоритом натрия и гидроксидом натрия                           | Закрытый резиномеситель, 180°C, 15 минут, 60 оборотов в минуту | Термопресс, 180°C, 0,5 МПа, 5 минут                                                                                       |

Продолжение таблицы

| Полимерная матрица | Наполнитель                                      | Условия смешивания                                                                                  | Условия изготовления образца                        |
|--------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| PLA                | Целлюлоза                                        | Двухшнековый экструдер, 180°C, 60 – 100 оборотов в минуту                                           | Термопресс, 180°C, 5 МПа, 3 минуты                  |
| PLA                | RH и/или целлюлоза                               | Двухшнековый экструдер                                                                              | —                                                   |
| PLA                | Обработанные волокна кокоса и ананасовых листьев | Закрытый резиномеситель, 180°C, 10 минут, 50 оборотов в минуту                                      | Термопресс, 180°C, 10 минут                         |
| PCL или PHBV       | Производные крахмала                             | Одношнековый экструдер                                                                              | Термопресс, 120 – 160°C, 0,91 МПа                   |
| PCL                | Крахмал                                          | Одношнековый экструдер                                                                              | Инъекционное литьё, 100 – 130°C, 100 МПа, 15 секунд |
| PBS                | Хлопковое волокно                                | Были изготовлены хлопковые листы, к которым термопрессом приплавлялся PBS, 150°C, 1,96 МПа, 5 минут | —                                                   |
| PBS                | Волокна кожуры сахарного тростника               | Двухшнековый экструдер, 150 – 180°C, 40 оборотов в минуту                                           | Инъекционное литьё, 170 – 190°C, 20 – 30 МПа        |
| Смесь PBS и PBAT   | Кофейная шелуха                                  | Двухшнековый экструдер, 150°C, 30 оборотов в минуту                                                 | —                                                   |

## Литература

1. National Geographic «The world's plastic pollution crisis explained». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution> (дата обращения: 05.01.2022).
2. Доклад Greenpeace «Что делать с мусором в России?». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2019/10/report-RUSSIA-GARBAGE.pdf> (дата обращения: 05.01.2022).
3. Инфографика СИБУР «Мифы и заблуждения о пластике». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sibur.ru/upload/iblock/40b/40b63768158dd8511772c5c999a572ea.pdf> (дата обращения: 05.01.2022).
4. ГОСТ Р 57226-2016 Пластмассы. Определение степени разложения в установленных условиях компостирования в процессе пробных испытаний. – Введен 01.05.2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200141088> (дата обращения: 05.01.2022).

УДК 664.543; 544; 414.5; 546.3

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ПРОМЫСЛА ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

*Наумова А.В.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Ишевский А.Л.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Университет ИТМО*

*e-mail: 8981877842@mail.ru*

---

Статья посвящена поиску решений по очистке рыбы от тяжелых металлов. Основная цель получение биоразлагаемых полимерных покрытий на основе распространенных полисахаридов – альгината натрия и хитозана с использованием безопасных хелатов, для сокращения риска отравлений тяжелыми металлами у людей с нарушением углеводного обмена.

**Ключевые слова:** альгинат натрия, хитозан, биоразлагаемая плёнка, сорбент, сахарный диабет, хелат, ксенобиотик.

---

В связи с ухудшением экологической обстановки баланс тяжелых металлов и микроэлементов был нарушен. Глобальное загрязнение окружающей среды. Такие элементы как ртуть, мышьяк, свинец и кадмий аккумулируются в донных отложениях, а затем по трофическим цепям к гидробионтам и планктону, который является кормовой базой [1].

В работе приведены и обоснованы варианты композиционного состава биоразлагаемых полимерных покрытий, задачей которых является формирование экологически безопасной упаковки, при изготовлении которой применяются компоненты способствующие самостоятельному разложению упаковки, без необходимости утилизации [1, 2], а также описаны методы их получения. Предполагается, что данная упаковка снизит риск отравления тяжелыми металлами у людей, страдающих нарушением углеводного обмена, при потреблении рыбы.

Также в работе приведен метод нанесения композиционного состава биоразлагаемых полимерных покрытий «слой за слоем», который позволит увеличить барьерные свойства полученных образцов пищевых покрытий.

По статистике большая часть хронических заболеваний возникают при длительном пагубном воздействии окружающей среды на организм человека. К подобной категории заболеваний относятся сахарный диабет, бронхиальная астма, а также многие виды онкологических заболевания. Регулярное потребление продуктов, в которых содержатся тяжелые металлы приводит к возрастанию заболеваемости у населения.

На территории Российской Федерации и на территории других стран, очень трудно найти водный бассейн, не подверженный загрязнению, а также воздействию антропогенных факторов. Загрязнения практически всех районов имеют комплексный характер и загрязнены, как правило, группой ксенобиотиков. Чаще всего на определенный водный бассейн воздействует ни один, а несколько видов неблагоприятных факторов [3, 4]. На основании анализа литературных данных, для проведения исследований была выбрана Невская губа Финского залива. Дело в том, что объем потребления населением Ленинградской области и Санкт-Петербурга рыбы и морепродуктов, по сравнению с другими регионами Российской

Федерации, находится на среднем уровне. Нагрузка контаминантами пищевых продуктов, потребляемых населением в районах Ленинградской области и города Санкт-Петербурга, различается. В пищевых продуктах, потребляемых городским населением выбранного нами района, содержание токсикоэлементов выше, чем в тех же продуктах, используемых в питании населения области.

Рыба и морепродукты, в которых содержатся тяжелые металлы, могут быть смертельно опасны для людей, подверженных хроническим заболеваниям. На сегодняшний день, по меньшей мере треть населения страны страдают сахарным диабетом. В основном это сахарный диабет второго типа.

С целью обеспечения безопасного употребления в пищу рыбы и морепродуктов данной категорией людей, в настоящей работе предложено описание метода получения биоразлагаемых полимерных плёнок сорбентов с добавлением хелатов, которые способствуют хелации тяжелых металлов в рыбном продукте и призваны предотвратить их негативные воздействия на людей, в частности, больных сахарным диабетом.

Для очищения рыбы и рыбных продуктов от примесей тяжелых металлов было разработано несколько вариантов биоразлагаемых пленок – сорбентов на основе хитозана и альгината натрия с добавлением хелатов, которые имеют высокую ПДК и низкую токсичность.

Известно, что наиболее перспективно использование, в качестве защитных покрытий, съедобных природных полимеров на основе полисахаридов хитозана и альгината натрия.

Хитозан производное природного биополимера, который относится к группе полисахаридов, хитина, носит основной характер. На сегодня это один из самых распространенных полимеров, получаемых при переработке панцирей ракообразных. Относится к производным природного биополимера- хитина. В отличие от других полисахаридов имеет высокие антимикробные свойства, высокую сорбционную активность, имеет низкую токсичность в определенной молекулярной массе в комбинации со множеством компонентов.

Альгинат натрия - был выбран, в связи с высокой гелеобразующей способностью, а также способностью связывать и подвергать экскреции токсичные вещества из организма.

Технологические и функциональные свойства альгината натрия зависят от того, из какого вида водорослей он был получен. Известно более чем 300 видов бурых водорослей. Вид альгиновой кислоты определяет способность структурообразования.

В качестве вспомогательных компонентов были использованы для инактивации действия тяжелых металлов на продукт следующие хелаты:

1. ЭДТА, так как наиболее распространен (был выбран в качестве негативного контроля, так как имеет низкую ПДК).
2. DMSA (димеркаптоянтарная кислота) – лучше всего хелатирует свинец и ртуть.
3. DMPS (димеркаптопропансульфонат натрия), так как имеет большую эффективность в хелации ртути).

Таким образом, для проведения исследования было сформировано 6 образцов:

- альгинат натрия (контроль);
- альгинат натрия + хитазан;
- альгинат натрия + хитазан + ЭДТА (с осторожностью);
- альгинат натрия + хитазан + DMSA (димеркаптоянтарная кислота);
- альгинат натрия + хитазан + DMPS (димеркаптопропансульфонат натрия);
- альгинат натрия + хитозан + соль+ DMSA;
- альгинат натрия + хитозан + соль+ DMPS.

Для нанесения образцов съедобных покрытий был выбран Атлантический лосось (*Salmo solar*), так как данный вид рыбы является одним из наиболее редких и ценных видов Невской губы Финского залива.

Для получения вышеописанных вариантов биоразлагаемых пленок был выбран самый распространенный метод – получение пленок на подложке. В качестве органической кислоты используется водный раствор 4 – 6% лимонной кислоты, при соотношении компонентов, мас.

%, хитозан – 0,5 – 4,0%, органическая кислота – 1 – 8%, вода – остальное. Навеску хитозана растворяют в водном растворе кислоты фиксированной концентрации [4]. При этом получается формовочный раствор, который переносится на инертную подложку, на которую предварительно была нанесена пленка альгината натрия, полученная этим же способом из 2 – 5% водного раствора альгината натрия, которая сушится методом обдува, преимущественно в течение 10 – 20 минут.

Из раствора хитозана испаряется растворитель в течение 3 – 7 суток в зависимости от природы и концентрации кислоты (из диапазона 2 – 8%) при нормальной температуре в статических условиях. Затем пленочный образец отделяется от подложки, определяется его толщина, определяются упругопластические характеристики.

Для усиления хелатирующих свойств полученных образцов в раствор хитозана были добавлены хелаты в определенной концентрации. Она не должна превышать ПДК 0,05 – 0,1 мас. %, чтобы иметь высокую активность в отношении выше приведенной группы тяжелых металлов. Процесс нанесения полученных образцов покрытий на рыбу составляет две стадии. На первой стадии формируется пленка из альгината натрия. Далее наносят раствор хитозана с выбранными хелатами. Оба процесса осуществляют при температуре растворов полимеров и поверхности рыбы не выше  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ .

В настоящее время необходимо создание новых композиционных составов сорбентов, обладающих высокой сорбционной ёмкостью, высокими микробиологическими характеристиками, а также наименьшей токсичностью. В представленной работе были приведены возможные варианты композиционного состава биоразлагаемых пленок сорбентов на основе хитозана и альгината натрия, рассмотрены методы получения и нанесения полученных образцов на рыбу. Также большую проблему представляют резко возросшая часть населения страдающих нарушением углеводного обмена, которым требуется дополнительный вид обработки при потреблении рыбной продукции подобной категории, для уменьшения риска токсического отравления. Результаты исследований о биоразлагаемых пищевых пленках позволили выбрать 7 композиций потенциально биоразлагаемых полимерных покрытий способствующих сорбции тяжелых металлов с поверхности рыбы, которые будут служить объектами для дальнейших исследований.

## Литература

1. Смятская Ю.А., Политаева Н.А., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Композиционные сорбционные материалы для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // Вестник технологического университета. – 2018. – Т.21. – №2. – С. 215–219.
2. Наумова А.В., Бахромов А.Б., Хритonenко М.В., Попов М.Я. Технология получения альгинат-хитозановых биоразлагаемых покрытий для увеличения сроков рыбы и рыбных продуктов//Chronos Journal. – 2017. – №9. – С. 100–104.
3. Наумова А.В, Иванов Н.Е, Малашенко А.А, Куприна Е.Э., Яккола А.Н, Мануйлов А.Н Использование полисахаридов с антимикробными свойствами в качестве пленок для защиты пищевых продуктов // Альманах молодых ученых Университета ИТМО. – 2018. – С. 281–284.
4. Кудрякова В.А., Кузнецова Л.С., Нагула М.Н. и др. Съедобная упаковка: состояние и перспективы // Упаковка и логистика. – 2010. – №6. – С. 24–25.



УДК 504.062; 678; 67.08; 577.11; 641.54

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ

*Николаев Е.М.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: nikolaev\_evgeniy\_97@mail.ru, nrkh25@hotmail.com*

---

Статья посвящена изучению и анализу актуальных вопросов, связанных с технологией получения биоразлагаемой одноразовой посуды. Рассматриваются вопросы обращения с пластиковыми и органическими отходами, а также вопросы сырья для получения биоразлагаемой одноразовой посуды, согласно принципам безотходного производства и экономики замкнутого цикла.

**Ключевые слова:** биоразлагаемая посуда, биополимер, сырье, безотходное производство, экономика замкнутого цикла.

---

В сложившейся на сегодняшний день ситуации на рынке сырья, наблюдается смещение внимания в сторону экономики замкнутого цикла, в которой необходимо пересмотреть модели управления энергией, ресурсами, производством и потреблением в связи с ростом населения развитых стран, чрезмерным потреблением пластмасс и их негативным воздействием на окружающую среду.

В условиях глобального кризиса, вызванного чрезмерным и необходимым устойчивым использованием синтетического полимерного сырья, происходит переоценка производства товаров из-за текущего состояния окружающей среды. Общество начинает уделять больше внимания привычным вещам, в том числе одноразовой посуде и замене её на биоразлагаемую, производство которой позволяло бы использовать меньше сырья и энергии, продлевая свой жизненный цикл.

Исходя из необходимости полагаться на стабильное сырье, меньше зависеть от ископаемых ресурсов и сокращать выбросы углекислого газа, биоматериалы и биопластики попали в центр внимания в качестве альтернативы обычным пластмассам из нефтепродуктов.

В ответ на экологические проблемы, вызванные загрязнением отходами пластмасс мирового океана, ведутся исследования и разработки новых биокomпозитов.

Пластмассовые изделия на основе биополимеров обладают двумя основными преимуществами: они экономят ископаемые ресурсы, используя возобновляемую биомассу, и обеспечивают крайне необходимый потенциал нейтрализации выбросов углерода. Кроме того, биопластики поддаются биологическому разложению [1].

В сложившейся ситуации стало известно, что к 2024 году Правительство России введет окончательный запрет на производство товаров из пластика, что дополнительно стимулирует производство биоразлагаемых материалов и изделий из них [2].

Целью исследований является анализ актуальных вопросов технологии получения биоразлагаемой одноразовой посуды. Достижение данной цели позволит сформулировать точку зрения на выбранную тему и наметить направление дальнейшего исследования, а также аккумулировать необходимую информацию для предстоящей экспериментальной работы.

Для достижения цели была сформулирована задача – анализ возможных источников сырья для получения биоразлагаемой одноразовой посуды.

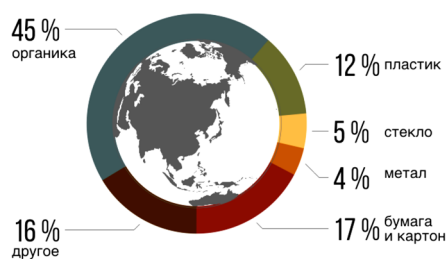


Рис. 1. Состав Мировых отходов [3]

Выбор данной цели был продиктован тревожной текущей Мировой ситуацией с отходами. Почти половина отходов на планете, что отображено на рисунке 1, являются органическими, а значит, потенциально биоразлагаемыми. Согласно концепции экономики замкнутого цикла, необходимо максимально использовать ресурсы, исключать отходы и негативное воздействие на окружающую среду, поэтому рассматриваются органические отходы в качестве

потенциального сырья для производства биоразлагаемой посуды, особенно учитывая тот факт, что большая часть пластиковых отходов образуется в густонаселенных и развитых или развивающихся регионах, а значит есть потенциальный спрос и на биоразлагаемые материалы.

В действительности, практика обращения с отходами, например, в Европе, что отображено на рисунке 2, демонстрирует практически двухкратное превышение доли пластика в ТКО по сравнению с Россией – 11% в Европе, против 5 – 7% в России, что представлено на рисунке 3; при этом доля перерабатываемого пластика практически в 3 раза выше – 31,1 и 7 – 12% соответственно.

При более тщательной проработке проблемы борьбы с отходами в контексте концепций устойчивого развития и циркулярной экономики 41% отходов пластика в Европе идёт на сжигание для получения тепловой и/или электроэнергии, в то же время в России использование энергетического потенциала отходов пластмассы практически не осуществляется – всего 2%.

На захоронение в Европе идёт 27% пластика, в то время как в России 75 – 80%.

Правительство России поставило цель к 2025 году довести долю перерабатываемого пластика до 36%, в то время как в Европе к этому времени планируют перерабатывать 50% использованного пластика.

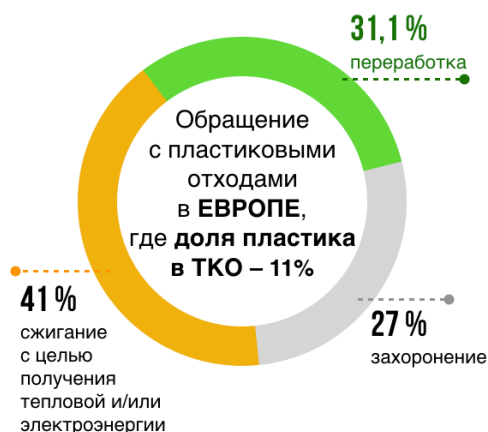


Рис. 2. Практика обращения с пластиковыми отходами в Европе

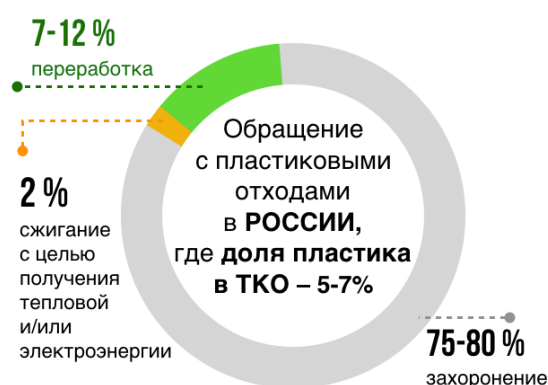


Рис. 3. Практика обращения с пластиковыми отходами в России

Очевидно, что европейские показатели по переработке и полезному использованию отходов в разы превышают российские, по причине недостаточно развитой культуры сбора и переработки не только пластика, но и отходов в целом, поскольку в Европе текущая система развивается более 20 лет.

Развивающиеся технологии, вовлеченность в текущую повестку и цели, поставленные нашим государством, призваны сократить существующий разрыв, опираясь, в первую очередь, на технологии рециклинга. Только через развитие осознанного отношения к вопросу разумного обращения с отходами мы достигнем европейского уровня и значимых результатов [4].

В результате исследования в ходе анализа литературных данных была составлена таблица потенциальных источников сырья для получения биоразлагаемого материала для производства одноразовой посуды, представленная на рисунке 4.

В текущих исследованиях фокус был сконцентрирован на полностью биоразлагаемых биополимерах, самыми доступными, подходящими по своим свойствам и менее задействованными в других производственных процессах, из которых являются крахмал и целлюлоза, а также рассматривается хитин и хитозан.

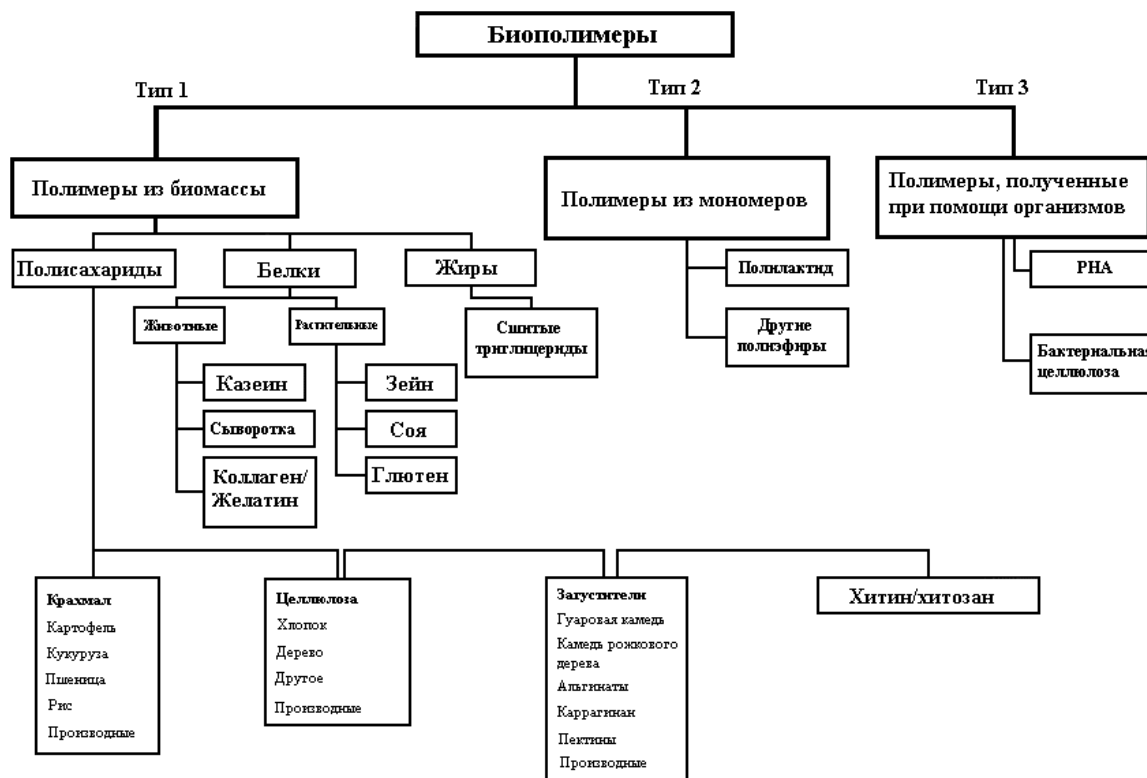


Рис. 4. Классификация биоразлагаемых полимеров

Согласно проведенному анализу возможных источников сырья для дальнейшего выбора и приготовления смеси для производства биоразлагаемой одноразовой посуды, биополимеры на основе крахмала и целлюлозы, а также их композитов являются оптимальным выбором, учитывая текущую мировую повестку устойчивого развития и циркулярной экономики, состояния окружающей среды, мировой кризис нефтепродуктов и рост использования одноразовой посуды на фоне глобального перенаселения.

## Литература

1. Ma X.F., Yu J.G., Wang N. Fly ash-reinforced thermoplastic starch composites // Carbohydrate polymers. – 2007. – Т.67. – №1. – С. 32–39.
2. ТАСС. Окончательный запрет на производство товаров из пластика планируют ввести в 2024 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/12283125/> (дата обращения: 23.02.2022).
3. Обзор Всемирного банка по отходам «What a waste 2.0 – A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2020». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317/> (дата обращения: 23.02.2022).
4. Инфографика СИБУР «Мифы и заблуждения о пластике». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sibur.ru/upload/iblock/40b/40b63768158dd8511772c5c999a572ea.pdf/> (дата обращения: 23.02.2022).

УДК 664.66

## СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ *KLUYVEROMYCES MARXIANUS* И *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В ХЛЕБОПЕЧЕНИИ

Новиченко А.А.<sup>1</sup> (студент)Научный руководитель – канд. техн. наук Иванова В.А.<sup>1</sup><sup>1</sup> Университет ИТМО

e-mail: 265274@niuitmo.ru

В работе рассмотрено применение дрожжевой культуры *Kluyveromyces marxianus* совместно с *Saccharomyces cerevisiae* в производстве хлеба с целью уменьшения содержания фруктанов – полимеров фруктозы и глюкозы, входящих в категорию ферментируемых олиго-, ди-, моносахаридов и многоатомных спиртов (FODMAP) и противопоказанных людям с некоторыми кишечными заболеваниями, такими, как синдром раздражённого кишечника. Показано, что применение *Kluyveromyces marxianus* действительно позволяет значительно снизить содержание фруктанов, сделав хлеб безопасным для соответствующей группы потребителей.

**Ключевые слова:** *Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomyces cerevisiae*, синдром раздражённого кишечника, профилактика, фруктаны, FODMAP, инулин, хлеб.

Синдром раздражённого кишечника (СРК) – одно из наиболее распространённых заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), встречающееся, по разным оценкам, у 17 – 22% населения России [1]. При этом порядка 70% людей, соответствующих критериям СРК, никогда не обращаются за медицинской помощью, несмотря на возникающий дискомфорт, что обуславливает достаточно низкую осведомлённость населения о данном заболевании.

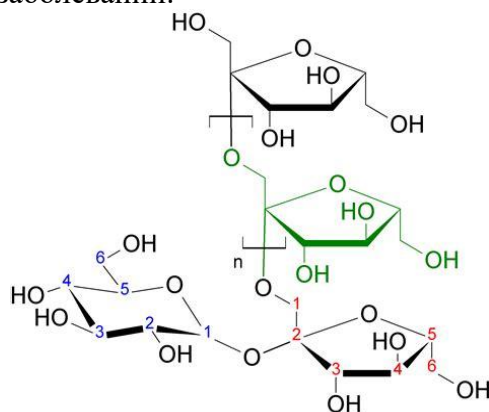


Рис. 1. Структурная формула инулина

К продуктам, противопоказанным пациентам с СРК, относятся в том числе пшеничный и ржаной хлеб. Причина этого – наличие в составе этих продуктов фруктанов – полимеров, состоящих из одного остатка глюкозы и нескольких остатков фруктозы. Простейшим примером фруктана является широко известный инулин, структурная формула которого представлена на рисунке 1. Фруктаны способны оказывать положительное влияние на здоровье кишечника у здоровых людей, выступая в роли пищевых волокон и нормализуя его работу [2], однако, у людей, страдающих СРК, они способны вызывать болезненные симптомы, включающие резкие боли в животе, вздутие и тошноту [3].

Примечательно, что многие пациенты с не диагностированным ранее СРК избегают потребления хлеба, потому что считают себя чувствительными к глютену, однако, в действительности ощущаемый такими людьми дискомфорт в области ЖКТ объясняется именно наличием в этом продукте большого количества фруктанов [4].

В связи с этим возникает необходимость разработки хлебобулочных изделий с пониженным содержанием фруктанов, которые могли бы стать более здоровой и безопасной альтернативой для людей с подобными заболеваниями.

Существующие подходы к решению этой задачи основаны, главным образом, на увеличении продолжительности брожения и применении заквасок – при этом инвертаза, присутствующая в *Saccharomyces cerevisiae* и заквасочных *Kazachstania humilis*, частично

гидролизует фруктаны, однако, общее содержание фруктанов в хлебе остаётся неудовлетворительно высоким [5].

Дальнейшее снижение содержания фруктанов требует нового подхода, поэтому в качестве альтернативы предлагается использование дрожжей вида *Kluyveromyces marxianus*, обладающих высокой инулиназной активностью [6]. Вырабатываемый этими дрожжами фермент инулиназа (2,1- $\beta$ -фруктан-фруктаногидролаза) эффективно расщепляет как сам инулин, так и другие фруктаны пшеницы, относящиеся к инулиновому типу [7], и, как результат, позволяет получить хлеб с низким содержанием фруктанов.

При этом дрожжи *Kluyveromyces marxianus* удовлетворяют всем необходимым требованиям для того, чтобы добавлять их непосредственно в замес теста: в частности, они считаются безопасными для применения и успешно используются в пищевой промышленности [8], способны выдерживать высокие температуры (до 47°C) [9] и повышенное осмотическое давление [10], а по вкусоароматическому профилю образуемых летучих соединений *Kluyveromyces marxianus* и *Saccharomyces cerevisiae* хорошо дополняют друг друга, создавая сбалансированную палитру вкусов и ароматов [11]. Единственным значимым недостатком является то, что дрожжи *Kluyveromyces marxianus* не сбраживают мальтозу [12], и, как следствие, оказываются не способны утилизировать большую часть сахаров тестового полуфабриката. Поэтому хлеб, производящийся на чистой культуре *Kluyveromyces marxianus*, оказывается очень низким, плотным, с плохо развитой структурой мякиша [11].

Для решения этой проблемы предлагается совместно использовать культуры *Kluyveromyces marxianus* и *Saccharomyces cerevisiae* в производстве хлеба, задействуя все полезные свойства упомянутых микробиот.

В данной работе были использованы дрожжи *Kluyveromyces marxianus*, штамм Y4556 из коллекции ВКПМ, также известный как CBS6014. Выбор штамма обусловлен его особенно высокой инулиназной активностью в пшеничном хлебе [13], что позволяет максимально эффективно задействовать его в производстве низкофруктанового хлеба.

Изучаемый штамм дрожжей получен из коллекции в виде лиофилизированного образца в герметичной ампуле. Для первичной активации сухие дрожжи вносили в жидкую среду YPD. Состав среды (из расчёта на 500 мл): 5 г дрожжевого экстракта, 10 г пептона, 10 г глюкозы. После разведения компонентов среда была доведена до кипения, после чего подвергнута стерилизации в автоклаве при 1,1 атм (121°C) в течение 20 минут. Засев производился в стерильных условиях в ламинарном боксе. По окончании засева колбы помещали в термостат при температуре 30°C для культивирования в течение 2 суток.

В результате культивирования на дне колб появился заметный осадок (рис. 2), свидетельствующий о приросте дрожжевой биомассы.

На следующем этапе дрожжи были пересеяны на агаризованную среду (засев производился штриховым методом в стерильных условиях, чашки Петри с культурой инкубировали 2 суток при температуре 30°C), а затем одиночные колонии пересевали в пробирки со скошенной агаризованной средой для дальнейшего использования.

На всех представленных выше этапах дрожжи проявляли высокую ферментативную активность, что может свидетельствовать о высокой усвояемости глюкозы.

На следующем этапе исследований чистую культуру исследуемых дрожжей пересевали в жидкую питательную среду на основе молочной сыворотки, обогащённую раствором сульфата аммония концентрацией 10 г/л [9]. Данная среда используется для культивирования дрожжей *Kluyveromyces marxianus* с целью их непосредственного применения в производстве хлеба. Отделение дрожжей от сыворотки производится центрифугированием с последующими промывками, полученная биомасса затем добавляется в замес.

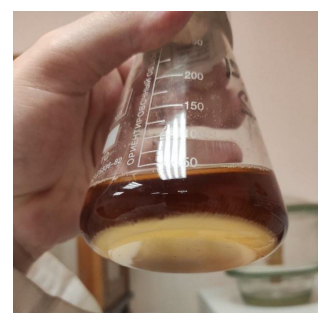


Рис. 2. Колба с культурой *Kluyveromyces marxianus* после 2 суток культивирования

Добавление *Kluveromyces marxianus* и *Saccharomyces cerevisiae* производится в соотношении 1:1, при этом задействуются по 1,5% дрожжей каждого вида к массе муки. Продолжительность замеса составляет 3 минуты на 1 скорости и 8 минут на 2 скорости тестомесильного агрегата (Sigma Silver), продолжительность брожения составляет 30 минут, расстойки – 1 час, выпечки – 20 минут. Брожение осуществляется при комнатной температуре, расстойка – при 34°C, выпечка – при 220°C.

Полученные образцы анализировали на содержание фруктанов как описано ниже.

Сначала отвешиваются образцы по 150 мг хлебного мякиша и добавляются в колбы с 15 мл 80% раствора этанола. Колбы устанавливаются на водяную баню при температуре 80°C на 30 минут, после чего содержимое центрифугируют, сливая супернатант. Осадок собирают, помещают в колбу с 30 мл воды, и также устанавливают на водяную баню с температурой 80°C на 30 минут. Содержимое колбы центрифугируют, надосадочную жидкость сливают с супернатантом спиртовой экстракции, осадок далее в работе не используют [14].

Пробу супернатанта фильтруют, разделяют на 2 части, с каждой отбирают 15 мл. К одной пробе добавляют 2,55 мл HCl, к другой – 2,55 мл дистиллированной воды. Пробу с добавлением соляной кислоты помещают на водяную баню при температуре 80°C на 20 минут. Параллельно готовят эталонные растворы фруктозы концентрацией от 10 до 30 мг/л с шагом в 1 мг/л. [15].

Для определения содержания фруктозы от каждой из проб отбирают по 5 мл, добавляют резорцин (0,01 г) и соляную кислоту (10 мл), после чего устанавливают на водяную баню при температуре 65°C на 2 минуты. Аналогично поступают с эталонами фруктозы. Фруктоза, образованная в ходе кислотного гидролиза фруктанов, вступает в реакцию с резорцином и соляной кислотой (реакция Селиванова), образуя раствор вишнево-красного цвета. При этом интенсивность окраски и оптическая плотность раствора зависят от содержания фруктозы, что позволяет сравнить полученные значения с эталонными и определить содержание фруктозы в образце до гидролиза (с добавлением дистиллированной воды) и после гидролиза (с добавлением соляной кислоты), определив концентрацию и затем массу высвобожденной при гидролизе фруктозы.

Затем от оставшихся 10 мл проб без гидролиза и с гидролизом отбирают ещё по 5 мл, и методом йодометрии определяют количество выделившейся при гидролизе глюкозы [16]. Титр тиосульфата натрия по глюкозе определяют контрольным измерением в образце с известной концентрацией (10 мг/л). Каждая молекула фруктанов даёт при гидролизе лишь одну молекулу глюкозы, что позволяет достаточно точно определить содержание исходных фруктанов, а совместно с содержанием высвободившейся фруктозы позволяет определить среднюю степень полимеризации молекул фруктанов.

Наконец, во избежание неточностей, связанных с примесями сахарозы в исходном растворе, и как результат совместного отщепления глюкозы и фруктозы, отбирают оставшиеся 5 мл от проб без гидролиза и после гидролиза, и сравнивают содержание сахарозы методом поляриметрии с инвертированием сахарозы [17]. Обработку данных вели по формулам 1–6, представленным ниже.

Массу фруктозы, глюкозы и сахарозы вычисляют из их концентрации по стандартной формуле:

$$m = c * V, \quad (1)$$

где  $c$  – концентрация,

$V$  – объём.

Концентрацию исходных фруктанов высчитывают по формуле, представленной в [18] и преобразованной под имеющиеся исходные данные:

$$F_{\text{фруктанов}} = \frac{m_{\text{воды}} * (m_{\text{фр.после}} - m_{\text{фр.до}} - m_{\text{сахарозы}}) * n}{1000 * m_{\text{образца}}}, \quad (2)$$

где  $n$  – коэффициент разбавления.

Аналогично считают концентрацию исходной глюкозы:

$$G_{\text{фруктанов}} = \frac{m_{\text{воды}} * (m_{\text{гл.после}} - m_{\text{гл.до}} - m_{\text{сахарозы}}) * n}{1000 * m_{\text{образца}}}. \quad (3)$$

По полученным данным можно высчитать степень полимеризации:

$$n = \frac{F_{\text{фруктанов}}}{G_{\text{фруктанов}}} + 1. \quad (4)$$

На основе этих данных можно получить коэффициент пересчёта:

$$k = \frac{180 + 162(n-1)}{180n}. \quad (5)$$

Имея все полученные значения, можно получить процентное содержание фруктанов в анализируемых образцах:

$$W_{\text{фруктанов}} = k * (G_{\text{фруктанов}} + F_{\text{фруктанов}}). \quad (6)$$

Полученные в результате измерений и расчётов количества фруктозы, глюкозы и сахарозы в образцах без гидролиза и с ним представлены в следующей таблице.

Таблица. Результат измерений и расчётов количества фруктозы глюкозы и сахарозы в образцах без гидролиза и с ним

| Вещество               | Содержание (S.cer., контроль),<br>мг/л |              | Содержание (K.m.+S.cer.), мг/л |              |
|------------------------|----------------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|
|                        | Без гидролиза                          | с гидролизом | Без гидролиза                  | С гидролизом |
| Фруктоза               | 4                                      | 24           | 18                             | 24           |
| Глюкоза                | 2,2                                    | 11,2         | 5,4                            | 10,3         |
| Сахароза               | –                                      | 5,2          | –                              | 4,5          |
| <b>Итого фруктанов</b> | <b>1,06%</b>                           |              | <b>0,11%</b>                   |              |

Результаты, представленные в таблице, демонстрируют, что при совместном использовании дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и *Kluyveromyces marxianus* содержание фруктанов уменьшилось в 9,6 раза. Полученные результаты относятся к предварительным, так как исследование требует проведения большего числа повторностей эксперимента для полноценной статистической обработки данных. Кроме того, продолжение исследований подразумевает подробное изучение показателей качества готовой продукции, сроков ее хранения и других не менее важных свойств.

Тем не менее, существующие результаты демонстрируют большой потенциал применения дрожжей *Kluyveromyces marxianus* в производстве функциональных хлебобулочных изделий, ориентированных на специфические группы потребителей с заболеваниями кишечника.

## Литература

1. Canavan C., West J., Card T. The epidemiology of irritable bowel syndrome // *Clinical Epidemiology*. – 2014. – №6(1). – С. 71–80.
2. Schaafsma G., Slavin J. L. Significance of Inulin Fructans in the Human Diet // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2015. – №14(1). – С. 37–47.
3. Shepherd S., Parker F.C. Dietary Triggers of Abdominal Symptoms in Patients With Irritable Bowel Syndrome: Randomized Placebo-Controlled Evidence // *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. – 2008. – №6(7). – С. 765–771.
4. Skodje G.I., Sama V.K. Fructan, Rather Than Gluten, Induces Symptoms in Patients With Self-Reported Non-Celiac Gluten Sensitivity // *Gastroenterology*. – 2018. – №2(3). – 154 с.
5. Lopenen J., Ganzle M.G. Use of Sourdough in Low FODMAP Baking // *Foods*. – 2018. – №7(7). – 96 с.
6. Neagu (Bonciu) C., Bahrim G. Inulinases - a versatile tool for biotechnology // *Innovative Romanian Food Biotechnology*. – 2011. – №9. – С. 1–11.

7. Kushi R.T., Monti R., Contiero J. Production, purification and characterization of an extracellular inulinase from *Kluyveromyces marxianus* var. *bulgaricus* // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. – 2000. – №25. – С. 63-69.
8. Youn H.Y., Kim D.H. A Combined In Vitro and In Vivo Assessment of the Safety of the Yeast Strains *Kluyveromyces marxianus* A4 and A5 Isolated from Korean Kefir // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. – 2022. – №1. – 1 с.
9. Urit T., Li M. et al. Growth of *Kluyveromyces marxianus* and formation of ethyl acetate depending on temperature // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2013. – №97. – С. 10359–10371.
10. Saini P., Beniwal A, Vij S. Physiological response of *Kluyveromyces marxianus* during oxidative and osmotic stress // *Process Biochemistry*. – 2017. – №56. – С. 21–29.
11. Struyf N., Laurent J. The Potential of *Kluyveromyces marxianus* to Produce Low-FODMAP Straight-Dough and Sourdough Bread: a Pilot-Scale Study // *Food and Bioprocess Technology*. – 2021. – №14. – С. 1920–1935.
12. Caballero R., Olguin P. Evaluation of *Kluyveromyces marxianus* as baker's yeast // *Food Research International*. – 1995. – №28(1). – С. 37–41.
13. Struyf N., Vandewiele H. *Kluyveromyces marxianus* yeast enables the production of low FODMAP whole wheat breads // *Food Microbiology*. – 2018. – №76. – С. 135–145.
14. Verspreet J., Dornez E. Purification of wheat grain fructans from wheat bran // *Journal of Cereal Science*. – 2015. – №65. – С. 57–59.
15. Schreiner G.E. Determination of Inulin by Means of Resorcinol // *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. – 1950. – №74(1). – С. 117–120.
16. Dykins F.A., Englis D.T. Determination of Glucose in Presence of Fructose and Glycine by Iodometric Method // *Industrial and Engineering Chemistry*. – 1931. – 3(1). – С. 21–23.
17. Архипович Н.А., Чернякова Т.Я. Определение содержания сахарозы, глюкозы и фруктозы при их совместном присутствии в растворе // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 1990. – №4. – С. 82–83.
18. Huynh B.L., Palmer L. Genotypic variation in wheat grain fructan content revealed by a simplified HPLC method // *Journal of Cereal Science*. – 2008. – №9. – 48 с.



УДК 663.55

## ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ И СТЕПЕНИ ДЕФРОСТАЦИИ ЯГОД ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ НА ВЫХОД СОКА

*Нечитайло А.В.<sup>1</sup> (студент), Пасечный Д.С.<sup>1</sup> (студент)*

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

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: pase4niy.dima@yandex.ru, barakova@ifmo.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».*

---

Было исследовано влияние пектолитических ферментов и степени разморозки замороженных ягод на выход сока из ягод черной смородины. Обосновано применение пектолитических ферментных препаратов при извлечении сока из плодово-ягодного сырья. Приведены результаты измерений выхода сока и процентной концентрации растворимых сухих веществ. Проанализировано влияние различных доз вносимого ферментного препарата на выход сока.

**Ключевые слова:** черная смородина, ферментный препарат, «Fructozym color», пектины, пектиновые вещества, выход сока, дефростированная ягода.

---

Ягоды черной смородины, богатые биологически активными соединениями, являются сырьем для производства соков, пользующихся спросом у потребителей [1]. При извлечении сока из ягод важным показателем является его выход. На этот показатель значительное влияние оказывают пектиновые вещества, обладающие геле- и студнеобразующей способностью. Пектиновые вещества препятствуют выходу сока. Ягоды черной смородины содержат большое количество высокомолекулярных пектиновых веществ, снижающих выход сока. Согласно исследованиям [2], в ягодах черной смородины содержание протопектинов составляет 63,3% от общего числа пектиновых веществ. Помимо протопектина и пектина к группе пектиновых веществ относят также пектовую кислоту, пектаты, пектиновую кислоту, пектинаты [2, 3].

Одним из способов снижения содержания высокомолекулярных соединений является применение пектолитических ферментных препаратов, действие которых основано на разрушении длинных молекул пектиновых веществ. По химической природе пектины представляют собой кислые полисахариды, содержащиеся в стенке растительной клетки. Вследствии ферментативной обработки происходит разрушение высокомолекулярных пектинов и, как следствие, размягчение растительных клеток, повышение клеточной проницаемости и увеличение выхода сока [4, 5].

Дозы внесения ферментных препаратов зависят от активности входящих в их состав энзимов и вида обрабатываемого сырья. Эффективность действия ферментов определяется также температурой, длительностью обработки, рН среды [5].

Черная смородина – сезонное сырье. Надежным способом консервирования, обеспечивающим хранение скоропортящегося сырья в течение всего года и непрерывную работу предприятий, является замораживание. Замораживание препятствует окислительно-восстановительным реакциям, снижает активность свободной воды в продуктах, ввиду чего повышается эффективность сохранения органолептических свойств и химического состава, обуславливающего пищевую ценность [6].

Согласно [7], преобразование растворимого пектина в нерастворимый (протопектин) увеличивает желеобразующую способность. В процессе замораживания количество протопектина уменьшается [8]. При переработке замороженного сырья необходимо понимать, как влияет степень дефростации (разморозки) ягод на выход сока.

Целью настоящего исследования является изучение влияния степени дефростации и ферментативной обработки ягод черной смородины на выход сока.

Для проведения эксперимента был выбран ферментный препарат пектолитического действия «Fructozym color» (Erbsloh Geissenheim AG, Germany). Механизм действия данного фермента основан на разрушении пектинов, ввиду чего обеспечивается снижение вязкости мезги.

В качестве объекта исследования была использована замороженная черная смородина торговой марки «Polvit». После извлечения из морозильной камеры замороженная ягода ( $t_{\text{ягоды}} = -10^{\circ}\text{C}$ ) измельчалась в течение 10 минут до размера частиц 5 – 6 мм, после чего размораживалась несколькими способами:

Первый способ: измельченная ягода была полностью разморожена при комнатной температуре и толщине слоя 10 мм. Температура размороженной ягоды составила  $23^{\circ}\text{C}$ .

Второй способ: измельченная ягода ( $t_{\text{ягоды}} = -2^{\circ}\text{C}$ ) размораживалась при комнатной температуре и толщине слоя 10 мм в течение 10 минут. По окончании десятиминутной выдержки температура ягод составила  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Третий способ: выдержка измельченной ягоды при комнатной температуре не была проведена ( $t_{\text{ягоды}} = -2^{\circ}\text{C}$ ).

Далее в каждом способе исследуемое сырье было разделено на четыре порции, в три из которых был внесен ферментный препарат «Fructozym color» в количестве от 0,01 до 0,05% от массы порций. Одна порция не содержала фермента и служила контролем. Далее образцы были помещены на водяную баню и выдерживались при температуре  $50^{\circ}\text{C}$  в течение 60 минут. Изменение температуры ягоды во время термообработки на водяной бане отражены на рисунках 1–3. По окончании термообработки из каждой порции производился отжим сока. В полученном соке было измерено содержание сухих веществ. Результаты представлены в виде таблицы.

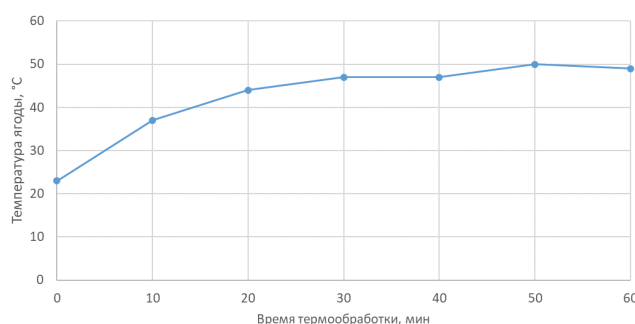


Рис. 1. Изменение температуры измельченной ягоды при ее ферментативной обработке после размораживания при комнатной температуре

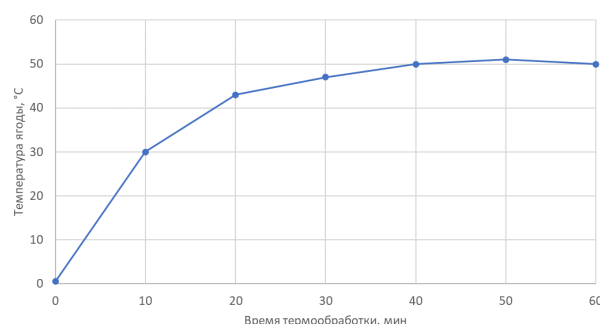


Рис. 2. Изменение температуры измельченной ягоды при ее ферментативной термообработке после выдерживания при комнатной температуре в течение 10 минут

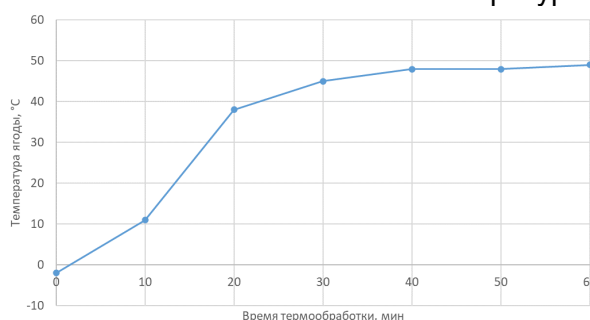


Рис. 3. Изменение температуры измельченной ягоды при ее ферментативной обработке без предварительной выдержки при комнатной температуре

Из графиков, представленных на рисунках 1 – 3 следует, что при выдержке измельченной ягоды при температуре 50 °С скорость изменения температуры в ягодах в первые десять минут зависит от начальной температуры ягод. Изменение температуры ( $\Delta$ ) в первые десять минут для ягоды, размораживаемой первым способом, -  $\Delta = 14^{\circ}\text{C}$ , вторым способом -  $\Delta = 29,5^{\circ}\text{C}$ , третьим способом -  $\Delta = 13^{\circ}\text{C}$ . За следующие десять минут нагрева для ягод, размороженных первым способом, -  $\Delta = 7^{\circ}\text{C}$ , вторым способом -  $\Delta = 13^{\circ}\text{C}$ , третьим способом -  $\Delta = 27^{\circ}\text{C}$ . И уже после 20 минут выдержки ягоды на водяной бане при 50°С температуры ягод во всех трех образцах достигла значения, равного 40°С.

По окончании ферментативной обработки ягод, то есть через один час, из измельченной ягоды был выделен сок и было определено содержание сухих веществ в соке. Результаты представлены в таблице.

Таблица. Выход сока и содержание сухих веществ в соке, полученном при ферментативной обработке ягод после их размораживания при разных температурах

| Доза внесения ферментного препарата «Fructozym color» относительно массы сырья, % | Способ обработки ягод                                                                                    |                             |                                                                                                                               |                             |                                                                                                                            |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                                   | Первый способ – ферментативная обработка ягод при 50°С после их размораживания при комнатной температуре |                             | Второй способ – ферментативная обработка ягод при 50°С после размораживания ягод при комнатной температуре в течение 10 минут |                             | Третий способ – ферментативная обработка ягод при 50°С сразу после измельчения без выдержки ягод при комнатной температуре |                             |
|                                                                                   | Выход сока, %                                                                                            | Содержание сухих веществ, % | Выход сока, %                                                                                                                 | Содержание сухих веществ, % | Выход сока, %                                                                                                              | Содержание сухих веществ, % |
| 0 (Контроль)                                                                      | 31,1                                                                                                     | 17,4                        | 24,8                                                                                                                          | 17,5                        | 21,7                                                                                                                       | 16,8                        |
| 0,01                                                                              | 61,1                                                                                                     | 15,9                        | 54,9                                                                                                                          | 16,4                        | 52,0                                                                                                                       | 14,1                        |
| 0,03                                                                              | 68,5                                                                                                     | 15,1                        | 65,0                                                                                                                          | 16,5                        | 61,0                                                                                                                       | 14,5                        |
| 0,05                                                                              | 74,1                                                                                                     | 14,7                        | 71,0                                                                                                                          | 14,2                        | 63,0                                                                                                                       | 12,9                        |

Если сравнить выход сока в контрольном образце при первом, втором и третьем способе размораживания ягод, то видно, что если ягоду перед началом ферментативной обработки разморозить до температуры 23°С, то выход сока составит 31,1%, если до начала ферментативной обработки ягоду разморозить до 0,5°С, то выход сока снизится до 24,8% и если до начала ферментативной обработки ягоду разморозить до – 2°С, то выход сока снизится до 21,7%. Эта тенденция сохранится и при ферментативной обработке ягоды при дозе внесения ферментов в количестве 0,01 – 0,05%.

При всех способах размораживания ягод черной смородины увеличение дозы внесения ферментного препарата приводит к повышению выхода сока, но содержание сухих веществ снижается.

Из полученных результатов следует, что для получения большего выхода сока из ягоды черной смородины, ягоду необходимо предварительно разморозить до начала ферментативной обработки до комнатной температуры.

## Литература

1. Сазонов Ф.Ф., Никулин А.Ф. Сравнительная оценка качества ягод черной смородины и продуктов переработки // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – №4. – С. 32–35.
2. Тихонова О.А., Стрельцина С.А. Пектиновые вещества ягод черной смородины в условиях Северо-Запада России // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2017. – №. 144-1. – С. 1–16.
3. Ширко Т.С., Ярошевич И.В. Биохимия и качество плодов / под общ. ред. Л.А. Юрченко. – 1991. – С. 1–10.

4. Алексеенко Е.В., Быстрова Е.А. Мониторинг эффективности применения ферментных препаратов для обработки ягод брусники при получении сока // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – №3(65). – С. 177–181.
5. Панкина И.А., Белокурова Е.С. Интенсификация технологии получения сока из плодово-ягодного сырья с высоким содержанием пектина // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2017. – №1. – С. 36–39.
6. Мясищева Н.В., Артемова Е.Н. Изучение биологически активных веществ ягод черной смородины в процессе хранения // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – №3(30). – С. 36–39.
7. Перфилова О.В. и др. Технология переработки яблок на сок прямого отжима и пюре // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. – 2016. – №3(11). – С. 82–85.
8. Мясищева Н.В., Макаркина М.А. Изучение желирующих свойств пектинов ягод черной смородины в процессе низкотемпературного хранения. Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – №49. – С. 249–252.

УДК 504.064

## **ПРИМЕНЕНИЕ СЕНСОРНЫХ ДАТЧИКОВ LIBELLUM ДЛЯ МОНИТОРИНГА НЕГАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ**

*Походня Е.И.<sup>1</sup> (студент), Динкелакер Н.Ф.Й.<sup>1</sup> (студент), Аминов Н.С.О.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – Динкелакер Н.В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: elizaveta902@mail.ru, nfdinkelaker@itmo.ru, nvdinkelaker@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620148 «Развитие методологии экологического мониторинга на основе внедрения технологий Интернета вещей».*

---

Глобальное потепление, проявляющееся в летних температурных аномалиях, вызывает изменения физиологического состояния растений и их экологических функций в городской среде. Исследование этих вопросов проведено в период летней погодной аномалии в 2021 году в Санкт-Петербурге с применением методов спектрофотометрического определения содержания фотосинтетических пигментов листа, измерения интенсивности фотосинтеза с использованием CO<sub>2</sub>-анализатора на основе сенсорных датчиков и изучения поведения тяжелых металлов (ТМ) в системе почва растение методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Исследования были проведены для 6 видов деревьев и 4 видов травянистых растений в зеленых насаждениях в период климатической аномалии и после ее окончания (май-август). Показано, что угнетение физиологических функций проявляется в снижении уровня фотосинтеза и содержания фотосинтетических пигментов и в разной степени выражено у растений исследованных видов. Установлено нарушение барьерных функций растительности в отношении ряда ТМ, в том числе As, показаны видоспецифичность аккумулятивной функции растений в отношении ТМ в аномальную жару и разная способность к реабилитации данной функции после неё.

**Ключевые слова:** глобальное потепление, климатическая аномалия, аккумуляция тяжёлых металлов, фотосинтез, фотосинтетические пигменты листа, экология городов, сенсорные датчики.

---

Городские зелёные насаждения – это одни из самых чувствительных к климатическим изменениям компонентов урбанизированных экосистем, и им принадлежит ключевая роль в формировании здоровой городской среды [1].

Летний сезон 2021 года в Санкт-Петербурге отличался от предыдущих не только температурными рекордами (в июне и июле было зафиксировано превышение среднемесячной температуры на 5°C) и недостатком дождей, но и очень ранним началом жаркого периода по сравнению в аномально жарким летом 2010 года [2] Это означает, что в 2021 году городская растительность испытала стресс в начале сезона, во время цветения большинства видов, когда растения ещё не достигли своей максимальной устойчивости. Предыдущий аномально жаркий летний сезон (2010) начался примерно на месяц позже, чем в 2021 году. Экологические аспекты реакции городской растительности на стрессовые условия (высокую температуру) не изучались ранее в этом регионе.

Растения городских зеленых насаждений, как древесно-кустарниковые, так и травянистые (газон) выполняют важнейшие экологические функции в городских экосистемах, обеспечивая утилизацию углекислоты из воздуха, обогащение воздуха кислородом, выполняя барьерную функцию в отношении загрязнителей, неизбежно накапливающихся в почвах. Фотосинтез городских растений протекает при их произрастании на загрязненных почвах в условиях постоянного стресса для растений. Многими исследованиями показано негативное

влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на различные этапы фотосинтеза и структуру фотосинтетического аппарата [3] Устойчивость растений к таким неблагоприятным факторам различна у разных видов и культур, наиболее исследована она для сельскохозяйственных культур. Влияние комплекса неблагоприятных факторов проявляется сильнее, чем воздействие отдельных факторов, и может приводить к необратимым физиологическим изменениям и, как следствие, снижению экологических барьерных функций растительного покрова [4]. Несмотря на то, что исследования влияния негативных факторов (повышенной относительно нормы температуры воздуха, высокого содержания тяжелых металлов в почве) на эффективность усвоения углекислоты растениями и состояние пигментного аппарата листа, имеют давнюю историю исследований, изучение этих физиологических функций и барьерной функции зеленых насаждений в отношении ТМ в естественных условиях у городских растений Санкт-Петербурга при летних погодных аномалиях не проводилось.

Цель исследования – изучить влияние аномально жарких периодов на различные типы растительности и их экосистемные функции. Она была разделена на две задачи:

1. Изучить экологические функции городских растений в аспекте утилизации углекислого газа в период стресса и восстановление данной функции после нормализации температуры воздуха. Исследование проводилось в лабораториях Университета ИТМО в 2021 году.
2. Для изучения второй важной функции городской растительности – накопления загрязнителей (тяжелых металлов) – пробы были исследованы с применением рентгенофлуоресцентного анализа содержания загрязнителей в почвах и листьях.

Исследования были проведены в июне-августе 2021 года в Адмиралтейском и Петроградском районах Санкт-Петербурга.

В качестве объектов были рассмотрены 6 видов деревьев, 3 вида трав, 1 вид мха, представленные в различных условиях: улица, парк, пространство между домами.

Возраст исследованных деревьев составил 30 – 50 лет.

Для исследования физиологического состояния городской растительности было использовано два параметра:

1. Максимальная дневная интенсивность фотосинтеза.
2. Содержание тяжелых металлов и оксидов в листьях растений и почвах в местах произрастания (Sr, Pb, Zn, As, Ni, Cu, V, Cr, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>).

Исследования фотосинтеза проводились с использованием анализатора CO<sub>2</sub> на основе сенсорных датчиков (Libellium). Исследования фотосинтеза проводились с изучением суточных кривых фотосинтеза в период аномально высокой температуры воздуха и после нормализации температуры воздуха. Камера для измерений интенсивности фотосинтеза была оснащена датчиками температуры, влажности и концентрации углекислого газа. Устройство Libellium, а именно Libellium Plug&Sense Environment PRO представляет из себя набор компонентов: основную плату с микроконтроллером ATmega 1281, который участвует в управлении устройством; плату расширения для подключения датчиков для мониторинга, в нашем случае датчик углекислого газа, датчик температуры, влажности, давления; плату с модуль связи, в нашей конфигурации устройство оснащено модулем связи 4 G, который необходим для передачи данных в сеть Интернет. Устройство является мобильным, Libellium Plug&Sense Environment PRO имеет автономный источник питания LiPo, емкостью 6600 mA\*h. В качестве системы хранения данных используется модуль для подключения карт памяти формата SD, объемом 16 ГБ, такое количество памяти не ограничивает нас в количестве измерений. Для работы данного устройства было разработано программное обеспечение, которое бы удовлетворяло методам измерения, также для работы других систем, как для корректного хранения данных, передачи данных зафиксированных измерений и остальные функции.

Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях оценивалось с помощью метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии [5].

Первая часть исследования касалась фотосинтеза и утилизации углекислого газа городскими растениями в жаркий период и последующий за ним период стабилизации температуры воздуха в пределах климатической нормы. Было проведено исследование влияния аномально высоких температур на фотосинтетическую активность деревьев Санкт-Петербурга. Показано, что в жаркий период падает фотосинтетическая активность всех исследованных видов растений, а у некоторых видов фотосинтез в дневные часы наиболее жарких дней практически останавливается.

Так, в листьях дуба наблюдался переход к дыханию с выделением углекислого газа в жаркий период (рис. 1). Растения показали различные способности видов к утилизации  $\text{CO}_2$  в это время. После нормализации погодных условий они только частично восстановили фотосинтетическую активность.

Максимальная фотосинтетическая активность была у деревьев в парке, минимальная – на улице.

Изменения в утилизации диоксида углерода городской растительностью, вызванные экстремально жаркой и сухой погодой, привели к повышению концентрации  $\text{CO}_2$  в районах города. На рисунке 1 показано влияние аномально высоких температур на фотосинтетическую активность растительности Санкт-Петербурга летом 2021 года.

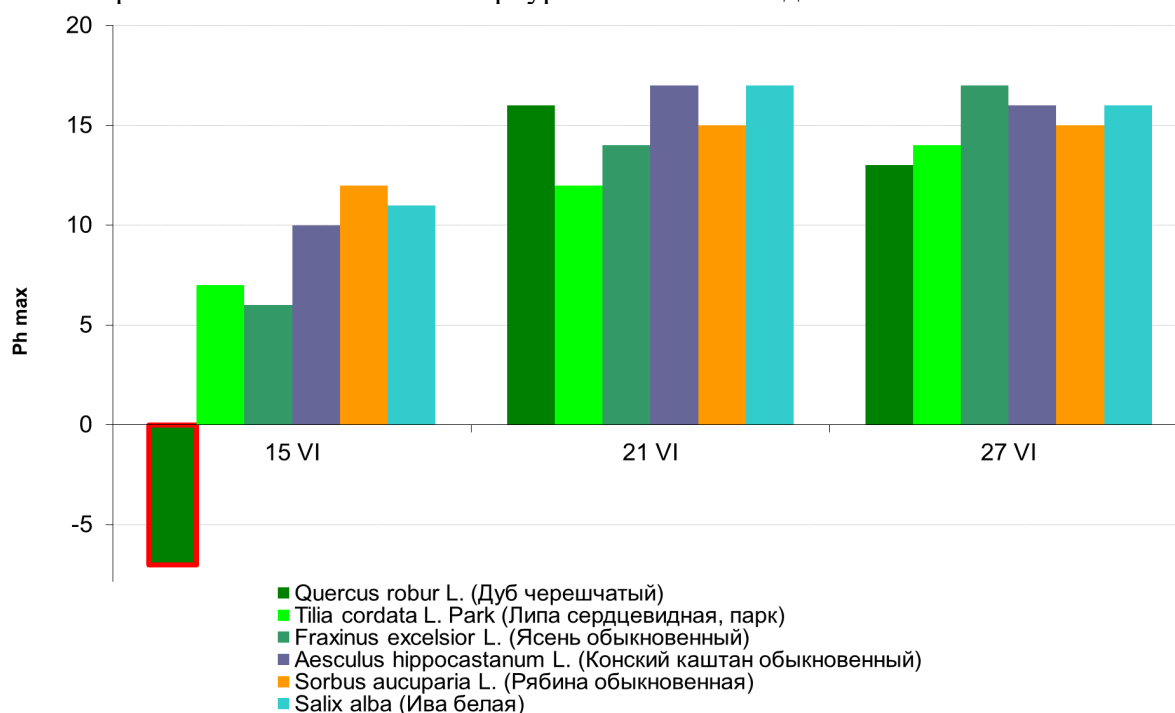


Рис. 1. Влияние аномально высоких температур на фотосинтетическую активность растительности Санкт-Петербурга летом 2021 года

Было проведено исследование влияния аномально высоких температур летом 2021 года на максимальную суточную фотосинтетическую активность деревьев Санкт-Петербурга. Установлено, что в жаркий период максимальная фотосинтетическая активность всех рассмотренных видов падает, а у некоторых интенсивность фотосинтеза снижается практически до нуля (липа мелколистная). В листьях дуба в аномально жаркий период при температуре воздуха более  $34^{\circ}\text{C}$  наблюдался переход к дыханию с выделением углекислого газа.

Исследованные древесные породы показали различные способности видов к ассимиляции  $\text{CO}_2$  в этот период аномально жаркой температуры. После нормализации погодных условий они только частично восстановили фотосинтетическую активность.

Максимальная фотосинтетическая активность была у деревьев в парковом массиве (Александровский парк), минимальная – в рядовых посадках на бульварах.

Изменения в утилизации диоксида углерода городской растительностью, вызванные экстремально жаркой и сухой погодой, могут способствовать повышению концентрации  $\text{CO}_2$  в рекреационных зонах (парки) и в жилых кварталах.

Исследование важнейшей экологической функции городской растительности и почв – биоаккумуляции загрязнений – включали исследования содержания тяжелых металлов в листьях древесных и травянистых растений и почв из их мест произрастания на содержание тяжелых металлов и оксидов. Эффективность барьерной функции растительности в отношении тяжелых металлов зависит от многих факторов, как то, вид, физиологическое состояние растений, уровень загрязненности почв и их геохимические особенности. Этот показатель изменяется в экстремальных погодных условиях, что было отмечено в проведенном исследовании. Степень и характер изменений видоспецифичны, более того, они барьерная функция в отношении различных тяжелых металлов, изменяется неодинаково у одного и того же вида растений (рис. 2–4).

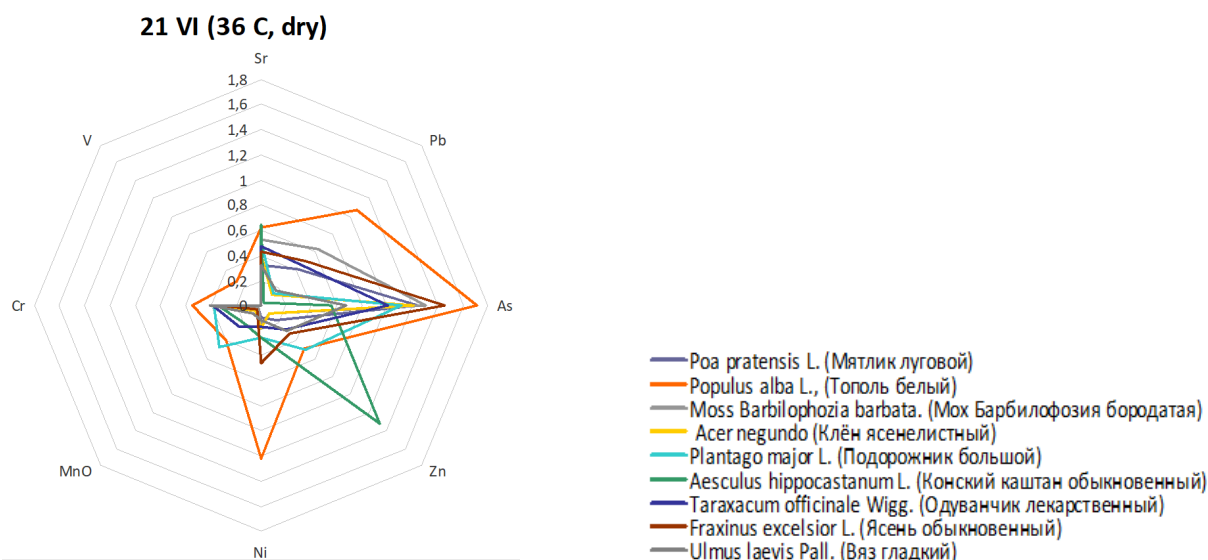


Рис. 2. Аккумуляция тяжёлых металлов в городской растительности на 21.06.2021, в жаркий сухой период (во время погодной аномалии)

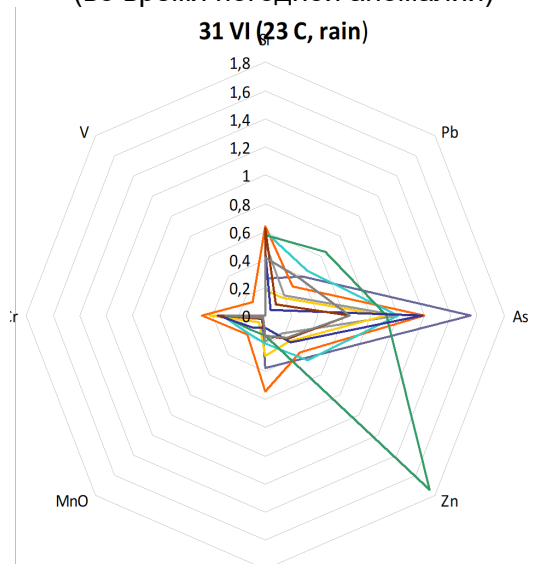


Рис. 3. Аккумуляция тяжёлых металлов в городской растительности на 31.06.2021, в тёплый дождливый период после периода аномально высокой температуры воздуха

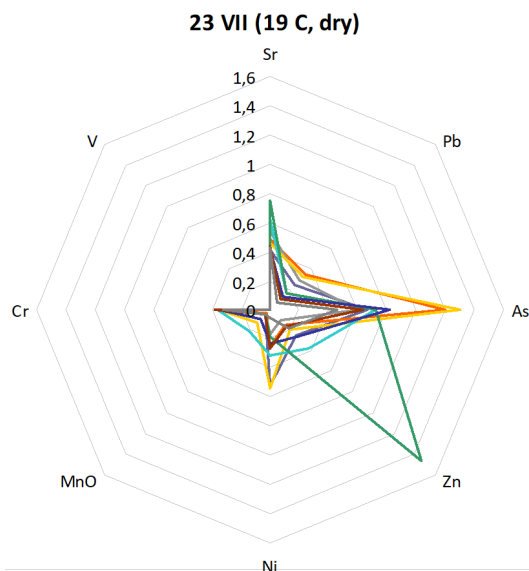


Рис. 4. Аккумуляция тяжёлых металлов в городской растительности на 23.07.2021, в холодный сухой период после окончания периода аномально высокой температуры воздуха

Анализ коэффициентов биологического перехода исследованных тяжелых металлов в системе почва-растение показал наибольшую уязвимость барьерной функции исследованных видов в отношении мышьяка. Содержание мышьяка в листьях особенно превышает его



содержание в почве, т.е. из-за условий стресса, вызванных погодными условиями, аномальными для данного региона и местных растений, происходит нарушение барьерных функций растений и накопление тяжёлых металлов.

Коэффициенты биологического перехода для других металлов (стронций, свинец, цинк, никель, хром, ванадий) меньше единицы, то есть их накопление претерпевает меньшие изменения при нарушении барьерных функций.

Наиболее резкое увеличение коэффициентов наблюдается у тополя (*Populus alba*) и каштана (*Aesculus hippocastanum*), что связано с их родными южными районами. В Санкт-Петербурге эти деревья слабее, поэтому у них более тяжелая реакция на стресс. Это приводит к снижению экологических функций, что было показано в первый раз.

В результате проведённого исследования было выявлено:

Длительные периоды жаркой и сухой погоды приводят к физиологическому стрессу у видов городской растительности. В результате их основная экологическая функция – утилизация CO<sub>2</sub> и блокирование загрязнения тяжёлыми металлами в почве (предотвращение циркуляции в пищевых цепочках) – меняются. Это приводит к повышению уровня загрязнения городской экосистемы.

В жаркие периоды, которые могут участиться с изменением климата, необходимо внедрить практику мониторинга растительности в направлениях фотосинтеза и накопления загрязнений.

## Литература

1. О температурных рекордах 2021 года // Гидрометцентр Российской Федерации: официальный сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/novosti/18421-o-temperaturnykh-rekordakh-2021-goda> (дата обращения: 10.02.2022).
2. Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Влияние биоклиматической цикличности на древесные насаждения в Санкт-Петербурге // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 11, Естеств. науки. – 2014. – №2(8). – С. 18–26.
3. Lichtenthaler N.K. Chlorophylls and carotenoids - pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in enzymology / Eds. S.P. Colowick, N.O. Kaplan. - San Diego: Acad. Press. – 1987. – Vol.148. – Pp. 350–382.
4. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / Новосибирск: Наука. – 1991. – 151 с.
5. Методика выполнения измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://center-souz.ru/pochva/74-2009-05-04-09-18-08> - СПб: ООО «НПО Спектрон». – 2002. – 46 с.

УДК 606

## ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА МИЦЕЛИЯ ГРИБА *PLEUROTUS OSTREATUS* ПУТЕМ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

**Рахманова К.Р.<sup>1</sup>** (студент)

**Научные руководители – канд. техн. наук Молодкина Н.Р.<sup>1</sup>,**

**канд. техн. наук Орипова А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: [rakhmanova.karina98@gmail.com](mailto:rakhmanova.karina98@gmail.com)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

---

В работе было проведено и исследовано глубинное культивирование мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* при разных условиях ведения процесса. Осуществлены 2 типа аэрации и перемешивания: с непрерывным барботированием и перемешиванием магнитной мешалкой, а также на лабораторных качалках, обеспечивающих равномерное вращение колб. Изучено влияния разных параметров культивирования на рост и морфологические признаки мицелия грибов *Pleurotus ostreatus*.

**Ключевые слова:** глубинное культивирование, *Pleurotus ostreatus*, мицелий, получение чистой культуры, морфология мицелия.

---

Мицелий – быстро растущая вегетативная часть гриба, состоящая из тонких разветвлённых нитей. Он способен развиваться в виде радиально прорастающего волокна на субстрате при поверхностном культивировании, а также, прорастая в толще субстрата и проявляя различные морфологические свойства при глубинном культивировании. Возможности использования мицелия грибов *Pleurotus ostreatus* велики, за счет широкого спектра достоинств, а именно:

- мицелий представляет собой безопасный, устойчивый, органический материал. Токсикологические исследования грибов показывают их полную безопасность [1];

- мицелий грибов признан как самый крупный живой организм на земле, способный развиваться за счет симбиоза с компонентами субстрата. Благодаря способности мицелия развиваться пространственно, его можно культивировать в самых нестандартных формах;

- исключительная способность грибов к переработке органических отходов делает выращивание грибов единственным экономически рентабельным биотехнологическим процессом переработки отходов [2]. Следовательно, культивирование мицелия гриба является решением такой задачи как снижение количества отходов различных производств за счет возможности повторного использования отходов и вторичных продуктов сельского хозяйства;

- грибковый мицелий способен разлагать лигноцеллюлозные материалы и образовывать сложные сети, которые обладают различными свойствами, такими как высокая механическая прочность, изоляция, невоспламеняемость, гидрофобность [3].

Учитывая вышеуказанные свойства мицелия, целью исследования являлось изучение роста мицелия гриба штамма *Pleurotus ostreatus* при разных условиях проведения глубинного культивирования. Поставлены следующие задачи: выведение чистой культуры мицелия гриба *Pleurotus ostreatus*, проведение разных технологий глубинного культивирования, изучение влияния разных параметров культивирования на рост и морфологические признаки мицелия.

На начальном этапе осуществлено выведение чистой культуры мицелия грибов штамма *Pleurotus ostreatus* в лабораторных условиях. Применен классический способ получения

---

мицелия, т. е. развитие мицелия из плодового тела гриба *Pleurotus ostreatus*, который был приобретен в продовольственном магазине. Маточная культура получена в чашках Петри на плотной питательной среде – картофельно-декстрозном агаре (PDA), состоящего из 20% картофельного отвара, 2% декстрозы, 2% агара. Подготовка питательной среды включала стерилизацию в автоклаве при температуре 121°C в течение 15 минут и выдерживание в термостате при 37°C в течение 2 суток для подтверждения стерильности питательной среды. Культивирование мицелия проводилось в термостате при  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  в течение 14 суток. Следующий этап состоял из подготовки питательной среды, инокуляции посевного материала и последующего глубинного культивирования мицелия грибов *Pleurotus ostreatus*. В качестве субстратов для глубинного культивирования с барботированием и перемешиванием подобрана питательная среда №1, для глубинного культивирования с равномерным вращением колб, три питательные среды, компоненты которых представлены в таблице.

Таблица. Состав питательных сред

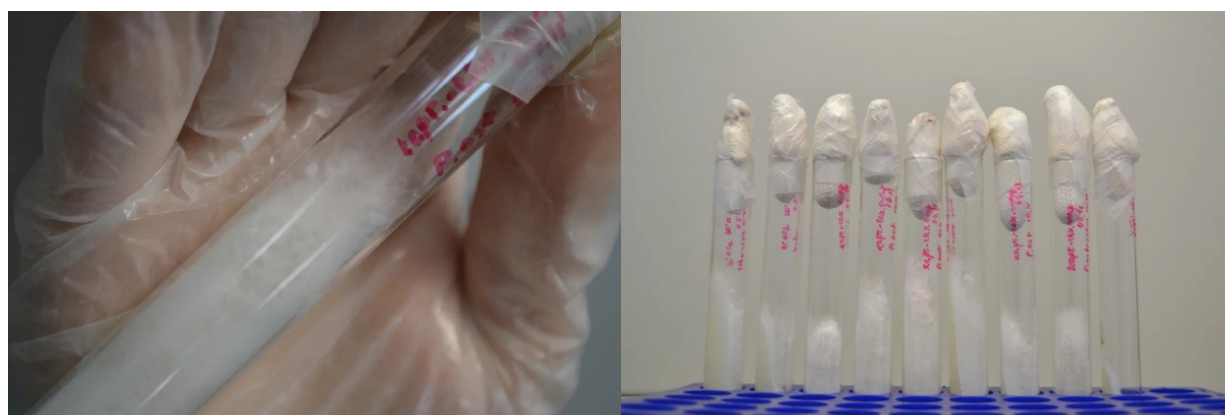
| Питательная среда №1     |                    |                      |                       |
|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Компоненты               | Отвар картофельный | Декстроза            | Вода дистиллированная |
| Количество, г/л          | 200 г              | 20 г                 | 1 л                   |
| Питательная среда №2 [4] |                    |                      |                       |
| Компоненты               | Экстракт почвенный | Питательная среда №1 | Вода дистиллированная |
| Количество, мл           | 600                | 350                  | 50                    |
| Питательная среда №3 [5] |                    |                      |                       |
| Компоненты               | Отвар зерна овса   | Отвар коры дуба      | Вода дистиллированная |
| Количество, мл           | 600                | 200                  | 200                   |

Полученную чистую культуру мицелия инокулировали в колбы Эрленмейера и банки Simax с предварительно простерилизованной питательной средой (121°C, 1 атм., 15 мин). Глубинное культивирование мицелия с непрерывным барботированием и перемешиванием магнитной мешалкой осуществлялось в термостате при  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Рис. 1. Чистая культура мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* в чашке Петри

Другие условия насыщения кислородом и поддержания температуры были сформированы для глубинного культивирования за счет использования лабораторных качалок, где происходило равномерное вращение колб с 180 об/мин и нагревание поверхности оборудования до  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ . Глубинное культивирование в обоих случаях проводилось 7 суток.

В лабораторных условиях была получена чистая культура мицелия грибов *Pleurotus ostreatus*. Морфологические особенности полученного инокулята: воздушный как вата, однородный плотный мицелий белого цвета, структура мицелия волокнистая, трудно отделяемая от питательной среды. Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2.

Рис. 2. Чистая культура мицелия грибов *Pleurotus ostreatus* в пробирках

Экспериментально показана возможность накопления биомассы мицелия грибов *Pleurotus ostreatus* посредством глубинного культивирования при разных условиях аэрации и перемешивания. Согласно наблюдению за морфологическими характеристиками, наиболее активный рост культуры приходится на 7 сутки. При культивировании мицелия с барботированием и перемешиванием магнитной мешалкой был получен рассеянный, разбитый по структуре мицелий. Данные результаты представлены на рисунке 3.

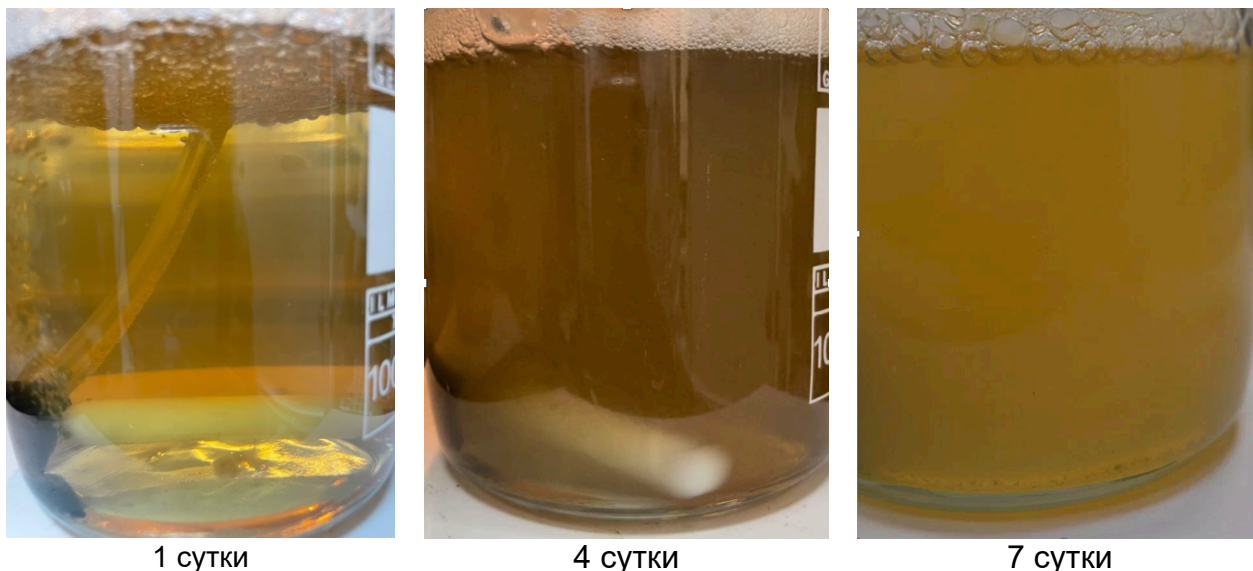


Рис. 3. Морфология мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* при глубинном культивировании с барботированием и перемешиванием магнитной мешалкой на питательной среде №1

При культивировании с равномерным вращением колб были сформированы плотные сферические формы мицелия, которые представляют собой шаровидные и эллипсоидные образования. Большая глобула представляет собой первичный инокулят, на котором в процессе культивирования осуществлялся нарост мицелия. Данные результаты представлены на рисунке 4.



Питательная среда №1

Питательная среда №2

Питательная среда №3

Рис. 4. Морфология мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* при глубинном культивировании с равномерным вращением колб

В ходе исследований роста мицелия грибов было проведено и изучено глубинное культивирование при разных условиях аэрации и перемешивания, также было установлено, что данная культура проявляет разные структурно-морфологические свойства в зависимости от условий аэрации и перемешивания глубинного культивирования.

Результаты исследования показывают перспективные возможности накопления биомассы мицелия грибов *Pleurotus ostreatus* путем ведения разных условий глубинного культивирования. При непрерывной аэрации с помощью барботирования и перемешивания магнитной мешалкой получен мицелий, который может использоваться в качестве посевного материала для выращивания грибов, употребляемых в пищу, и для производства биоразлагаемого материала, из которого может быть получена одноразовая посуда, упаковочный материал и биоблоки. Из мицелия, полученного при культивировании с

равномерным вращением, в перспективе можно выделять и исследовать различные биологически активные вещества, а также использовать их в качестве получения белковых пищевых добавок.

### Литература

1. Deepalakshmi K. et al. Toxicological assessment of *Pleurotus ostreatus* in Sprague Dawley rats // International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases. – 2014. – Т.4. – №3. – С. 139.
2. Jones M. et al. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review // Materials & Design. – 2020. – Т.187. – С. 108397.
3. Abhijith R., Ashok A., Rejeesh C.R. Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review // Materials today: proceedings. – 2018. – Т.5. – №1. – С. 2139–2145.
4. Способ приготовления питательной среды для выращивания чистой культуры мицелия вешенки устричной (*Pleurotus ostreatus*) [Текст]: пат. RU 2692636 С1 Россия / Майсямова Д.Р.: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Государственный аграрный университет Северного Зауралья" (ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья). – No.2017147120; заявл. 29.12.2017; опубл. 25.06.2019.
5. Откидач И.С., Иванова Т.В. Питательные среды для получения чистой культуры грибов рода *pleurotus* в культуре *in vitro* // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. – 2016. – С. 321–322.

УДК 62.5

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ В ПОКРАСОЧНОМ ЦЕХЕ

*Сатоев Р.К.<sup>1</sup> (студент)*

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: satoev.ramiz@mail.ru, holod25@yandex.ru*

---

В работе изложен подход к постановке задачи оптимального управления климатическими параметрами в покрасочном цеху. Высококачественная покраска изделий должна проходить в помещении с хорошей вентиляцией, с соблюдением требуемых температурных и влажностных режимов воздушной среды. С этой целью в работе произведена постановка задачи оптимального управления климатическими параметрами в цехе, предложены варианты критериев оптимизации. Предлагаемый подход к организации управления перспективен для создания и совершенствования автоматизированных систем управления, способствует повышению качества окраски различных изделий.

**Ключевые слова:** управление климатическими параметрами, критерии оптимизации, автоматизированная система.

---

Защита металла от коррозии является важнейшей проблемой современности. Одним из перспективных направлений ее решения является нанесение защитных покрытий и, в частности, окраска поверхностей. Прочность и долговечность нанесенного покрытия во многом определяются, помимо свойств самой краски, климатическими параметрами среды в рабочем пространстве и их однородностью [1, 2]. Поддержание климатических параметров на заданном уровне и с требуемой точностью осуществляется системой управления, эффективность функционирования которой зависит от правильности постановки задачи ее синтеза. Поэтому тема работы является актуальной.

В связи с большим количеством автотранспорта появляется необходимость в обслуживании и ремонте кузовных частей. Также повышаются требования к качеству окраски при возрастающих объемах производства. Внедрение системы управления климатическими параметрами позволяет решать стоящие задачи.

Пары лакокрасочных изделий являются взрывоопасными веществами, поэтому не допускается их застаивание в воздушных массах. Для этого в покрасочном цеху используется принудительная приточно-вытяжная вентиляция.

Существующие системы управления (СУ) климатическими параметрами применяются для поддержания параметров воздуха на заданных пользователем значениях, в основном, в заранее выбранных контрольных точках. Они состоят из программно-логического контроллера (ПЛК), датчиков влажности и температуры воздуха, датчика открывания двери. СУ опрашивает датчики системы и осуществляет регулирование параметров до заданных значений. При этом штатные технические средства автоматизации позволяют осуществлять регулирование указанных параметров с требуемой точностью.

Проблематика поддержания климатических параметров проявляется в следующем аспекте. Размеры цехов покраски зачастую весьма значительны и могут достигать десятков метров. Действие различных возмущений (перетоков наружного воздуха вследствие открывания и закрывания дверей, наличие сезонных и климатических факторов и др.) могут

приводить к значительному разбросу значений температур и влажности в объеме помещения относительно их значений в контрольных точках. Другими словами, возникает состояние неопределенности температурно-влажностного режима в рабочем объеме. Следствием этого является вариация качества окраски изделий, а также возможно появление брака. Исходя из этого обстоятельства, «классическую» формулировку задачи синтеза системы управления целесообразно дополнить требованием поддержания состояния неопределенности температурно-влажностного поля в допустимых пределах. Для этого изначально необходимо осуществить выбор модели для количественного описания состояний неопределенности.

Опыт решения подобных задач позволяет рекомендовать для этих целей модель, основанную на использовании методов теории энтропийных потенциалов (ТЭП) [3-5]. В данном, частном случае состояние неопределенности температурно-влажностного режима в рабочем объеме цеха будет описываться выражением:

$$L = c_1 \Delta_1 + c_2 \Delta_2 = c_1 K_{e1} \sigma_1 + c_2 K_{e2} \sigma_2. \quad (1)$$

В выражении (1) использованы следующие обозначения. Индексы 1 и 2 относятся к параметрам температуры и влажности, соответственно. Весовые коэффициенты –  $c$ , характеризуют «вес» или значимость каждого из параметров для конкретного типа покрытия и особенностей процесса окрашивания. На них налагаются следующие ограничения:

$$c_1 \geq 0; c_2 \geq 0; \sum c_1 + c_2 = 1. \quad (2)$$

$\Delta$  – величина энтропийного потенциала, количественно характеризующая состояние неопределенности параметра, чем она больше, тем больше разброс параметра и, наоборот. Эта величина «мультипликативно» выражается через характеристики рассеяния параметра:  $K_e$  – энтропийный коэффициент, характеризующий «дестабилизационные» свойства закона распределения параметра ( $1 \leq K_e \leq 2.07$ ) и  $\sigma$  – величину его среднего квадратического отклонения (СКО). Существующие наработки и методы ТЭП позволяют оперативно получать оценки этих характеристик на основании ограниченных результатов наблюдений. В производственных условиях для этих целей планируется установка соответствующих датчиков в различных частях рабочего объема помещения.

Теперь, при наличии модели (1), целевая функция оптимизации неопределенности «климатического» поля в рабочем объеме может быть сформулирована в виде условия минимизации функционала  $L$ , то есть:

$$L \rightarrow \min. \quad (3)$$

Возможно использование менее «жесткого» условия:

$$L \leq L(max), \quad (4)$$

где  $L(max)$  – предельно допустимый уровень состояния неопределенности климатического режима.

Для достижения выполнения условий (3) или (4) могут быть использованы различные каналы внесения управляющих воздействий: изменение циркуляций воздушных потоков с помощью изменения положений направляющих экранов и заслонок, изменение интенсивности и длительности вентилирования помещения др. [3, 5]. В конкретных производственных ситуациях условия (3) или (4) могут быть дополнены ограничениями на величины управляющих воздействий, обусловленными, например, ограничениями по скорости движения воздушных потоков, влияющей на пылеобразование и др.

Использование модели (1) также позволяет отобразить изменение состояния неопределенности в величину информации [4, 5]. В этом случае появляется возможность осуществлять управление состоянием неопределенности параметра на основе информационной модели.



Предложенные решения по организации синтеза СУ направлены на повышение эффективности работы таких систем и, в конечном счете, на повышение качества нанесения лакокрасочных покрытий.

### Литература

1. ГОСТ 9.401-91 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов.
2. Шестопалова Л.П. Материаловедение: лакокрасочные материалы и покрытия транспортных средств на их основе: учебно-методическое пособие / Л.П. Шестопалова. – М.: МАДИ. – 2018. – 92 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. Lazarev V.L. Representative information models for monitoring and control in the conditions of uncertainty // Proceedings of International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2015: 18, St. Petersburg, 19–21 мая 2015 года. – St. Petersburg. – 2015. – Pp. 54–57. DOI 10.1109/SCM.2015.7190408.
5. 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.



УДК 621.59

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЕРВУАРА ХРАНЕНИЯ СПГ

Середенко Е.С.<sup>1</sup> (аспирант)Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Баранов А.Ю.<sup>1</sup><sup>1</sup> Университет ИТМО

e-mail: seredenko\_alena@mail.ru

Одной из ключевых проблем, стоящих перед отраслью СПГ, является испарение СПГ при его хранении. В работе предложена теплоизолирующая конструкция резервуара для хранения СПГ объемом 200 000 м<sup>3</sup>, позволяющая сократить теплопритоки за счет использования эффективной тепловой изоляции толщиной 1,2 м. Методика расчета толщины изоляции обеспечивает заданный уровень потерь на испарение 0,025 об.% в день. Также, для минимизации теплопритоков предлагается использовать резервуар большего объема, что позволит уменьшить скорость парообразования примерно на 15% по сравнению с резервуарами меньшего объема.

**Ключевые слова:** СПГ, хранение, резервуары, конструкция, теплоизоляция, испарение.

На сегодняшний день порядка 40% глобальной торговли газом приходится на сжиженный природный газ (СПГ), а Россия является одним из его экспортеров.

Транспортировка СПГ с места его добычи до потребителя в основном осуществляется морским путем в танкерах-газовозах. Это предполагает строительство перевалочных баз, на которых СПГ будет бункероваться из танкеров ледового класса в танкеры обычного типа для того, чтобы снизить логистические затраты.

Газовые хабы должны обладать парком накопительных хранилищ, где СПГ хранится в резервуарах большого объема. В рамках проекта «Ямал СПГ» уже построено несколько хранилищ объемом 160 000 м<sup>3</sup>.

Следующим этапом необходимо рассматривать увеличение объемов хранения до 200 000 м<sup>3</sup>. Учитывая планы строительства сети заводов СПГ в РФ в ближайшие десятилетия, все вопросы, связанные с длительным хранением больших объемов СПГ и созданием требуемых термобарических условий, будут являться актуальными.

Резервуары для хранения СПГ. Резервуары для хранения СПГ имеют большие объемы и могут достигать до 200 000 м<sup>3</sup>, что составляет максимальную вместимость танкера-газовоза.

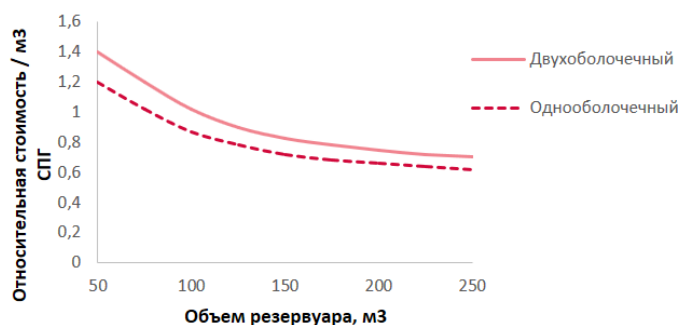


Рис. 1. Соотношение удельной стоимости и полезного объема резервуара

На сегодняшний день на практике применяются два альтернативных типа резервуаров: однооболочечные и двухоболочечные.

Как правило, с увеличением объема резервуара для хранения СПГ увеличивается и общая стоимость всего оборудования. Однако, цена за единицу произведенного СПГ будет уменьшаться с увеличением объема резервуара для хранения (рис. 1).

Разница в стоимости между резервуаром с одинарной герметизацией и резервуаром с полной герметизацией может находиться в диапазоне от 17% до 12% [1]. Двухоболочечный резервуар с полной герметизацией является лучшим выбором для резервуаров СПГ большого объема с экономической точки зрения и с точки зрения безопасности эксплуатации.

При выборе теплоизолирующей конструкции резервуара для хранения СПГ необходимо учитывать тепловые потери, образующиеся из-за разницы температур между окружающей средой и СПГ. В процессе хранения СПГ вследствие внешних теплопритоков происходит постоянный процесс регазификации, т.е. испарение наиболее летучих компонентов смеси. Для минимизации теплопритоков применяется тепловая изоляция резервуара. Тепловая изоляция резервуара является важным элементом конструкции и обеспечивает возможность длительного хранения газов в сжиженном состоянии [1, 2].

Кроме того, объем резервуара для хранения СПГ оказывает заметное влияние на скорость парообразования. В резервуаре с большим объемом СПГ по мере испарения легких компонентов останется больше жидкости. Для того, чтобы повысить температуру смеси до новой точки кипения, потребуется больше теплоты. В результате скорость парообразования будет ниже для резервуара с большим начальным запасом СПГ, что предлагает возможность использования резервуара объемом 200 000 м<sup>3</sup>.

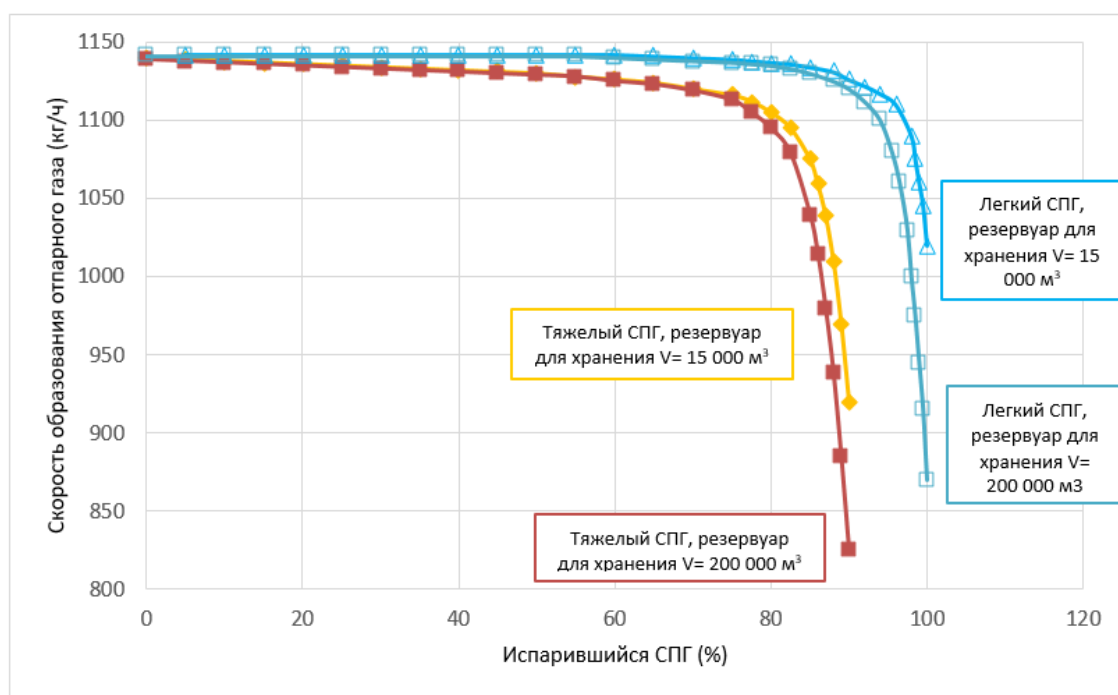


Рис. 2. Зависимость скорости испарения от объема резервуара для хранения

На рисунке 2 приведен график зависимости скорости испарения СПГ от объема резервуара для хранения. Сравнивались резервуары объемом 15 000 м<sup>3</sup> и 200 000 м<sup>3</sup> для хранения «легкого» и «тяжелого» СПГ (компонентный состав СПГ см. в табл.1). Коэффициент испарения составляет порядка 0,04% для резервуара первоначально заполненного на 200 000 м<sup>3</sup>, и 0,44% для резервуара, первоначально заполненного на 15 000 м<sup>3</sup> СПГ.

Таблица 1. Компонентный состав СПГ

|               | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | i-C <sub>4</sub> | n-C <sub>4</sub> | i-C <sub>5</sub> | n-C <sub>5</sub> | N <sub>2</sub> |
|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| «Легкий» СПГ  | 0.9613         | 0.0340         | 0.0039         | 0.0004           | 0.0003           | 0.0000           | 0.0000           | 0.0001         |
| «Тяжелый» СПГ | 0.9164         | 0.0576         | 0.0204         | 0.0029           | 0.0022           | 0.0002           | 0.0000           | 0.0003         |

**Требования к материалам.** Большинство материалов, применяемых для производства криогенного оборудования, подвержено охрупчиванию от воздействия низких температур. Так как температура хранения СПГ находится в диапазоне от минус 166°С до минус 157°С, материалы, применяемые для изотермических резервуаров, должны обладать достаточной ударной вязкостью и обеспечивать устойчивость конструкции к хрупкому разрушению.

При выборе материалов использовался норматив BS-EN-14620, в котором рекомендуется, чтобы все детали, такие как внутренние лестницы резервуара, кожух, нижняя плита были изготовлены из стали с 9% содержанием никеля (при условии, что температура внутри резервуара составляет до  $-180^{\circ}\text{C}$ ). Изоляционное покрытие для минимизации тепловых утечек будет содержать пенополиуретан, упругое стекловолокно и перлитовый бетон.

Внутренняя часть резервуара выполняется из 9% никелевой стали, внешняя часть – из предварительно напряженного бетона, настила подвесной палубы, двойной системы защиты дна и углов, а также системы подогрева дна. Расчетное давление 29 кПа (изб.), Расчетная температура  $-170^{\circ}\text{C}$ . Расчетная скорость образования «отпарного» газа составляет 0,025 об. % в день.

**Тепловая изоляция резервуара.** Тепловая изоляция защищает криогенный продукт от температурных колебаний и снижает теплопритоки из окружающей среды [5]. Толщина изоляции определяется из уравнения 1.

$$D_{out} \ln \frac{D_{out}}{D_{in}} = 2 \frac{\lambda}{a_s} \times \frac{T_s - T_f}{T_a - T_s}, \quad (1)$$

где  $D_{out}$  и  $D_{in}$  - внешней и внутренний диаметр резервуара соответственно,

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности изоляционного материала,

$T_s$  – температура поверхности,

$T_f$  – температура перлитового бетона,

$T_a$  – температура окружающей среды,

$a_s$  – коэффициент термического сопротивления.

В качестве тепловой изоляции резервуара предлагается использовать перлитовый бетон, пенополиуретан и эластичное стекловолокно с 9%-м содержанием никеля [3].

Толщина изоляции боковой стенки составит 1200 мм для резервуара  $V = 200\,000\text{ м}^3$ ,  $D = 85\text{ м}$ ,  $H = 37\text{ м}$ , в т.ч. 350 мм упругая часть из стекловолокна (30% от общей изоляции). Система защиты углов выполняется из 9% никелевой стали с покрытием из пенополиуретана (ППУ) на высоте до 5 м от дна резервуара. Конструкция дна резервуара с угловой защитой представлена на рисунке 3.

Утечки тепла рассчитывались для изоляционной части резервуара, для нижней плиты резервуара и для трубопроводов. Общая утечка тепла (утечки от всех частей резервуара) составила 320 кВт и находится в допустимом диапазоне.

Рассматриваемые изоляционные материалы рекомендованы к применению согласно ГОСТ Р 58029-2017. Характеристики используемых материалов представлены в таблице 2 [4].

Таблица 2. Значения плотности и удельной теплоемкости изоляционных материалов

| Изоляционный материал | Плотность, кг/м <sup>3</sup> | Удельная теплоемкость, кДж/кгК |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Вспученный перлит     | 100                          | 0,837                          |
| Бетон                 | 2400                         | 0,960                          |
| Стекловолокно         | 1700 – 2000                  | 0,840                          |
| Никелевая сталь       | 7801                         | 0,456                          |
| Пенополиуретан        | 40-80                        | 1,470                          |

*Перлит* – порода, представляющая из себя вулканическое стекло с основой из  $\text{SiO}_2$  (70 – 75%). При резком термоударном нагреве до температур 900 – 1200 $^{\circ}\text{C}$ , вода, содержащаяся в породе, переходит в пар и вспучивает размягчённую породу. Именно высокая пористость перлита обеспечивает его легкость и высокие теплоизоляционные свойства. Плотность вспученного перлита колеблется в диапазоне от 50 до 600 кг/м<sup>3</sup>. Для изоляции аппаратов и машин низкотемпературных установок используется вспученный перлитовый порошок с плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>.

*Стекловолокно (стеклонить)* – волокно или комплексная нить, сформированные из расплавленного стекла. В результате материал приобретает такие качества, как прочность при сжатии и растяжении, стойкость к химическим веществам и биологическим воздействиям, негорючесть и малая гигроскопичность. Теплопроводность стекловолокна составляет около

0,04 Вт/м·град. Будучи достаточно легким материалом, стекловолокно не слеживается при длительном использовании, имеет большой эксплуатационный ресурс и выдерживает температуры от 200 до 700°C.

*Пенополиуретаны* – группа газонаполненных пластмасс на основе полиуретанов, на 85 – 90% состоящих из инертной газовой фазы. В качестве исходных компонентов пенополиуретана обычно применяются продукты нефтехимической промышленности (полиолы и полиизоцианаты). Благодаря своей очень низкой теплопроводности 0,029 – 0,041 Вт/мК жесткие пенополиуретаны широко применяются в холодильной и криогенной технике, а также используются для изоляции низкотемпературных трубопроводов.

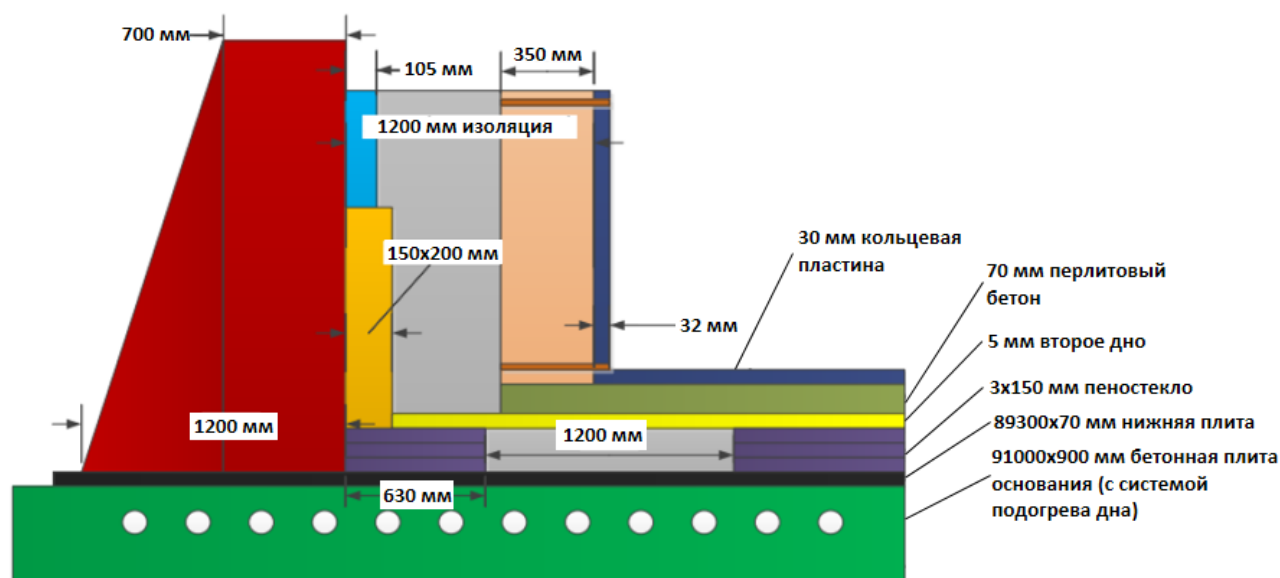


Рис. 3. Конструкция дна резервуара с угловой защитой

На основе аналитического обзора современных методик расчета теплопритоков через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ, выбрана методика расчета толщины изоляции для обеспечения заданного уровня потерь на испарение 0,025 об. % в день.

Предложены решения для теплоизолирующей конструкция резервуара хранения СПГ объемом 200 000 м<sup>3</sup>. Предложенная теплоизолирующая конструкция позволит сократить теплопритоки за счет использования эффективной тепловой изоляции толщиной 1,2 м. Также, для минимизации тепловых потерь предлагается использовать резервуар большего объема, что позволит уменьшить скорость парообразования примерно на 15% по сравнению с резервуарами меньшего объема.

В качестве изоляции резервуара использованы перлитовый бетон, пенополиуретан и эластичное стекловолокно с 9%-м содержанием никеля. Система защиты углов выполняется из 9% никелевой стали с покрытием из пенополиуретана (ППУ) на высоте до 5 м от дна резервуара. Утечки тепла рассчитаны для всех частей резервуара и находятся в допустимом диапазоне.

## Литература

1. Каганер М.Г. Тепловая изоляция в технике низких температур // Изд. Машиностроение, М. – 1966. – 270 с.
2. Louis D., Antonio S.I. Sloshing loads simulation in LNG tankers with SPH // International Conference on Computational Methods in Marine Engineering. – 2005. – 10 p.
3. Ji-hoon K., Heung-seok S., Kangwon L., and Ihn-soo Y. Development of the world's largest above-ground full containment LNG storage tank, 23rd World Gas Conference, Amsterdam, Korea Gas Corporation. – 2006. – Pp. 1–14.
4. Теплопроводность строительных материалов, их плотность и теплоемкость//Thermalinfo.

[Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/strojmateriay/teploprovodnost-stroitelnyh-materialov-ih-plotnost-i-teploemkost> (дата обращения: 16.02.2020).

5. Андреев А.М., Баранов А.Ю., Соколова Е.В., Малышева Т.А., Иванов Л.В. Исследование энергоэффективности заправочного трубопровода СПГ от выбора теплоизоляционной конструкции // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2021. – Т.5. – №2. – С. 25–36.

УДК 536.21

## ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ АНИЗОТРОПИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК СО СТРУКТУРОЙ СВЁРТКА/РУЛОНА

Суворов А.А.<sup>1</sup> (студент)

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, профессор Заричняк Ю.П.<sup>1</sup>

канд. техн. наук, доцент Захарова В.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: alexeisuv@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования аккумуляторов тепловой энергии».

---

Методы теории обобщённой проводимости использованы для приближённой оценки эффективной/эквивалентной теплопроводности бездефектных одностенных углеродных нанотрубок со структурой свёртка/рулона в продольном и поперечном направлениях относительно оси свертывания. Из-за отсутствия каких-либо экспериментальных данных и аналитических оценок по продольной и поперечной теплопроводности нанотрубок со структурой свёртка/рулона впервые полученные результаты приближённой оценки можно рассматривать как прогнозные.

**Ключевые слова:** одностенные (однослойные) углеродные нанотрубки со структурой свёртка/рулона, модель структуры нанотрубки, эквивалентная теплопроводность нанотрубок в продольном и поперечном направлениях.

---

Одностенные углеродные нанотрубки (ОС УНТ) представляют значительный интерес в самых разных областях науки и техники, так как обладают целым спектром экстремальных механических, электрических и теплофизических свойств [1–5]. Высокая теплопроводность и электропроводность углеродных нанотрубок перспективна для использования в электротехнике. Перспективно использование углеродных нанотрубок в и в аккумуляторах тепловой энергии. Добавление нанотрубок в системы с фазовым переходом увеличит теплопроводность теплоаккумулирующего объёма и ускорит процессы поглощения и отдачи тепловой энергии.

Для оценки возможности получения высокотеплопроводных композиционных материалов и элементов конструкций с использованием нанотрубок в качестве армирующего силового или высокотеплопроводного компонента необходимо знание теплопроводности нанотрубок как в продольном  $\lambda_{\text{прод}}$ , так и в поперечном направлении  $\lambda_{\text{поп}}$ . Ни теоретических оценок, ни экспериментальных данных по УНТ со структурой свёртка/рулона нам обнаружить не удалось. Попытаемся провести приближённые аналитические оценки теплопроводности бездефектных одностенных нанотрубок со структурой свёртка/рулона в продольном и поперечном направлениях с учётом их диаметра.

**Математическое моделирование и расчеты теплопроводности углеродных одностенных нанотрубок в продольном направлении**

Для математического моделирования мы использовали упрощённую модель нанотрубки. Для сохранения относительных размеров мы приравняли площадь скрутки к площади квадрата и получили формулу для нахождения длины стороны квадратной модели  $L$  (1) (рис. 1).

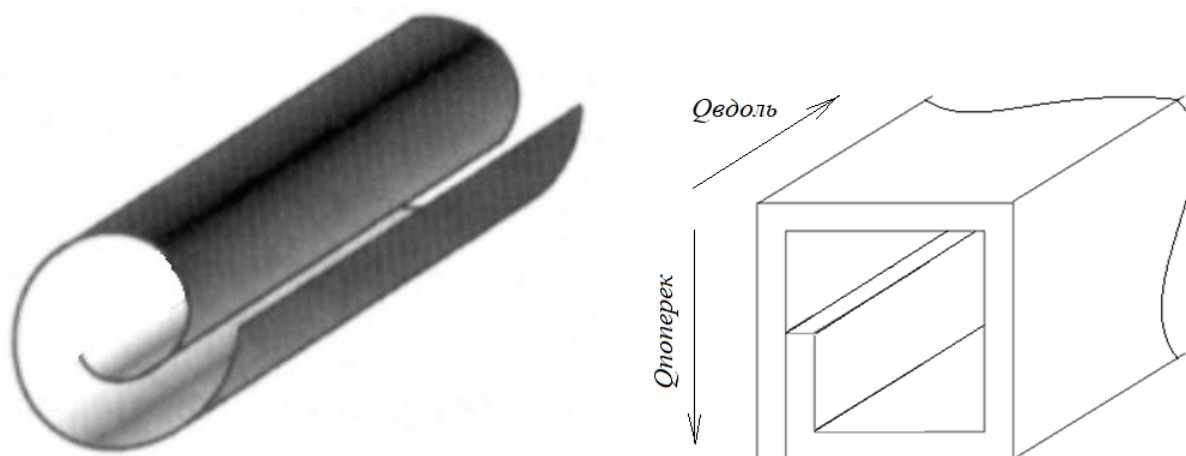


Рис. 1. Упрощенная модель структуры углеродной нанотрубки

$$L = \frac{D\sqrt{\pi}}{2}, \quad (1)$$

где  $D$  – внешний диаметр УНТ.

Расчет теплопроводности  $\lambda$  ОС УНТ в продольном направлении в обычных цилиндрических углеродных нанотрубках проводился в предположении о параллельном переносе тепловой энергии по стенкам трубки и в объеме её внутренней полости (молекулярный и лучистый перенос с теплопроводностью  $\lambda_{\text{внутр}}$ ). В соответствии с этим, эквивалентная теплопроводность нанотрубки в продольном направлении  $\lambda_{\text{прод}}$  рассчитывается как сумма произведений относительных долей площади графена и воздуха на их коэффициенты теплопроводности.

$$\lambda_{\text{прод}} = \lambda_{\text{гр}} \cdot S_{\text{гр}} + \lambda_{\text{внутр}} \cdot S_{\text{внутр}}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{гр}}$  – относительная площадь графенового листа в нанотрубке,

$S_{\text{внутр}}$  – относительная площадь сечения газа внутри нанотрубки, вычисляемая по формуле:

$$S_{\text{внутр}} = \frac{(L - 2\Delta)^2 - \Delta^2}{L^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – толщина стенки нанотрубки, в данном принята равной расстоянию между слоями в идеальном монокристалле графита.

Сумма относительных площадей газа и графена равна единице. За теплопроводность газовой прослойки бралась теплопроводность воздуха в порах гетерогенных материалов, заполненных прозрачным для излучения веществом.

### Математическое моделирование и расчеты теплопроводности углеродных нанотрубок в поперечном направлении

Значительный интерес представляет собой исследование теплопроводности нанотрубок в поперечном направлении. На данный момент нам неизвестно о каких-либо экспериментальных исследованиях, что объясняется вероятно технической сложностью осуществления.

Для приближённой оценки используем приёмы расчёта, развитые в теории обобщённой проводимости для расчётов теплопроводности макро-, микро- и нанокмпозиционных материалов. А именно – разобьём модели вспомогательными адиабатическими плоскостями  $a-a$  параллельными потоку тепла  $Q$  и изотермическими плоскостями  $i-i$  перпендикулярными потоку тепла (рис. 2).

В качестве итоговой поперечной теплопроводности возьмём среднее арифметическое результатов при разбиении адиабатическими и изотермическими плоскостями [1, 2].

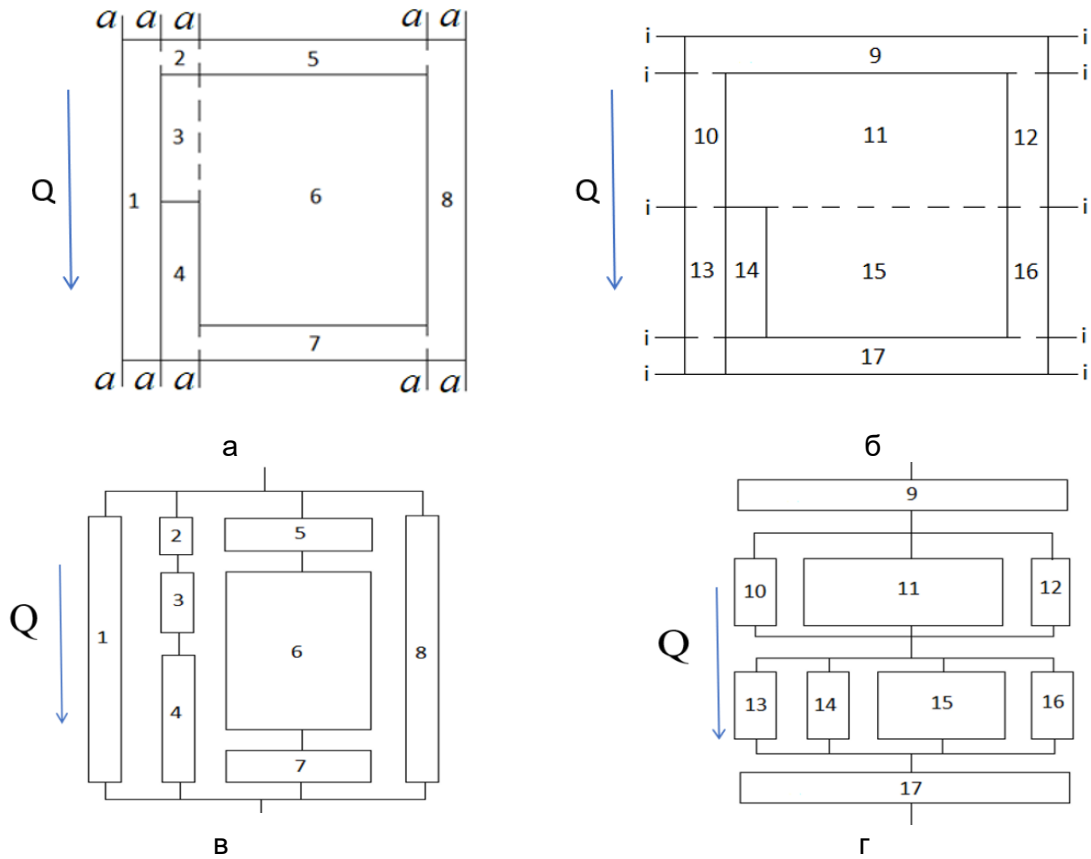


Рис. 2. Варианты разбиения модели вспомогательными а) адиабатическими; б) изотермическими плоскостями; схемы соединения тепловых сопротивлений отдельных участков модели после разбиения модели; в) адиабатическими; г) изотермическими плоскостями

Тепловые сопротивления элементарных участков модели при разбиении адиабатическими плоскостями определяются соотношениями:

$$R_1 = R_8, \lambda_1 = \lambda_8, R_5 = R_7, \lambda_5 = \lambda_7, \quad (4)$$

$$R_1 = \frac{L}{\Delta * 1 * \lambda_1}, \lambda_1 = \lambda_{\text{спр.гр.вд}} * \frac{L}{\Lambda_{\text{св.пр.гр.вд}}}, \quad (5)$$

$$R_2 = \frac{1}{\lambda_2 * 1}, \lambda_2 = \lambda_{\text{спр.гр.поп}} * \frac{\Delta}{\Lambda_{\text{св.пр.гр.поп}}}, \quad (6)$$

$$R_3 = \frac{(L/2) - \Delta}{\Delta * 1 * \lambda_3}, \lambda_3 = \lambda_{\text{спр.возд}}, \quad (7)$$

$$R_4 = \frac{(L/2)}{\Delta * 1 * \lambda_4}, \lambda_4 = \lambda_{\text{спр.гр.вд}} * \frac{(L/2)}{\Lambda_{\text{св.пр.гр.вд}}}, \quad (8)$$

$$R_5 = \frac{\Delta}{(L - 3\Delta) * 1 * \lambda_5}, \lambda_5 = \lambda_{\text{спр.гр.поп}} * \frac{\Delta}{\Lambda_{\text{св.пр.гр.поп}}}, \quad (9)$$

$$R_6 = \frac{L - 2\Delta}{(L - 3\Delta) * 1 * \lambda_6}, \lambda_6 = \lambda_{\text{спр.возд}}, \quad (10)$$

где  $R_1 - R_8$  – это тепловые сопротивления участков,  $\lambda_1 - \lambda_8$  —коэффициенты теплопроводности участков, причем  $\lambda_3$  и  $\lambda_6$  равна теплопроводности внутренней полости нанотрубки (молекулярная теплопроводность воздуха), а остальные – теплопроводность графена с учетом расположения листа графена относительно движения фононов (вдоль или поперек) и с учетом поправок на длину свободного пробега фононов в графене  $\Lambda_{\text{св пр.}}$ .  $L$  – поперечный размер модели.



Результирующая проводимость параллельных цепочек модели при разбиении адиабатическими плоскостями (рис. 2, в):

$$\sigma_{\Sigma} = 2 \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_2 + R_3 + R_4} + \frac{1}{R_5 + R_6 + R_7}, \quad (11)$$

Рассмотрим второй предельный случай расчёта эквивалентной/эффективной теплопроводности модели. Модель разбивается на отдельные участки вспомогательными изотермическими плоскостями перпендикулярными общему направлению теплового потока. Тепловые сопротивления участков модели при разбиении изотермическими плоскостями:

$$R_9 = R_{17}, \lambda_9 = \lambda_{17}, R_{10} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{16}, \quad (12)$$

$$R_{10} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{16}, \quad (13)$$

$$\lambda_{10} = \lambda_{12} = \lambda_{13} = \lambda_{14} = \lambda_{16}, \quad (14)$$

$$R_9 = \frac{\Delta}{L * 1 * \lambda_9}, \lambda_9 = \lambda_{\text{гр.поп}} * \frac{\Delta}{\Lambda_{\text{св.пр.гр.поп}}}, \quad (15)$$

$$R_{10} = \frac{(L/2) - \Delta}{\Delta * 1 * \lambda_{10}}, \lambda_{10} = \lambda_{\text{гр.вд.}} * \frac{(L/2) - \Delta}{\Lambda_{\text{св.пр.гр.вд.}}}, \quad (16)$$

$$R_{11} = \frac{(L/2) - \Delta}{(L - 2\Delta) * 1 * \lambda_{11}}, \lambda_{11} = \lambda_{\text{возд}}, \quad (17)$$

$$R_{15} = \frac{(L/2) - \Delta}{(L - 3\Delta) * 1 * \lambda_{15}}, \lambda_{15} = \lambda_{\text{возд}}, \quad (18)$$

где  $R_9 \dots R_{17}$  – это тепловые сопротивления участков,

$\lambda_9 \dots \lambda_{17}$  – это коэффициенты теплопроводности участков, при чем  $\lambda_{11}$  и  $\lambda_{15}$  равна теплопроводности внутренней полости нанотрубки (молекулярная теплопроводность), а остальные – теплопроводности графена с учетом расположения листа графена относительно движения фононов (вдоль или поперек) и с учетом поправок на длину свободного пробега фононов в графене  $\Lambda_{\text{св. пр.}}$   $L$  – длины стороны квадратной модели.

Результирующее сопротивление при разбиении изотермическими плоскостями является цепочкой из четырех последовательных слоев с параллельными цепочками сопротивлений участков (рис. 2, г):

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{1}{R_{\Sigma}}, \quad (19)$$

$$R_{\Sigma} = 2R_9 + \left(\frac{1}{R_{10}} + \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}}\right)^{-1} + \left(\frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_{14}} + \frac{1}{R_{15}} + \frac{1}{R_{16}}\right)^{-1}, \quad (20)$$

$$R_{\Sigma} = 2R_9 + \frac{R_{10}R_{11}}{2R_{11} + R_{10}} + \frac{R_{10}R_{15}}{3R_{15} + R_{10}}, \quad (21)$$

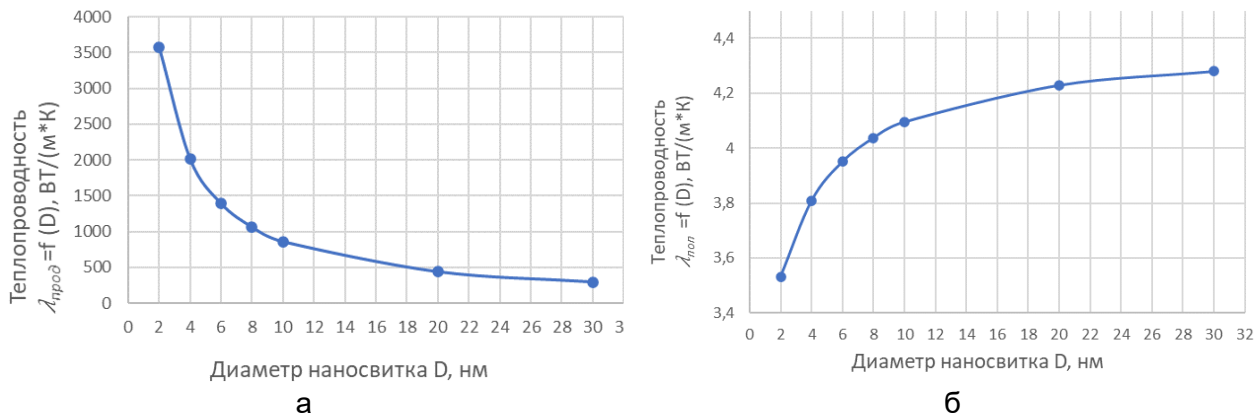


Рис. 3. Эффективная теплопроводность ОС УНТ свиток в а) продольном и б) поперечном направлениях в зависимости от их диаметра  $D$

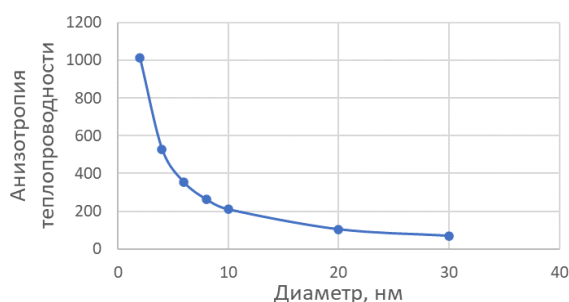


Рис. 4. Экстремальная анизотропия углеродной нанотрубки со структурой свитка/рулона

При значениях диаметра до 10 нм - эффективная теплопроводность нано свитка находится в пределах от 900 до 3500 Вт/(м\*К), что в разы больше, чем, например, теплопроводности меди (400 Вт/(м\*К)).

На рисунке 4 показано изменение анизотропии теплопроводности от диаметра нано свитка.

Полученные оценки показывают, что углеродные нано свитки имеют аномально большую анизотропию эффективной теплопроводности  $\lambda_{\text{прод}} / \lambda_{\text{поп}}$  - примерно 1000 при минимальном диаметре трубки 2 нм.

В ходе исследования теплопроводности одностенных углеродных нанотрубок со структурой свёртка/рулона предложена модель их структуры, позволившая провести приближённые оценки абсолютных величин и анизотропии эффективной теплопроводности бездефектных одностенных углеродных нанотрубок со структурой свёртка /рулона в продольном и поперечном направлениях относительно оси свертывания. Разработана методика и программа расчета эффективной теплопроводности нанотрубок в продольном и поперечном направлениях. Как и в случае с цилиндрическими одностенными нанотрубками отмечается экстремальная анизотропия теплопроводности углеродных нанотрубок свёртков/рулонов. Разработанный метод может служить основой для теоретической оценки теплопроводности нанотрубок разного диаметра.

## Литература

1. Pietrak K., Wi'sniewski T.S. A review of models for effective thermal conductivity of composite materials. // Journal of Power Technologies. – 2005. – V.95. – №1. – Pp. 14–24.
2. Lukes J.R., Zhong H. Thermal Conductivity of Individual Single-Wall Carbon Nanotubes // Heat Transfer. – 2007. – V.129. – №6. – Pp. 705–716.
3. Pop E., Mann D., Wang Q., Goodson K., Dai H. Thermal conductance of an individual single-wall carbon nanotube above room temperature // Nano Lett. – 2006. – V.6. – №1. – Pp. 96–100.
4. Growth of Half-Meter Long Carbon Nanotubes Based on Schulz–Flory Distribution. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn401995z> (дата обращения: 03.12.2014).
5. Елецкий А.В. Транспортные свойства углеродных нанотрубок // Успехи физических наук. – 2009. – Т.179. – №3. – С. 225–242.

УДК 579.64

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭНДОФИТНЫХ КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

*Ткачева М.М.<sup>1</sup> (студент)*

*Научные руководители – д-р техн. наук, доцент Кременевская М.И.<sup>1</sup>*

*канд. биол. наук Щербаков А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

<sup>2</sup>*ООО «Микробокс»*

*e-mail: mashateqr5@mail.ru*

---

В работе рассмотрены перспективы по применению эндофитных культур микроорганизмов. Произведен обзор основных агрономически значимых свойств бактерий, а также их влияние на рост и развитие растительного организма. Установлена возможность интродукции микроорганизмов на поверхность семенного материала для последующей колонизации внутренних тканей растений.

**Ключевые слова:** эндофиты, стимуляция роста, мобилизация фосфатов, мобилизация калия, азотфиксация, фитопатогенная активность, колонизация тканей растения.

---

Развитие растительного организма определяется его тесным взаимодействием с различными сообществами микроорганизмов, некоторые из которых способны населять его внутренние ткани, например, корневую систему, вегетативные органы, цветки, семена.

В основном, в настоящее время урожайность сельскохозяйственных культур оптимизируется за счет внесения минеральных удобрений и химических средств защиты растений. Однако, их применение все больше и больше подвергается контролю и ограничению. Поэтому, все больше фермеров обращают свое внимание на микробиологические препараты [1]. Бактерии могут способствовать росту и развитию растительных организмов за счет продукции первичных и вторичных метаболитов, обеспечивать защиту и доступ к труднодоступным минеральным элементам, фиксировать атмосферный азот. И такими ассоциациями могут быть эндофитные культуры микроорганизмов. Перейдем к важному определению: эндофиты – бактериальные сообщества, населяющие непосредственно сами ткани растений. Особый интерес к использованию эндофитных культур микроорганизмов представляет их свойство к колонизации непосредственно внутренних тканей растения, что делает их более устойчивыми к влиянию абиотических факторов, в отличие от ризосферных культур, населяющих область вокруг корневой системы растения [1].

Функции бактериальных культур по отношению к растительным организмам очень разнообразны. Самым распространенным и изучаемым свойством является ростостимулирующая активность. Ее существует два типа: прямая и опосредованная (косвенная). Прямая стимуляция основывается на продукции фитогормонов (ауксины, цитокинины, гиббереллины), витаминов и других биологически активных веществ. Например, ауксины стимулируют развитие корневой системы, регулируют дифференцировку органов. Цитокинины активируют деление клеток, повышают всхожесть семян, благотворно влияют на растение, находящееся в неблагоприятных для роста и развития условиях. Гиббереллины синтезируются в основном в листьях и стимулируют вегетативный рост, ускоряют прорастание семян [1, 2]. Понимая какой тип веществ, продуцирует та или иная бактериальная культура мы можем стимулировать развитие определенных частей растения. Косвенная

стимуляция – стимуляция за счет конкуренции с различными, в том числе и фитопатогенными микроорганизмами. Направленное использование функций бактериальных культур позволяет ограничить инфицирование и заболеваемость растений, что способствует их нормальному росту и развитию [2].

Азотфиксация имеет огромное экологическое значение как способ увеличения количества доступного растениям азота в большинстве природных экосистем. Сам по себе это биологически восстановительный процесс, первым продуктом которого является аммиак, который затем включается в азотистые соединения, доступные для использования другими организмами [3]. Фермент нитрогеназа катализирует реакцию восстановления молекулярного азота до аммиака. Азотное питание растений имеет колоссальное влияние на урожайность. Оптимальные дозы азота способствуют синтезу белковых веществ, образованию устойчивых к внешнему воздействию стеблей и листьев, интенсивной окраске. Соответственно, недостаточное питание отражается на вегетативных органах растений, снижается репродуктивная способность и урожайность. При азотном голодании злаковых культур происходит уменьшение количества зерен в колосе, белковой составляющей зерна. В растениях только аммиак может непосредственно использоваться для синтеза аминокислот. Процесс аминирования (образования аминокислот) происходит при взаимодействии аммиака с кетокислотами в корнях и надземных частях растений. В самих аминокислотах азот входит в виде аминогруппы. В тканях растений белки находятся в динамичном равновесии с небелковыми азотистыми соединениями. Вместе с синтезом белков и аминокислот протекают процессы их распада: отщепление аминогруппы от аминокислоты с образованием кетокислот и аммиака – деаминирование. Выделяющиеся продукты реакции используются растениями для синтеза углеводов и жиров. Сам аммиак повторно вступает в реакцию аминирования других кетокислот, образуя новые аминокислоты, при избытке аммиака синтезируются аспарагин и глутамин [3].

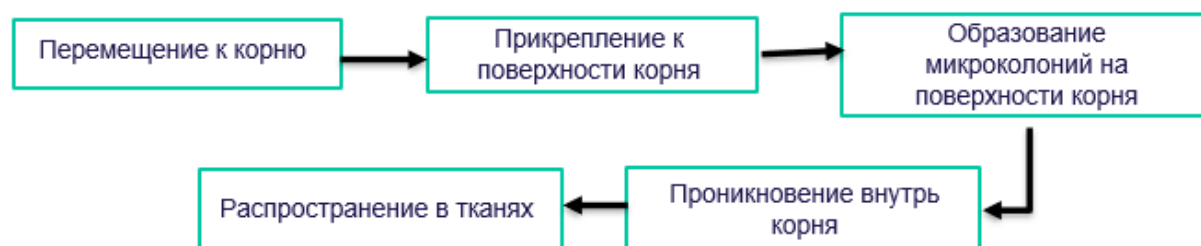
Лишь 5% фосфорных органических и неорганических соединений способны усваиваться растениями. Это происходит из-за того, что большая часть этих веществ находится в почве в формах фитина – соли инозитфосфорной кислоты, нуклеиновых кислот и фосфолипидов, то есть в виде недоступной для растений. В свою очередь эндофиты способны к минерализации труднодоступных фосфорных соединений за счет ферментной системы, продуцирующей различные ферменты (фитазы, нуклеазы, фосфолипазы), способные к переводу недоступных форм в доступные в виде фосфат ионов [4]. Кроме этого, эндофитные культуры в процессе своей жизнедеятельности продуцируют органические кислоты (метаболизм углеводов), так же выделяют углекислый газ при дыхании. Все эти соединения подкисляют среду и тем самым растворяют минеральные соединения фосфора, проявляя фосфатмобилизирующие свойства. Фосфор ускоряет в организме растения практически все обменные процессы, увеличивает скорость перехода от цветения к плодоношению, улучшает вызревание семян [4].

Калий – один из значимых элементов в цикле развития растения. Он обеспечивает функционирование ряда процессов, происходящих в тканях растений таких, как осмоадаптация, фотосинтез, транспорт питательных веществ и воды. Однако, он находится в недоступной для растений форме. За счет продуцирования органических кислот происходит высвобождение соединений калия из минералов. Калий влияет на активность эндофитов и их азотфиксирующую способность. Его недостаток приводит к замедлению роста корневой системы, снижению урожайности, увеличению чувствительности к патогенной микрофлоре и болезням [4].

Некоторые бактериальные культуры способны к проявлению фитопатогенной активности. Благодаря данному свойству растение может быть защищено от ряда грибковых заболеваний, таких как фузариоз, альтернариоз. Бактерии колонизируют гифы грибов и за счет экстракции лизирующих ферментов, происходит их разрушение.

Самым распространенным местом локализации эндофитных бактерий является межклеточное пространство тканей растений, через которое происходит их транспорт и распространение непосредственно по различным частям растения – хозяина. Бактерии,

обитающие в тканях растения, могут заселять эндосферу из окружающей среды по следующей схеме, представленной на рисунке.



Рисунке. Схема транспорта бактериальных культур во внутренние ткани растений

Бактериальные культуры перемещаются к корневой системе растений и прикрепляются к их поверхности. Далее происходит их рост и распространение по внешней поверхности корней. Проникновение внутрь осуществляется через микротрещины. Попадая в межклеточное пространство, бактерии начинают активно размножаться, благодаря доступу к питательным веществам растения. Помимо корневой системы, эндофиты способны к распространению и локализации в стеблях, листьях, цветках и семенах растения [5]. Понимая схему, представленную на рисунке, ее можно использовать для построения экспериментальной работы по интродукции семян важных сельскохозяйственных культур.

Семена замачивают в растворах эндофитов с максимально-эффективной концентрацией. При прорастании в почве, с поверхности семени микроорганизмы проникают непосредственно в ткани растения. Применение данной обработки семенного и растительного материала на различных этапах технологического процесса растениеводства способствует увеличению роста растений, показателей урожайности и стойкости к различным факторам. Эндофитные культуры микроорганизмов проникают в ткани растений и колонизируют корневую систему, стебли и листья. За счет продукции метаболитов непосредственно в ткани растения, решается проблема внесения дополнительных питательных веществ для культур со сложным механизмом выращивания, когда внесение удобрений и защитных веществ затруднено или недоступно.

## Литература

1. Васильева Е.Н., Ахтемова Г.А., Жуков В.А., Тихонович И.А. Эндофитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве // Экологическая генетика. – 2019. – Т.17. – №1. – С. 19–32.
2. Васин В.Г. Применение микроудобрений и стимуляторов роста при возделывании полевых культур (яровая пшеница, горох, кукуруза): монография / В.Г. Васин, А.Н. Бурунов, А.В. Васин. — Самара: СамГАУ. – 2019. – 323 с.
3. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. – 2019. – №8. – С. 83–96.
4. Divito G.A., Sadras V.O. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis // Field Crops Res. – 2014. – V.156. – №1. – Pp. 161–171.
5. Гарипова С.Р. Формирование продуктивности и стрессоустойчивости бобовых растений в ассоциации с эндофитными бактериями. [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. доктора. биол. наук (03.01.05) / Гарипова Светлана Равиловна; Башкирский государственный университет. – Уфа. – 2020. – 272 с.

УДК 504.05

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СЖИГАНИИ СВАЛОЧНОГО ГАЗА НА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

*Тонкова К.В.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – Забелина А.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: christinatonkova@gmail.com*

---

В работе проведен анализ экономических преимуществ, связанных со снижением платы за негативное воздействие, при использовании свалочного газа как источника возобновляемой энергии на теплоэлектростанциях на примере полигона ООО «Новый Свет-ЭКО» при улавливании 1/3 образующегося свалочного газа на действующей станции активной дегазации полигона.

**Ключевые слова:** свалочный газ, биогаз, возобновляемые источники энергии, плата за негативное воздействие, система активной дегазации полигона, полигон твердых коммунальных отходов, возобновляемая энергетика.

---

В морфологической структуре твердых коммунальных отходов лидирующие позиции занимает органическая фракция: пищевые отходы, древесные и бумажные отходы, текстильные отходы. При анаэробном разложении органической фракции образуется метан – смесь различных газов, основным компонентом которой является метан. Эксплуатирующийся полигон захоронения является стационарным источником загрязнения, и владельцы обязаны ежегодно вносить плату за негативное воздействие за выброс компонентов свалочного газа в атмосферный воздух. При внедрении технологий активной дегазации и последующем использовании свалочного газа как возобновляемого источника энергии на теплоэлектростанциях, масса выбросов загрязняющих веществ снижается.

Для проведения расчетов использовалась проектная документация для строительства станции активной дегазации полигона твердых коммунальных отходов «Новый Свет-ЭКО» с газопоршневой электростанцией [1].

Состав свалочного газа на полигоне ООО «Новый Свет-ЭКО» был исследован всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии имени Д.И. Менделеева в 2020 году в рамках производственного экологического мониторинга. Согласно полученным данным, в состав свалочного газа входят: метан с концентрацией 61,9%, диоксид углерода – 26,1%, азот – 14,8%, кислород – 2,1%, углеводороды от C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> до C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> – 0,005%, сероводород – 0,002%, меркаптаны и сульфиды – по 0,001%.

Согласно расчетам, приведенным в оценке воздействия на окружающую среду для полигона ООО «Новый Свет-ЭКО», расчетный выход биогаза составляет 7,0931 кг/т отходов [2]. На 2020 год на полигоне размещено 5475759,964 т отходов, выделяющих свалочный газ. При перемножении этих величин получаем, что ежегодно на полигоне образуется 38840,113 т свалочного газа. Согласно проектной документации [1], ежегодно улавливается 10812,593 т/год биогаза. Разность между выходом биогаза и его отбором составляет 28027,520 т/год, следовательно, такое количество биогаза выброшено непосредственно в атмосферный воздух за 2020 год. Вес каждого компонента рассчитывается по формуле 1.

$$M_i = \frac{w_i \times M}{100}, \quad (1)$$

где  $w_i$  – процентное содержание  $i$  компонента свалочного газа, %;

$M$  – общая масса выбрасываемого свалочного газа, т;

$M_{выб\,i}$  – это масса  $i$  компонента свалочного газа, прямым образом выбрасываемого в атмосферный воздух, т. Находится согласно формуле 2.

$$M_{выб\,i} = \frac{w_i \times M_{выб\,r}}{100}, \quad (2)$$

где  $M_{выб\,r}$  – это общая масса свалочного газа, прямым образом выбрасываемого в атмосферный воздух, т.

$M_{улав\,i}$  – это масса  $i$  компонента свалочного газа, улавливаемого станцией активной дегазации, т. Находится согласно формуле 3.

$$M_{улав\,i} = \frac{w_i \times M_{улав}}{100}, \quad (3)$$

где  $M_{улав}$  – это общая масса свалочного газа, улавливаемого станцией активной дегазации, т.

Ставки платы за каждый компонент взяты согласно Постановлению Правительства РФ «О ставках платы за 2021 год» [3]. В плате учтен повышающий коэффициент, утвержденный постановлением Правительства РФ на 2021 год - 1,08. Полученные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Выброс загрязняющих веществ на полигоне ООО «Новый Свет-ЭКО»

| Вещество            | $M_i$ , т        | Плата<br>общая, руб | $M_{выб\,i}$ , т | Плата за<br>выход, руб | $M_{улав\,i}$ , т | Экономия<br>( $P_{эк}$ ), руб. |
|---------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Метан               | 24 042,03        | 3 037 950,90        | 17 349,03        | 2 192 224,05           | 6 693,00          | 845 726,86                     |
| Углерода<br>диоксид | 10 137,27        | -                   | 7 315,18         | -                      | 2 822,09          | -                              |
| Азот                | 5 748,34         | -                   | 4 148,07         | -                      | 1 600,26          | -                              |
| Кислород            | 815,64           | -                   | 588,58           | -                      | 227,06            | -                              |
| Углеводороды        | 1,94             | 245,39              | 1,40             | 177,08                 | 0,54              | 68,31                          |
| Сероводород         | 0,78             | 623,66              | 0,56             | 450,04                 | 0,22              | 173,62                         |
| Меркаптаны          | 0,39             | 24 870,78           | 0,28             | 17 947,07              | 0,11              | 6 923,71                       |
| Сульфиды            | 0,39             | 16,63               | 0,28             | 12,00                  | 0,11              | 4,63                           |
| <b>Итого</b>        | <b>40 746,77</b> | <b>3 063 707,37</b> | <b>29 403,39</b> | <b>2 210 810,24</b>    | <b>11 343,38</b>  | <b>852 897,13</b>              |

Чистая экономия при улавливании и отведении на газопоршневую электростанцию 1/3 образующегося на полигоне ООО «Новый Свет-ЭКО» свалочного газа составит 852897,13 руб. Однако, следует учитывать, что газопоршневая электростанция также является стационарным источником загрязнения атмосферы, за выбросы которой необходимо вносить плату за негативное воздействие. Аналогично плате за выбросы свалочного газа на полигоне произведен расчет платы за выбросы газопоршневой электростанции. Состав выбросов принят согласно проектной документации на строительство газопоршневой электростанции на полигоне ООО «Новый Свет-ЭКО». Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Для подведения выводов об экономической эффективности внедрения системы активной дегазации полигона со сжиганием свалочного газа на теплоэлектростанциях необходимо из суммы экономии при сборе свалочного газа вычесть сумму платы за выбросы газопоршневой электростанции согласно формуле 4.

$$\mathcal{E} = P_{эк} - P_{ППЭС}. \quad (4)$$

Согласно проведенному расчету, общая экономия в области платы за негативное воздействие на окружающую среду составит 850 тысяч рублей.

Таблица 2. Выброс загрязняющих веществ на газопоршневой электростанции при использовании свалочного газа с 1/3 площади полигона

| Вещество                                                                             | Валовые выбросы, т/год | Коэффициент платы, руб./т | Плата за выбросы (П <sub>ГПЭС</sub> ), руб./год |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|
| Азота (4) оксид                                                                      | 5,3562                 | 138,8                     | 869,83                                          |
| Азота (2) оксид                                                                      | 0,8704                 | 93,5                      | 95,22                                           |
| Углерод оксид                                                                        | 8,0343                 | 1,6                       | 15,04                                           |
| Углеводороды предельные алифатического ряда (алканы) C <sub>1</sub> -C <sub>10</sub> | 4,0172                 | 108                       | 507,61                                          |
| Формальдегид                                                                         | 0,4017                 | 1823,6                    | 857,07                                          |
| Сера диоксид                                                                         | 5,8249                 | 45,4                      | 309,41                                          |
| Сумма:                                                                               |                        |                           | 2 654,18                                        |

Сжигание свалочного газа на теплоэлектростанциях имеет ряд преимуществ. Валовый выброс загрязняющих веществ снизится на 11319 тонн. Плата за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух снизится на 850 тысяч рублей ежегодно. 6700 тонн метана ежегодно будут использоваться как возобновляемый энергетический ресурс, что позволит сократить использование традиционных источников энергии.

### Литература

1. Станция активной дегазации полигона ТБО «Новый Свет-ЭКО» с ГПЭС. Проектная документация. Раздел 8. «Перечень мероприятий по охране окружающей среды». «Оценка воздействия на окружающую среду». НГЭН.637-ООС // СПб: НГ Энерго. – 2013. – 158 с.
2. Корректировка проекта «Полигон твердых бытовых и строительных отходов в д. М. Замостье Гатчинского района Ленинградской области» Оценка воздействия на окружающую среду (предварительный вариант) Часть 2. 32008852007-ОВОС // СПб.: ООО «Берг-проект». – 2020. – 880 с.
3. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 N 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения: 15.02.2022).



УДК 378.147

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В ВУЗАХ

*Туганова Р.С.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Юльметова Р.Ф.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: tuganovaregina@yandex.ru, liya974@mail.ru*

---

В работе было исследовано применение таких современных информационных технологий (ИТ), как виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность, в образовательных программах высших учебных заведений. Проанализировано состояние современного рынка VR- и AR-технологий в Российской Федерации и мире. Изучен вопрос применения VR- и AR-технологий для реализации учебных дисциплин вузов в России.

**Ключевые слова:** современные информационные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность, реализация экологических дисциплин, современное образование, смешанное обучение.

---

Актуальность темы исследования обусловливается возрастающей ролью применения современных информационных технологий в образовательном процессе. В настоящее время в обучении студентов все чаще используются онлайн-технологии, ведь на сегодняшний день принцип доступности высшего образования является основополагающим. Благодаря современным ИТ появилась возможность обучаться быстро и качественно, а главное, такой процесс обучения может быть по-настоящему эффективным и увлекательным. Проблема видится в отсутствии на отечественном рынке качественной реализации образовательных проектов, касающихся изучения экологических дисциплин с применением технологий виртуальной и дополненной реальности.

Особенности применения современных ИТ в образовании вузов было рассмотрено в работах ученых В.В. Гриншкуна, Г.А. Краснова, Е. Новак, С. Висдом. Доказано, что такой стремительный переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным средствам определяет новые условия подготовки высококвалифицированных специалистов [1, 2].

В последние годы в вузах наблюдается всплеск внедрения AR/VR для расширенного обучения. Образовательные организации создают инфраструктуру и выделяют ресурсы для интеграции своих учебных программ с данными технологиями. Использование VR- и AR-технологий способствует не только активному вовлечению студентов в образовательный процесс, но и лучшему пониманию изучаемого материала. Образовательные учреждения часто используют виртуальную и дополненную реальность для обучения анатомии живых организмов, молекулярной биологии, основам химии и атомной физики. Все это позволяет образовательной системе шагнуть вперед и достигнуть продуктивного смешанного обучения, включающего в себя элементы традиционного и онлайн-обучения.

Виртуальная реальность имитирует физическое присутствие пользователя в виртуальной среде, которая подразделяется на сенсорно-моторную, когнитивную и эмоциональную, но также VR создает иммерсивное трехмерное пространственное восприятие. Если иммерсивная система создает ощущение исследования всего виртуального мира, то полу-иммерсивная (например, с использованием нескольких проекционных экранов вместо

очков) или неиммерсивная система (например, компьютерные дисплеи) создают некоторую степень реализма, но без чувства нахождения в виртуальном пространстве. В свою очередь, дополненная реальность накладывает синтетические элементы, такие как 3D-объекты, мультимедийное содержимое или текстовую информацию, на реальные изображения, увеличивая возможности взаимодействия с пользователем.

Настоящая цель технологий дополненной и виртуальной реальности – способствовать вовлечению студентов, а также лучшему пониманию учебных материалов. Делая обучение захватывающим и экспериментальным с помощью VR-гарнитур, преподаватели могут объяснять учащимся сложные концепции в контролируемой среде. Более того, виртуальные технологии позволяют познакомиться с абстрактными идеями с помощью 3D-моделей, взаимодействующих между собой, поэтому они также облегчают ознакомление студентов со знаниями, следуя конструктивистскому подходу. Именно этот конструктивистский подход может способствовать полноценному обучению, ориентированному на студентов, учитывая, что именно они являются основными исполнителями при экспериментировании и практике с виртуальными объектами.

Для рассмотрения эффективности VR и AR были проанализированы преимущества применения данных технологий в рамках образовательных дисциплин. Можно выделить три основных аспекта преимуществ использования виртуальных технологий: во-первых, повышение мотивации и вовлеченности студентов в учебный процесс благодаря применению иммерсивной системы; во-вторых, использование конструктивистского подхода к обучению, включающего в себя взаимодействие с виртуальной средой и другими студентами; в-третьих, высокая доступность гарнитур технологий виртуальной и дополненной реальности.

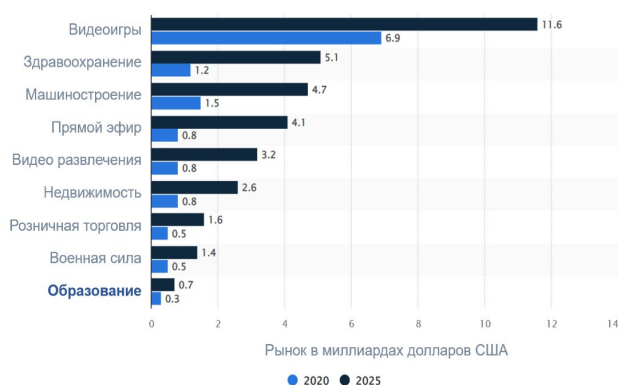


Рис. 1. Прогнозируемый размер рынка VR- и AR-технологий [4]

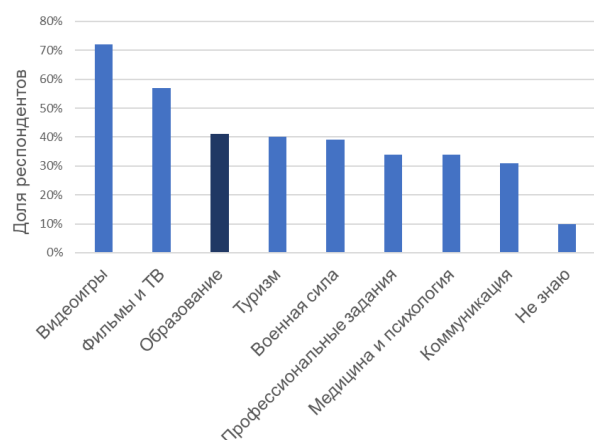


Рис. 2. Ответы респондентов на вопрос: «В каких областях применения, по вашему мнению, в будущем будут использоваться VR-технологии?»

Более того, рынок виртуальной и дополненной реальности предлагает большие возможности для использования технологии в образовательном процессе. VR-отрасль растет быстрыми темпами, при этом прогнозируется, что размер мирового рынка виртуальной реальности увеличится с менее чем 5 млрд \$ USD в 2021 году до более чем 12 млрд \$ USD к 2024 году [3]. Прогнозируемый размер мирового рынка дополненной и виртуальной реальности в 2020 и 2025 годах по сегментам представлен на рисунке 1.

Согласно исследованию THEAPPSOLUTIONS, 41% из 1058 опрошенных хотят видеть внедрение VR-технологий в образовательных процесс [5]. На рисунке 2 представлены результаты опроса.

Однако, несмотря на высокие темпы развития VR- и AR-технологий, а также внедрение их в процесс обучения, экологическая сфера остается непопулярной для применения новых методов изучения дисциплин. Был проведен анализ существующих образовательных программ вузов с опытом внедрения виртуальной и дополненной реальности.

Таким образом, первыми вузами, использовавшими в своих образовательных программах VR-технологии, стали:

- Институт машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого с программно-аппаратным комплексом виртуального окружения X-sided CAVE 3D;
- Национальный исследовательский Томский политехнический университет с VR-копией единственного действующего учебного реактора в России;
- Тихоокеанский государственный медицинский университет с линейкой решений MEDVR.

Таким образом, было исследовано применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательных программах вузов. Для более глубокого исследования эффективности современных ИТ были изучены преимущества применения VR- и AR-технологий в рамках учебных дисциплин, а также проведен анализ существующих образовательных программ российских вузов с опытом внедрения VR/AR-технологий.

Дальнейшая работа будет направлена на разработку первых 3D-моделей промышленных установок автоматического мусоросортировочного комплекса в программном обеспечении Blender. Также для дальнейшего развития образовательной платформы, предназначенной для студентов экологических специальностей Университета ИТМО, будет сконструирован собственный веб-сайт. Разработанные виртуальные комплексы будут применяться в обучении студентов экологического профиля и молодых специалистов. Более того, готовый продукт позволит усовершенствовать преподавание экологических дисциплин и повысить эффективность обучения.

## Литература

1. Novak E., Wisdom S. Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science // J. Sci. Educ. Technol. Journal of Science Education and Technology. – 2018. – V.27. – №5. – Pp. 412–432.
2. Гриншкун В.В., Краснова Г.А. Эффективное использование информационных технологий и другие проблемы совершенствования подготовки высококвалифицированных кадров в аспирантуре // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2018. – Т.15. – №2. – С. 135–143.
3. Artillery Intelligence. VR Global Revenue Forecast, 2020–2025. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://artillery.co/artillery-intelligence/vr-global-revenue-forecast-2020-2025/> (дата обращения: 23.11.2021).
4. Bellini, Heather, Chen, Wei, Sugiyama, Masaru, Shin, Marcus, Alam, Shateel, Takayama, Daiki. Virtual & Augmented Reality: Understanding the Race for the Next computing Platform. – Goldman Sachs. – 2016. – 64 p.
5. THEAPPSOLUTIONS. Augmented and virtual reality in education. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://theappsolutions.com/blog/development/ar-vr-in-education/> (дата обращения: 25.11.2021).

УДК 504.064.3

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗАТОРА ФРЕОНОВ

**Фахртдинова С.З.<sup>1</sup>** (студент), **Хамзина А.М.<sup>1</sup>** (студент), **Карпова Н.Г.<sup>1</sup>** (студент)

**Научный руководитель – канд. техн. наук Кустикова М.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: [sabinafaxrtdinova9755@gmail.com](mailto:sabinafaxrtdinova9755@gmail.com)

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».*

---

В работе рассмотрены возможности применения спектроскопии комбинационного рассеяния применительно к задаче идентификации фреонов. Приведены результаты патентного анализа аналитических систем, построенных на основе спектроскопии комбинационного рассеяния, в патентных базах зарубежных стран и РФ. На основе данных, полученных при изучении патентов, предложен принцип построения аналитической системы, разработана структурная схема аналитической системы с использованием газовой ячейки.

**Ключевые слова:** газоанализатор, патентный анализ, фреон, хладагент, аналитическая система.

---

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) — мощный инструмент для анализа широкого круга различных веществ. Этот метод вышел за рамки исследовательской лаборатории и нашел свое место в промышленной сфере для анализа продуктов питания и лекарств, в текстильной промышленности, в мониторинге окружающей среды и ряде других.

Анализаторы, работа которых основана на методах спектроскопии КР, реализуют точный и чувствительный метод анализа состава веществ, позволяя получить индивидуальный спектральный отпечаток анализируемого вещества. По чувствительности и времени считывания спектроскопия КР превосходит результаты, полученные с использованием других методов анализа.

Целью данной работы является изучение существующих аналитических систем, основанных на спектроскопии комбинационного рассеяния.

К задачам работы относятся:

1. Анализ литературных источников с примерами применения спектроскопии КР.
2. Патентный анализ систем, построенных на основе спектроскопии КР.
3. Изучение принципов построения и проектирования аналитических систем различными авторами.
4. Разработка схемы новой аналитической системы.

Спектроскопия комбинационного рассеяния применяется в различных сферах деятельности, где требуется осуществить неразрушающий контроль и визуализацию полученных данных. Независимо от того, являются ли целью анализа качественные или количественные данные, рамановский анализ позволит получить информацию о целевых компонентах. Этот метод предназначен как для анализа твёрдых веществ, так и для анализа жидкостей, газовоздушных смесей, гелей, порошков, что особенно важно в материаловедении, биологии, фармацевтике [1].

Анализ материалов с содержанием углерода методом КР позволило получить новые данные при изучении металлических, керамических и полимерных объектов на содержание

наночастиц, обнаружить их особенности и исследовать взаимодействие с окружающей средой. Поскольку спектроскопия КР является неразрушающим, точным и быстродействующим методом анализа, она часто используется в минералогии для эффективного анализа большого количества образцов, в частности для анализа драгоценных камней, минералов, произведений искусства и исторических артефактов.

Анализаторы, реализующие принципы спектроскопии КР, при работе с хладагентами позволяют:

- перед восстановлением системы хладагента проверять его чистоту, имея возможность тестировать широкий спектр хладагентов;
- осуществлять предварительную проверку хладагентов перед использованием, консолидацией и утилизацией;
- соблюдать таможенное и импортное соответствие в торговых операциях и перевозке через границу хладагентов, что обусловлено усилением требований законодательства в части контроля, содержания и выявления запрещенных веществ.

Патентные базы стран-лидеров рейтинга Всемирной организации интеллектуальной собственности содержат значительный объем информации, которая может быть использована для анализа тенденций в развитии аналитических систем контроля и идентификации веществ. Анализ патентной базы США, направленный на выявление патентов газоанализаторов по определению состава вещества, имеющих потенциал дальнейшего использования для идентификации хладагентов, привел к обнаружению трех решений, удовлетворяющих условиям поиска: патент US № 8077309B2 [2], патент US № 10088422 [3], патент US № 10871399B2 [4]. Данные запатентованные устройства отличаются своей универсальностью, и в то же время представляют собой новейшее поколение газоанализаторов, которые снабжены вычислительными блоками и системами управления, что позволяет ускорить и автоматизировать процесс анализа образцов.

Анализ патентной базы Европейского патентного ведомства Espacenet, проведенный с целью определения существующего технического уровня разработок в области газового анализа фреонов, выявил 5 технических решений: US6100529 (A) [5], CN208860820 (U) [6], CN208999346 (U) [7], WO2021005226 (A1) [8], CN209513609 (U) [9]. Анализ показал, что наиболее удачными представляются решения, обладающие универсальностью применения для обнаружения фреонов, так как современные хладагенты являются многокомпонентными, а значит обладают широким спектром для анализа.

Анализ патентной базы Российской Федерации, нацеленный на выявление технических решений по анализу газов, обнаружил следующие решения, реализующие разные методы анализа: РФ № 2018116545 [10], РФ № 2012147714/28 [11], РФ № 2006144957/28 [12]. Данные решения представляют новейшее поколение газоанализаторов, которые направлены на усовершенствование обнаружения химических групп анализируемых веществ.

Обобщенная структурная схема автоматической газоаналитической системы представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Структурная схема автоматической газоаналитической системы

Результаты анализа патентных баз показали преимущественное использование следующей структурной схемы аналитической системы, основанной на спектроскопии комбинационного рассеяния (рис. 2).

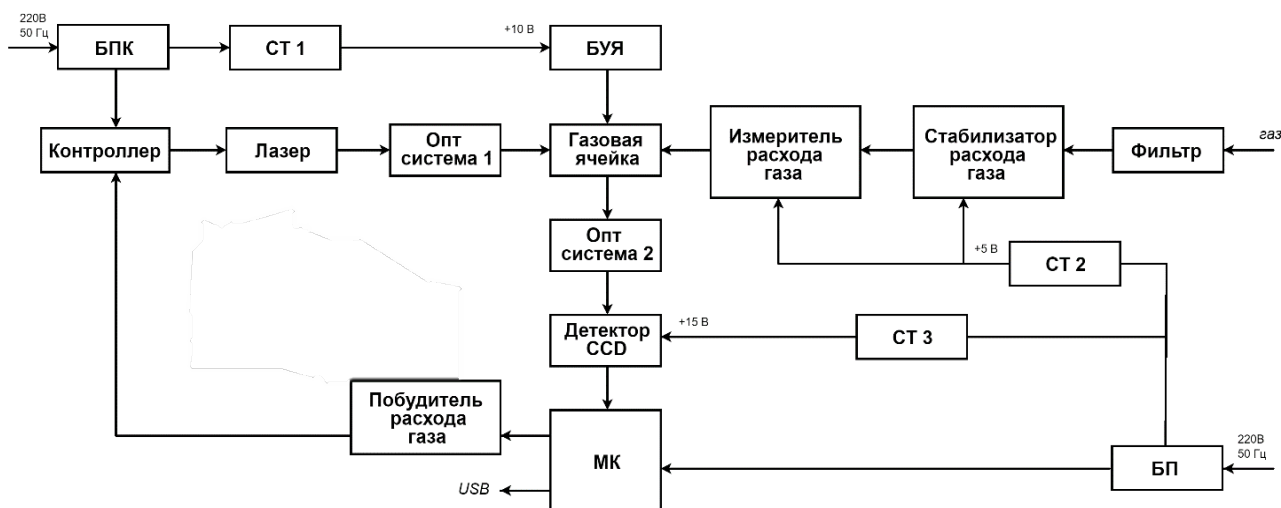


Рис. 2. Структурная схема аналитической системы на основе спектроскопии КР, МК – микроконтроллер, БПК – блок питания контроллера, СТ – стабилизатор напряжения, БУЯ – блок управления ячейкой, БП – блок питания

Газ, поступающий в камеру, проходит через фильтры и элементы пробоподготовки. Стабилизатор расхода газа необходим для обеспечения равномерного поступления потока газа с заданным давлением. Измеритель расхода газа контролирует массовый и объемный расход, плотность, массу и объем газа. Полученные данные необходимы для учетно-расчетных операций. Исследуемый газ поступает в газовую ячейку [13] через специальный разъем. Контроллер управляет лазером и имеет свой блок питания. Лазер испускает луч, который проходит через оптическую систему 1, состоящую из фокусирующих линз. Газовая ячейка имеет блок управления, который отвечает за подвод газа, питание и состояние вакуума внутри ячейки при отсутствии исследуемого газа.

Рассеянное излучение от ячейки поступает в оптическую систему 2, которая состоит из фильтра, собирающей и фокусирующей линзы. Система регистрации в виде детектора ССД спектрометра регистрирует сигнал и передает его на микроконтроллер, который, посредством канала USB, выводит результат на ПК. МК может посылать сигнал на побудитель расхода газа. В этом случае снова забирается проба газа и цикл повторяется. Возможны и другие варианты и принципы построения аналитической системы.

В работе рассмотрены сферы деятельности, где применение спектроскопии комбинационного рассеяния позволяет получать точные и репрезентативные данные, что особенно важно в медицине и фармацевтике. Достоинства метода также позволяют рекомендовать спектроскопию КР к применению в сфере исследования окружающей среды.

Командой НИР 620159 проведен патентный анализ систем, построенных на основе спектроскопии комбинационного рассеяния. Были проанализированы патентные базы США, Европы и России и выделен ряд конкретных технических решений, которые можно впоследствии применить в собственных разработках.

Разработана структурная схема аналитической системы с использованием газовой ячейки.

## Литература

1. Ben Pilkington. Current and Future Raman Spectroscopy Applications. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=2075> (дата обращения: 02.03.2022).
2. Chemical analyzer for industrial process control / Brown; Gordon C., Burka; Michael, Cranton; Brian, Erickson; пат. US 20080180661 A1, 31.06.2008 // USPTO.
3. Raman spectroscopy for determination of composition of natural gas / Albert Ballard; пат. US 20170184502 A1, 29.06. 2017 // USPTO.
4. Analysis device / Gundrum; Lars, Born; Julian, Wackerbarth; Hainer, Wang; пат. US 20200103280 A1, 2.04.2020 // USPTO.

5. Automatic portable automotive refrigerant analyzer / O'DWYER BARRY; PROZZO CHRISTOPHER D; пат. US6100529 (A) // Espacenet.
6. Online analyzer for industrial online analysis of refrigerant R134a / YANG KUN; WANG XIANGKE; WANG FUDE; LI JIANHAO; пат. CN208860820 (U) // Espacenet.
7. Handheld R32 refrigerant leakage detection device / HUANG NINGSONG; пат. CN208999346 (U) // Espacenet.
8. Analyzing gas by way of Raman spectroscopy / GISELBRECHT DIETMAR; пат. WO2021005226 (A1) // Espacenet.
9. Infrared detection device for multicomponent Freon gas / YANG SHENHAO; YANG LING; ZHAO WEIJING; WANG XIAOCHEN; LI XIN; CHENG JUNNA; HOU CHUNCAI; пат. CN209513609 (U) // Espacenet.
10. Дистанционный оптический абсорбционный лазерный газоанализатор / Ермаков А.А., Минеев А.П., Стельмах О.М.; пат. RU 2694461, 03.05.2018.
11. Спектрально-селективный портативный раман-люминесцентный анализатор / Кулик Л.В., Журавлев А.С., Ваньков А.Б.; пат. RU 2526584, 12.11.2012.
12. Оптический датчик с многослойной плазмонной структурой для усовершенствованного обнаружения химических групп посредством SERS / Попонин.В; пат. RU 2361193, 19.05.2005.
13. Gas cell for the optical analysis of gases / Krause; Sven, Wang; Yifei, Schomann; пат. US 20150185075 A1, 2.07.2015 // USPTO.

УДК 504.064

## АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

*Фахртдинова С.З.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук Кустиков Ю.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: sabinafaxrtdinova9755@gmail.com*

---

В работе рассмотрены возможности применения предиктивных систем контроля выбросов. Проанализирован мировой и российский опыт применения предиктивных систем, приведены нормативные документы, регламентирующие их применение и устанавливающие требования к ним. Проанализирован рынок предиктивных систем и прогноз его развития, выделены ключевые регионы и игроки рынка. Анализ рынка показал потенциал применения таких систем в мире.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферы, контроль промышленных выбросов в атмосферу, автоматические измерительные системы контроля выбросов, предиктивные системы контроля выбросов.

---

Контроль выбросов загрязняющих веществ в соответствии с национальными законодательными требованиями является важным фактором для работы большинства производственных предприятий.

Природоохранные органы в различных странах мира требуют, чтобы эти предприятия контролировали уровень выбросов загрязняющих веществ с помощью автоматических измерительных систем непрерывного контроля выбросов (Continuous Emission Monitoring System - CEMS). CEMS — это оборудование, используемое для непрерывного мониторинга выбросов и одобренное для применения большинством стран мира.

Поскольку оснащение всех источников выбросов автоматическими средствами измерения осложнено рядом технико-экономических проблем, законодательство некоторых стран допускает проводить контроль загрязняющих веществ в выбросах с использованием так называемых предсказывающих систем контроля, именуемых в зарубежной литературе как «предиктивные системы» (Predictive Emission Monitoring Systems - PEMS) [1].

PEMS основаны на использовании программных решений, которые способны предоставлять оценку содержания загрязняющих веществ в выбросах в режиме реального времени с использованием передовых математических и статистических моделей на основе параметров контролируемого технологического процесса [2].

Целью данной работы является анализ международного и российского опыта применения предиктивных систем контроля выбросов загрязняющих веществ. К задачам относятся:

1. Анализ актуальности применения предиктивных систем.
2. Анализ мирового опыта применения предиктивных систем.
3. Анализ мирового рынка предиктивных систем.

CEMS – автоматическая измерительная система контроля промышленных выбросов, представляющая комплекс технических средств, обеспечивающих автоматические измерения и учет показателей выбросов загрязняющих веществ (газы и/или твердые частицы), фиксацию и передачу информации о показателях выбросов загрязняющих веществ [3].

---



PEMS – предиктивная система, которая использует программное обеспечение для реализации математической модели выбросов контролируемого источника, в которой параметры технологического процесса (например, давление, температура, расход и т.д.) используются в качестве входных переменных для прогнозирования содержания вредных газов в источнике выбросов.

При создании соответствующей модели выбросов для PEMS используются результаты измерений концентрации газов в фактических выбросах источника, полученные с помощью CEMS [4].

PEMS может использоваться в качестве основного средства контроля выбросов в определенной сфере деятельности, а также в качестве резервного для существующей CEMS. Судя по литературным источникам применение PEMS обеспечивает мониторинг выбросов, сокращая капитальные вложения и текущие эксплуатационные расходы [2].

PEMS могут использоваться для разных сфер деятельности. Как правило их используют на предприятиях, где сжигается газообразное или жидкое топливо, на нефтехимических и химических заводах, в металлургии.

Впервые законодательное регулирование применения предиктивных систем контроля выбросов для непрерывного определения концентраций загрязняющих веществ было осуществлено в Соединенных Штатах Америки (США) в 1990-х годах. PEMS могут быть применены в качестве средства контроля выбросов стационарных источников в соответствии с разделом 40 Свода федеральных нормативных актов [1]. В части 60 раздела 40 содержится информация об эксплуатационных характеристиках и процедурах тестирования PEMS (Performance Specification 16).

На территории США находится большое количество производителей PEMS, которые занимают лидирующие позиции на мировом рынке. К ним относятся ABB, CMC Solutions, Hint, Advantech Sensor и др.

На территории Европейского союза (ЕС) предиктивные системы контроля выбросов распространены в меньших масштабах по сравнению с США и применяются в основном в Нидерландах [1].

Директива о промышленных выбросах 2010/75/EU Европейского парламента и Совета Европейского Союза, вступившая в силу 1 января 2011 года, является основным инструментом ЕС, регулирующим выбросы загрязняющих веществ от промышленных установок. Документ направлен на достижение высокого уровня защиты окружающей среды за счет сокращения вредных промышленных выбросов в ЕС, а также устанавливает предельные значения выбросов для отдельных загрязняющих веществ в масштабах всего ЕС.

Стандарт ЕС PD CEN/TS 17198:2018 «Стационарные источники выбросов. Предиктивные системы контроля выбросов (PEMS). Применимость, выполнение и обеспечение качества» устанавливает требования к сертификации программного обеспечения PEMS, а также к обеспечению качества PEMS, чтобы гарантировать их работу в пределах заданных характеристик.

PEMS широко используются в Нидерландах, большинство PEMS предназначены для контроля выбросов NO<sub>x</sub>. Работа крупных промышленных предприятий в Нидерландах, первой европейской стране, одобрявшей применение предиктивных систем контроля выбросов, регламентируется Декретом о деятельности (Activities Decree), который является проектом по Европейской директиве 2001/42/EU об оценке воздействия некоторых планов и программ на окружающую среду, Техническое соглашение NTA 7379:2014 (Guidelines for Predictive emission monitoring systems (PEMS) - Realization and quality assurance) допускает применение предиктивных систем контроля выбросов и определяет требования к ним.

Законодательство Великобритании позволяет использовать PEMS при условии их проверки посредством инструментального контроля выбросов в диапазоне рабочих режимов установки в соответствии со стандартом EN 14181:2004 «Выбросы стационарных источников. Оценка качества автоматических измерительных систем» и системой сертификации Агентства по охране окружающей среды Англии и Уэльса MCERTS (Monitoring Certification).

Мониторинг выбросов загрязняющих веществ в Китайской Народной Республике регулируется законом «О предотвращении атмосферного загрязнения». Автоматический контроль выбросов загрязняющих веществ регламентируется стандартом НН/Т 76-2007 [1] «Спецификация и процедуры испытаний для систем мониторинга выбросов дымовых газов, выбрасываемых из стационарных источников».

В 2014 году финский исследовательский институт VTT (VTT Technical Research Centre of Finland), один из ведущих исследовательских институтов Европы, провел исследование о PEMS, условиях их использования в Европе, в ходе которого компетентные в данной области органы стран ЕС прошли анкетирование [5]. По результатам анкетирования получены следующие ответы:

- в Дании разрешено использовать PEMS на газовых турбинах и для контроля выбросов NO<sub>x</sub> как на суше, так и на оффшорных платформах;
- PEMS не рекомендуется использовать в Германии в качестве измерительной системы для контроля выбросов, так как PEMS не одобрены властями;
- в Италии PEMS широко не используется и, вероятно, также не будут использоваться в будущем. PEMS может использоваться для получения оценочных результатов;
- во Франции некоторые PEMS использовались на установках сжигания (нефть и газ). Министерство окружающей среды Франции не поддерживает такие виды процесса мониторинга;
- в Великобритании PEMS используются в Англии, но их использование ограничено компрессорными турбинами в национальной системе распределения газа. Они используются для контроля выбросов NO<sub>x</sub>. Их использование разрешается, если оператор системы может продемонстрировать, что PEMS обеспечивают достоверные результаты в данном случае.

В Российской Федерации (РФ) в настоящее время отсутствует законодательная и нормативная база, регламентирующая правила создания и эксплуатации и требования к PEMS.

В соответствии с Федеральным законом РФ от 28.06.2021 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» вводится необходимость оснащения объектов I категории автоматическими средствами измерений и учета показателей выбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации. Правила создания и эксплуатации, требования к автоматическим измерительным системам для контроля выбросов загрязняющих веществ (CEMS) отражены в Постановлениях Правительства РФ от 13.03.2020 № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ» и № 263 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов 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». Вопросы метрологического обеспечения автоматических измерительных систем изложены в информационно-техническом справочнике ИТС 22.1 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения», который был актуализирован в 2021 году.

Результаты исследования рынка PEMS и прогноз на 2021–2027 гг. приведены компанией Maximize Market Research [6]. В 2020 г. рынок PEMS оценивался в 2,6 млрд долларов США и ожидается, что общий доход будет расти со среднегодовым темпом роста 6% с 2021 по 2027 год, то есть мировой рынок PEMS достигнет почти 3,91 млрд долларов США в 2027 году. Анализ сегментов рынка показал, что лидирующей по применению PEMS, как и в 2019 году, оказалась нефтегазовая область, на втором месте – металлургия и добыча полезных ископаемых, а на третьем – энергетика. Крупнейшими рынками PEMS считаются Северная Америка, Европа и Азиатско-Тихоокеанский регион, а ключевыми игроками – ABB Ltd., Sick AG, Emerson Electric Co., Teledyne Technologies Inc., Siemens AG, Durag Group.

Несмотря на то, что применение PEMS может обеспечивать хорошие результаты в экологических проектах, это не означает, что эти системы станут полной альтернативой CEMS. Выбор системы зависит от таких факторов, как схема процесса, оборудование и условия эксплуатации. Эффективное для применения решение должно включать в себя как программные, так и аппаратные стратегии мониторинга выбросов, которые обеспечат возможность охвата всех аспектов контроля выбросов.

В работе рассмотрен мировой опыт применения предиктивных систем. Лидером по применению PEMS являются США и Европейский союз, в котором PEMS активно применяют Нидерланды.

Приведены результаты анализа нормативных документов различных стран, регламентирующих работу PEMS и исследования об особенностях использования PEMS странами ЕС.

Прогноз развития рынка предиктивных систем до 2027 года показывает, что применение PEMS актуально и их рынок будет расти со среднегодовым темпом роста 6%.

Предполагается, что для успешного применения PEMS в Российской Федерации необходимо создать законодательную и нормативную базу и тем самым определить область их применения, установить правила создания и применения, а также разработать технические требования к PEMS и методы их метрологического обеспечения.

## Литература

1. Мешалкин В.П., Скобелев Д.О., Попов А.Ю. Автоматический контроль выбросов: опыт применения предсказывающих систем // Компетентность. – 2020. – №9-10. – Рр. 15–21. DOI: 10.24411/1993-8780-2020-10902.
2. ABB: Predictive Emission Monitoring Systems (PEMS). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.abb.com/products/measurement-products/analytical/continuous-gas-analyzers/predictive-emissions-monitoring-systems> (дата обращения: 01.03.2022).
3. Контроль промышленных выбросов автоматическими измерительными системами/под редакцией Л.А. Конопелько и О.Г. Попова. – СПб. – 2021. – 288 с.
4. ARC: What are Emission Monitoring Systems (EMS)? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arcweb.com/blog/what-emission-monitoring-systems-ems> (дата обращения: 01.03.2022).
5. Olli Antson, Tuula Pellikka. Predictive Emission Monitoring Systems, PEMS and their acceptance and use in Europe, research report. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mmeafinalreport.fi/files/MMEA%20WP4%20D4.2.2.5%20Predictive%20Emission%20Monitoring%20Systems%20PEMS%20and%20their%20acceptance%20and%20use%20in%20Europe.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).
6. Predictive Emission Monitoring Systems Market: Global Industry Outlook and Forecast (2021-2027). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/predictive-emission-monitoring-systems-market/126726/> (дата обращения: 01.03.2022).

УДК 504.03

## **БЛАГОПРИЯТНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА КАК ОДИН ИЗ МНОЖЕСТВА ФАКТОРОВ АНАЛИЗА УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ЖИЗНЬЮ СТУДЕНТОВ И СОТРУДНИКОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО**

**Федянина А.<sup>1</sup> (студент), Ермоченко А.И.<sup>1</sup> (студент)**

**Научный руководитель – старший преподаватель Савоскула В.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

e-mail: anastaaa10@mail.ru

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620144 «Разработка функциональных продуктов питания для здорового старения на основе вторичных продуктов переработки молока».*

---

Статья посвящена исследованию вопросов благополучия и удовлетворенности жизнью населения, а также поиску релевантной методики для оценки удовлетворенности в среде Университета ИТМО. В статье рассмотрена, и в соответствии с нынешними реалиями модернизирована методика оценки обобщенного индекса удовлетворенности жизнью, представленная Е.В. Балацким для проведения оценки благополучия и удовлетворенности жизнью студентов и сотрудников Университета ИТМО.

**Ключевые слова:** благополучие, well-being, удовлетворенность жизнью, оценка качества жизни, экология, здоровье.

---

Благополучие имеет основополагающее значение для нашего здоровья и общего счастья. Наличие сильного и осознанного чувства благополучия может помочь нам преодолеть трудности и достичь наших целей в жизни. Исследования показали, что большее чувство благополучия связано с увеличением физических преимуществ, таких как снижение частоты сердечно-сосудистых заболеваний, инсульта и проблем со сном, а также с повышением продуктивности и творчества как на работе, так и в личной жизни [1]. В это непростое время важно позаботиться о своем психическом здоровье и благополучии. Во время пандемии коронавируса население чувствует себя более напряженными, обеспокоенными или тревожными, и им может потребоваться дополнительная поддержка. Работающему населению может потребоваться поддержка новых или более гибких способов работы, таких как работа в разные часы или управление уходом за детьми во время работы и другое. Понимание того, как эти изменения могут повлиять на сотрудников, может помочь создать благоприятную рабочую среду и помочь населению справиться с этими проблемами. Например, продвижение баланса между работой и личной жизнью или поиск наилучшего способа оставаться на связи.

Благополучие – широкое понятие, которое относится не только к психическому и физическому здоровью, но и к более сложным вещам, например, к таким как удовлетворенность и уровень вовлеченности. Целью данной статьи является поиск наиболее релевантной методики оценки благополучия и удовлетворенности жизнью студентов и сотрудников Университета ИТМО на основе методики оценки благополучия людей (англ. well-being).

В ходе исследования был проведен анализ существующих концепций благополучия и методик оценки удовлетворенности жизнью людей, были рассмотрены методики оценки показателей качества жизни Т.В. Гавриловой, Е.В. Балацкого, С.А. Айвазян и других. Также был проанализирован зарубежный опыт оценки качества жизни населения, а именно международный индекс счастья, индекс благополучия, индекс лучшей жизни, индекс

процветания, индекс развития человеческого потенциала, индекс качества жизни, рейтинг группы Mercer Human Resource Consulting. Таким образом, была выбрана методика Е.В. Балацкого «Оценка обобщенного индекса удовлетворенности жизнью» [2]. Методика основана на оценке респондентами удовлетворённости категориями благополучия, и на оценке входящих в категории факторов жизнедеятельности, так как удовлетворенность жизнью является сложным комплексным понятием, аккумулирующим множество факторов и аспектов.

Наибольший интерес из изученных концепций «Well-being» представляет концепция «Wellbeing. The five essential elements», представленная в 2010 году сотрудниками компании «Gallup» Томом Ратом и Джимом Хартером. Gallup провело всестороннее исследование людей в более чем 150 странах и выявило 5 универсальных взаимосвязанных элементов, которые формируют нашу жизнь [3], это здоровье, карьера, финансы, социальные и общественные связи. Анализируя нынешнее положение человечества, за прошедшие десятилетия возросло осознание важности окружающей среды в жизни человека. Доступ к чистой воде и атмосферному воздуху, электрической энергии и другим ресурсам, хорошая экологическая обстановка, обеспечение продовольственной безопасностью являются базовой потребностью цивилизации. Хорошая окружающая среда это один из важных компонентов человеческого благополучия и поэтому целесообразно к модели «Wellbeing. The five essential elements» добавить экологию как один из элементов благополучия.

Первостепенной задачей является определение тех факторов благополучия, которые относятся к экосистеме Университета ИТМО. Также для того, чтобы адаптировать методику Е.В. Балацкого под среду Университета ИТМО было принято решение объединить факторы в категории: здоровье, экология, карьера, финансы, социальные и общественные связи. В таблице представлены выбранные 6 категорий и 25 факторов благополучия для изучения удовлетворенности жизнью населения в среде Университета ИТМО. Сбор данных от студентов и сотрудников университета ИТМО было принято производить в формате Google-опроса. Участники будут оценивать свою удовлетворенность категориями благополучия и различными факторами жизни, а также уровень важности этих категорий.

Таблица. Категории благополучия и их факторы

| № категории | Категория благополучия | № фактора | Фактор                                                                                                                |
|-------------|------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | Здоровье               | 1         | Минимизация государством техногенных катастроф с риском для жизни и здоровья                                          |
|             |                        | 2         | Хорошее здоровье (отсутствие хронических болезней, серьезных и фатальных травм)                                       |
|             |                        | 3         | Хорошая физическая форма                                                                                              |
|             |                        | 4         | Наличие безопасной, комфортной психологической среды обитания                                                         |
|             |                        | 5         | Гармоничные отношения с членами семьи, взаимная любовь и уважение                                                     |
| 2           | Экология               | 6         | Хороший климат и погода (отсутствие стихийных бедствий, затяжных дождей, достаточное количество солнечных дней и др.) |
|             |                        | 7         | Наличие хорошей экологии среды обитания                                                                               |
|             |                        | 8         | Отсутствие экологических проблем среды обитания                                                                       |
|             |                        | 9         | Наличие экологических инициатив и возможностей для развития экологической культуры                                    |

Продолжение таблицы

| № категории | Категория благополучия | № фактора | Фактор                                                                                                                                          |
|-------------|------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3           | Карьера                | 10        | Наличие трудовой деятельности, приносящей удовольствие и материальное благополучие                                                              |
|             |                        | 11        | Наличие реальных возможностей для реализации потенциала                                                                                         |
|             |                        | 12        | Наличие хорошего, плодотворного досуга, приносящего удовлетворение (наличие свободного времени и способов его эффективного использования и др.) |
|             |                        | 13        | Наличие свободного времени и способов его эффективного использования                                                                            |
| 4           | Финансы                | 14        | Наличие комфортного жилья, одежды, питания и т.д.                                                                                               |
|             |                        | 15        | Наличие возможности обеспечить себе и своей семье образование, медицинское обслуживание                                                         |
|             |                        | 16        | Финансовая грамотность                                                                                                                          |
|             |                        | 17        | Наличие финансовой стратегии                                                                                                                    |
| 5           | Социальные связи       | 18        | Достойный социальный статус (уважаемая профессия, солидная должность, наличие квалификационных степеней, наград и др.)                          |
|             |                        | 19        | Наличие возможности самовыражения на работе/учебе                                                                                               |
|             |                        | 20        | Наличие эффективных неформальных социальных контактов (дружба, общение, взаимопонимание и др.)                                                  |
|             |                        | 21        | Наличие развитой социальной инфраструктуры                                                                                                      |
| 6           | Общественные связи     | 22        | Социальная стабильность, уверенность в будущем                                                                                                  |
|             |                        | 23        | Личная и семейная безопасность                                                                                                                  |
|             |                        | 24        | Наличие общественной и политической свободы                                                                                                     |
|             |                        | 25        | Наличие возможности самовыражения в общественной жизни                                                                                          |

На данный момент приоритетными направлениями исследования являются:

1. Определение сходств и/или различий уровня благополучия по гендерному распределению.
2. Выявление зависимости уровня благополучия от возрастного критерия.
3. Выявление зависимости уровня благополучия от социального статуса.
4. Выявление зависимости уровня благополучия от удаленности места проживания респондентов от зеленых насаждений.

В соответствии с методикой Е.В. Балацкого в первую очередь необходимо оценить уровень удовлетворенности студентов и сотрудников Университета ИТМО каждым фактором. Также необходимо определить индексы значимости каждой категории для студентов и сотрудников. Помимо этого, для «слияния» всех категорий в обобщенный индекс удовлетворенности жизнью необходимо перейти к весовым коэффициентам важности каждой категории. Для расчёта значения вклада каждой категории в формирование итоговой величины обобщенного индекса удовлетворенности жизнью. Результаты расчетов будут приведены в табличном виде, проанализированы и классифицированы.

Результаты данного исследования будут представлены на Конгрессе Молодых Ученых 2022. Дальнейшей задачей в исследовании благополучия в Университете ИТМО является создание всеобъемлющей методики оценки благополучия студентов и сотрудников в

Университете ИТМО, а также продолжение изучения благополучия людей на более глубоком уровне в рамках проекта «Счастье в учебной и трудовой деятельности» и Стратегического проекта №4 «Университет счастья».

### **Литература**

1. The Importance of Wellbeing. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://starjumpz.com/the-importance-of-well-being/> (дата обращения: 15.01.2022).
2. Балацкий Е.В. Факторы удовлетворенности жизнью: измерение и интегральные показатели // Мониторинг общественного мнения. – 2005. – №4(76). – С. 42–52.
3. James K. Harter, Jim Harter, and Tom Rath Wellbeing: The Five Essential Elements. – Gallup Press. – 2010. – 240 p.

УДК 543.424.2

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПЕКТРА

*Хамзина А.М.<sup>1</sup> (студент), Карпова Н.Г.<sup>1</sup> (студент), Фахртдинова С.З.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук Кустикова М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: khamzina.am@gmail.com*

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».*

---

В данной работе были рассмотрены теоретические основы и принципы спектроскопии комбинационного рассеяния. Была проведена аналогия с инфракрасной спектроскопией и выявлены преимущества и недостатки. Также в работе описаны принципы интерпретации спектра и в качестве дополнения приведены схемы установок, работающих по принципу рамановского рассеяния.

**Ключевые слова:** комбинационное рассеяние (КР), рамановская спектроскопия, интерпретация спектра, спектрометр, рамановский микроскоп.

---

Спектроскопия комбинационного рассеяния или рамановская спектроскопия (РС) позволяет получать информацию о структуре молекул. В результате анализа положения и интенсивности полос в спектре можно идентифицировать химические компоненты (определять природу вещества) или изучить внутримолекулярные взаимодействия, наблюдая положение и интенсивность полос в КР спектре.

Принцип РС заключается во взаимодействии лазерного луча с длиной волны в УФ-видимой или ближней инфракрасной (ИК) области с молекулами образца. Рассеянное излучение обычно наблюдается в направлении, перпендикулярном падающему излучению. Молекула испускает излучение при взаимодействии с падающим излучением той же частоты, как падающее излучение, называемое Рэлеевское рассеяние. Молекула также испускает излучение с частотами  $\nu_0 + \nu_m$  и  $\nu_0 - \nu_m$  так называемое комбинационное рассеяние. Фотоны лазерного луча взаимодействуют с молекулами образца и переводят электроны из основного состояния в более высокое энергетическое состояние (виртуальный уровень). Впоследствии он возвращается в основное состояние с одновременным испусканием фотонов.

Рассеянное излучение бывает двух видов:

- 1) Рэлеевское рассеяние – таким образом, рассеивается большинство фотонов (очень интенсивный процесс). При переходе в основное энергетическое состояние фотон испускается с той же частотой, что и падающее на него излучение  $\nu_0$ . Процесс не предполагает никаких изменений. Рассеяние не несет никакой материальной информации, потому что оно не меняет длину волны или частоту излучения.
- 2) Комбинационное рассеяние – очень слабый процесс, около  $10^{-5}$  падающего излучения с частотой  $\nu_0 \pm \nu_m$  рассеивается. Молекула находится в фундаментальном колебательном состоянии; электрон возбуждается до виртуального уровня после взаимодействия с излучением. После возбуждения электрон возвращается на более высокий энергетический уровень, чем тот, с которого он был возбужден. Это означает, что молекула поглотила



определенное количество энергии, в результате чего излучение испускается с большей длиной волны, чем излучение возбуждения. Этот процесс называется Стоксово рассеяние ( $\nu_0 - \nu_m$ ).

Некоторые молекулы могут находиться в колебательно-возбужденном состоянии, в состоянии с более высокой энергией, чем в основном состоянии, что может быть связано с тепловым возбуждением, контролируемым распределением Больцмана. С этого уровня электроны возбуждаются на виртуальный уровень и возвращаются на более низкий энергетический уровень, чем исходное состояние с одновременным испусканием фотона. Излучение испускается на более короткой длине волны. Рассеяние называется антистоксовым ( $\nu_0 + \nu_m$ ). Антистоксово рассеяние значительно слабее, чем стоксово рассеяние, но имеет преимущество то, что на него меньше влияет люминесцентный фон.

Этот спектроскопический метод использует изменения энергии рассеянного монохроматического излучения для получения информации о молекулярных колебаниях и выяснения состава, структуры и идентификации веществ, например, путем сравнения с библиотеками спектров или интерпретации конкретных колебательных полос с использованием комбинационных и инфракрасных таблиц для характеристических колебаний функциональных групп (качественное определение). Образцы также могут быть проанализированы количественно. Очень часто спектры КР классифицируют с помощью хемометрических методов; например, методом «Частичные наименьшие квадраты (PLS) или анализ главных компонент (РСА)». РС позволяет анализировать: твердые образцы – кристаллические и аморфные материалы, такие как полимеры, минералы, металлы, полупроводники, пигменты и т.д.; жидкие образцы – чистые жидкости, водные растворы (могут возникнуть проблемы с определением аналита при очень низкой концентрации) и неводные растворы; газообразные пробы – анализ в специальных ячейках. Он также используется при анализе поверхностей, таких как тонкие пленки, датчики, электроды, при анализе биологических систем, фармацевтики и медицины и т.д.

Рамановское рассеяние – очень слабый эффект, обычно 1 из  $10^6$ – $10^8$  возбужденных фотонов приводит к одному фотону комбинационного рассеяния. В состав спектрометра входят фильтры, отсеивающие рэлеевское рассеяние, интенсивность которого примерно в  $10^5$ – $10^{12}$  раз выше интенсивности КР. Если при измерении органических веществ использовать возбуждающие лазеры с более короткой длиной волны (например, 455 нм), то в спектрах очень часто проявляется доминирующий эффект флуоресценции, перекрывающий комбинационное рассеяние. Обычно рекомендуется использовать лазерные источники с более длинной длиной волны (780 нм и 1064 нм) или применять коррекцию эффекта флуоресценции, доступную в большинстве программ для РС.

Спектроскопия комбинационного рассеяния или микроскопия считается относительно быстрым методом, так как обычно не требует специальной пробоподготовки и использования экологически вредных растворителей. Образцы можно измерять в стекле или других прозрачных материалах (таких как кварцевые или полимерные флаконы), а также можно использовать оптические материалы. Водные растворы можно измерять методом КР, так как вода проявляется в спектре КР только слабыми полосами, в отличие от ИК-спектроскопии. Как уже упоминалось, эффект комбинационного рассеяния гораздо менее вероятен, поэтому в качестве источников излучения используются лазеры, достигающие больших мощностей (порядка десятков-сотней мВт). Поэтому необходимо оптимизировать мощность лазера, чтобы избежать деградации образца во время измерения или других изменений образца.

Спектр комбинационного рассеяния состоит из пар линий, систематически расположенных вокруг линии упруго рассеянного рэлеевского рассеяния. Область более низких частот относится к стоксовому рассеянию, а область более высоких частот принадлежит антистоксовому рассеянию. На практике обычно измеряют спектры в стоксовой области, поскольку в этой области спектры имеют значительно большую интенсивность. Разность между энергией падающего фотона и энергией рассеянного фотона называется Рамановский сдвиг. Другими словами, мы измеряем частоту вибрации  $\nu_m$  как сдвиг от частоты

падающего луча  $\nu_0$ . Рамановский сдвиг показан на ось  $x$  в спектре. Единицей комбинационного сдвига является волновое число ( $\text{см}^{-1}$ ), это обратная длина волны ( $1/\lambda$ ). Оно зависит от строения и колебательных свойств молекул, и наоборот, не зависит от частоты возбуждающего лазера. Интенсивность комбинационного рассеяния отдельных колебаний отложена по оси ординат. Спектр КР с соответствующими величинами показан на рисунке 1. Интенсивность полос КР обратно пропорциональна квадрату длины волны возбуждающего излучения. Рамановский спектр проще по сравнению с ИК-спектром.

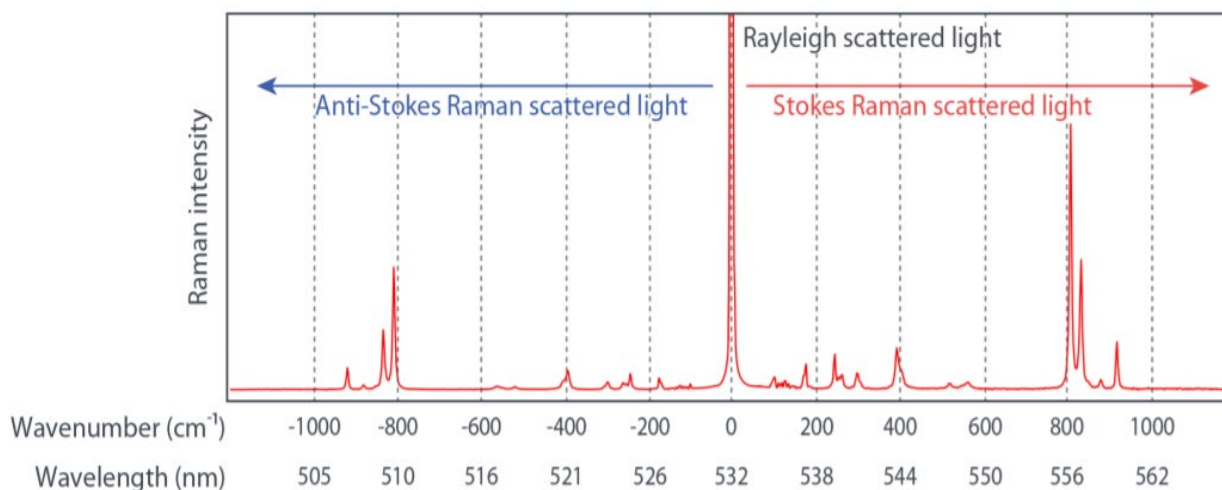


Рис. 1. Спектр комбинационного рассеяния с длиной волны возбуждения 532 нм

Спектры комбинационного рассеяния предоставляют информацию о колебательных и вращательных движениях молекул. Частота нормальных колебательных мод зависит от прочности связи (типа химической связи) и массы атомов, т. е. от основных параметров, описывающих строение молекулы. Однако, частоты колебаний не зависят от того, изучаем ли мы рамановскую или ИК-спектроскопию, но различаются интенсивностью отдельных спектральных линий. Поэтому отнесение полос к отдельным колебаниям производится аналогично как в ИК средней области [1].

То, какие колебания возникают в рамановском или инфракрасном спектрах, связано с симметрией молекул и симметрией отдельных колебательных движений. Возникновение линии КР и ее интенсивность связаны с изменением поляризуемости. Поэтому в спектре КРС появляются интенсивные полосы для симметричных колебаний и колебаний в фазе, а не для антисимметричных колебаний и в противофазе. Молекулы низкой симметрии, где элементом симметрии является только «тождество», имеют полосы всех колебаний, наблюдаемых в КР и ИК спектрах, но с разной интенсивностью. У молекул с высокой симметрией спектры комбинационного рассеяния и ИК комплементарны друг другу. Таким образом, к молекулам с центром симметрии применим принцип альтернативного запрета, то есть колебательные полосы, видимые в спектре КР, запрещены в ИК-спектре и наоборот. Полностью симметричные колебания активны только в спектре КР и неактивны в ИК.

Колебания кратных симметричных связей в основном проявляются в спектрах КР ( $-\text{C} \equiv \text{C}-$ ,  $-\text{C}=\text{C}-$ ,  $-\text{N}=\text{N}-$ ) и симметрично замещенных группах и скелетах молекул. В то время как полосы колебаний со значительным изменением дипольного момента интенсивны в инфракрасных спектрах; колебания полярных полос, например  $-\text{OH}$ ,  $-\text{C}=\text{O}$ ,  $-\text{NO}_2$ .

Симметрично замещенная тройная связь обычно имеет очень сильную полосу валентного колебания  $\text{C} \equiv \text{C}$  в области  $2260 - 2160 \text{ см}^{-1}$ , а несимметрично замещенные связи  $\text{C} \equiv \text{C}$  находятся в области  $2180 - 2100 \text{ см}^{-1}$ . Следовательно, можно идентифицировать несколько тройных связей в одной молекуле. В спектрах КР двойная связь  $\text{C}=\text{C}$  также заметно проявляется своим валентным колебанием в области  $1690 - 1630 \text{ см}^{-1}$  для несопряженных алкенов, а для сопряженных алкенов в диапазоне  $1660 - 1580 \text{ см}^{-1}$ . Слабые колебательные полосы проявляются связью  $\text{C}=\text{O}$  (кетон, эфир и амид). Комбинируя рамановскую

и ИК-спектроскопию, можно однозначно отнести определенные полосы из диапазона  $1750 - 1580 \text{ см}^{-1}$  к колебаниям  $\text{C} = \text{O}$  и  $\text{C} = \text{C}$  или для определения другого происхождения полосы. Другой важной симметричной функциональной группой является валентное колебание  $\text{SS}$  ( $500 - 545 \text{ см}^{-1}$ ), что характерно для дисульфидных мостиков, например, наблюдаемых при изучении полипептидов и белков. РС также можно охарактеризовать технически значимыми элементарными материалами, например углеродными материалами (графитовые слои, сажа, природные и искусственные алмазы) и кремниевыми материалами (электроника). Кроме того, можно изучать неорганические материалы, содержащие тяжелые элементы (коррозионно-активные оксиды, (ди)сульфидные слои).

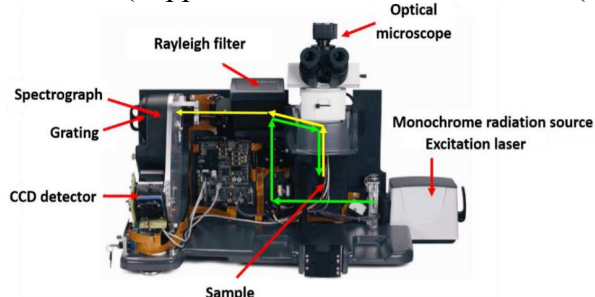


Рис. 2. Дисперсионный конфокальный рамановский микроскоп Nicolet DXR

Моторизованный XY столик помещается в пространство для образца микроскопа, что позволяет выполнять измерения с шагом до  $0,1 \text{ мкм}$ . В состав микроскопа также входит адаптер для измерения макрообразцов в кювете с объективом с четырехкратным увеличением. Рамановский микроскоп управляется программным обеспечением OMNIC для рамановских спектрометров DXR.

Основной частью рамановского спектрометра является источник возбуждающего излучения (лазер). Лазеры чаще всего используются в области видимого, ближнего ИК или УФ длин волн. Спектрометр также содержит предметный столик, оптику, обеспечивающую сбор излучения и его проведение от источника к образцу и от образца к детектору (рис. 3). По используемой оптической системе спектрометры комбинационного рассеяния подразделяются на дисперсионные (содержит диспергирующий элемент, такой как сетка) и спектрометры с преобразованием Фурье, так называемые ФТ-рамановские спектрометры. Рамановский спектрометр также включает в себя фильтр, позволяющий отфильтровывать сигнал Рэля. Для этой цели используются голографические режекторные фильтры, краевые фильтры или простые премонохроматоры.

При фильтрации рассеянного излучения также происходит потеря информации в области рамановских сдвигов  $\pm 100 \text{ см}^{-1}$ , таким образом, вокруг положения линии лазера возбуждения. Однако, приборы с лучшим разрешением позволяют измерять спектры до  $10 \text{ см}^{-1}$ . Детекторы рассеянного излучения применяются в зависимости от типа спектрометра [2].

Одним из основных преимуществ прибора на основе дисперсионного рамановского рассеяния является то, что он предлагает возможность выбора оптимальной длины волны лазерного возбуждения, позволяющей записывать наилучшую рамановскую информацию. Например, длина волны может быть выбрана так, чтобы обеспечить наилучший резонанс с исследуемым образцом.

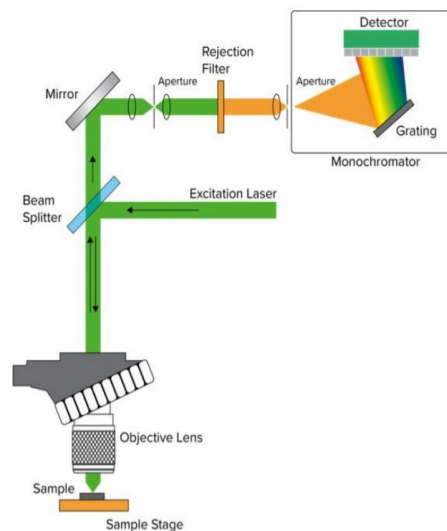


Рис. 3. Оснащение рамановского дисперсионного микроскопа

Уникальность метода идентификации молекул различных веществ, основанного на комбинационном рассеянии, позволит обнаруживать вещества, отнесенные к парниковым газам. Принципы рамановской спектроскопии будут взяты за основу при разработке прибора в рамках научного проекта «Разработка и исследование цифрового анализатора фреонов».

### **Литература**

1. Cialla-May D., Schmitt M., Popp J. Theoretical principles of Raman spectroscopy. *Physical Sciences Reviews*. – 2019. – №4(6). DOI: 10.1515/psr-2017-0040.
2. Ferraro J.R., Nakamoto K., Brown C.W. Chapter 1 – Basic Theory, in: *Introductory Raman spectroscopy*. (Second E. Brown (Eds.), Academic Press. – 2003. – 94 p. DOI:10.1016/B978-0-12-253990-9.50005-7.

УДК 620.92

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Хохол Е.А.<sup>1</sup> (студент)*

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

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: zhenyaxohol@mail.ru, aedidikov@ifmo.ru*

---

В данной работе проанализирована современная энергетическая ситуация в Ленинградской области. Определены возможности применения теплонасосных установок для обеспечения тепловой энергией объектов. Также рассмотрены основные проблемы, мешающие развитию отрасли в субъекте и обозначены основные пути их решения.

**Ключевые слова:** энергетика, возобновляемые источники энергии, тепловой насос, Ленинградская область, теплотехника.

---

В настоящее время Ленинградская область является субъектом Российской Федерации, имеющим проблемы в сфере теплоснабжения небольших поселений. Во многом данный факт обуславливается не полным покрытием территории региона газоматриальной сетью. По данным ПАО «Газпром» уровень газификации субъекта составляет 69% [1]. Данный факт создает проблему отопления объектов в некоторых районах. В случаях отсутствия магистрального газа для отопления выбираются способы, требующие использования твердого топлива, которые в свою очередь не эффективны с экологической и экономической точки зрения. Решением проблемы теплоснабжения таких поселений является технология теплового насоса.

Принцип технологии теплового насоса (ТН) заключается в использовании энергии и ее переносе от источника низкопотенциальной тепловой энергии к потребителю с высокой температурой. Работа теплонасосной установки (ТНУ) обуславливается законами физики, которые гласят, что любое тело с температурой выше нуля, обладает тепловой энергией.

ТНУ представляет из себя систему источников тепла, сам тепловой насос, а также распределительную и накопительную системы. Работа системы совершается в замкнутом цикле, в котором хладагент поочередно переходит из одного агрегатного состояния в другой с передачей или поглощением тепла при этом.

Тепловые насосы являются универсальной системой и способны поглощать накопленную солнечную энергию из тепловых тел вне зависимости от времени года и погодных условий. В таблице представлена эффективность применения теплового насоса в зимнее время для территории Ленинградской области.

Также универсальность ТНУ заключается в возможности совмещения системы с другими системами отопления и способности нагрева воды для бытовых нужд.

Экономическая выгода при использовании теплового насоса, в качестве системы для отопления, определяется отношением стоимости 1 кВт-час электрической энергии, потраченной на функционировании теплового насоса, к стоимости 1 кВт-час энергии, выделенной при использовании топлива [3].

Рассматривая ТНУ как технологию, использующую возобновляемые ресурсы, то можно сказать, что такие установки подходят под общепринятое определение, так как в результате её работы отсутствует выброс загрязняющих веществ в атмосферу и не происходит накопления отходов.

Таблица. Эффективность работы ТНУ при различных температурах [2]

| Температура, °С | Продолжительность темп. градаций, час | Теплопотери, кВт | Тепловой насос (потр. энергия), кВт*ч | COP теплового насоса* |
|-----------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| -20             | 30                                    | 7                | 164                                   | 2,24                  |
| -19             | 31                                    | 6,8              | 89                                    | 2,26                  |
| -18             | 39                                    | 6,6              | 42                                    | 2,29                  |
| -17             | 40                                    | 6,4              | 0                                     | 2,32                  |
| -16             | 62                                    | 6,1              | 0                                     | 2,35                  |
| -15             | 61                                    | 5,9              | 0                                     | 2,39                  |
| -14             | 70                                    | 5,7              | 0                                     | 2,43                  |
| -13             | 70                                    | 5,5              | 0                                     | 2,48                  |
| -12             | 96                                    | 5,2              | 0                                     | 2,53                  |
| -11             | 97                                    | 5                | 0                                     | 2,59                  |
| -10             | 109                                   | 4,8              | 0                                     | 2,65                  |
| -9              | 110                                   | 4,5              | 0                                     | 2,7                   |
| -8              | 158                                   | 4,3              | 0                                     | 2,77                  |
| -7              | 158                                   | 4,1              | 0                                     | 2,86                  |
| -6              | 188                                   | 3,9              | 0                                     | 2,9                   |
| -5              | 188                                   | 3,6              | 0                                     | 2,96                  |
| -4              | 219                                   | 8,2              | 0                                     | 3,03                  |
| -3              | 219                                   | 8                | 0                                     | 3,09                  |
| -2              | 293                                   | 7,7              | 0                                     | 3,15                  |
| -1              | 294                                   | 7,5              | 0                                     | 3,21                  |
| 0               | 438                                   | 7,3              | 0                                     | 3,28                  |
| <b>Итого</b>    |                                       |                  | <b>5263</b>                           | <b>3,03</b>           |

\*COP – коэффициент производительности системы теплового насоса

Принимая во внимание уникальные свойства технологии, высокий энергосберегающий эффект, отсутствие негативного влияния на окружающую среду и безопасность при эксплуатации, то можно сказать, что вариативность использования тепловых насосов растёт. Преимуществом использования данной технологии обуславливается минимальными расходами на содержание установки, что сильно сказывается на уровне комфорта для лиц.

Теплонасосные установки подразделяются на несколько видов, исходя из используемого вида теплоносителя. Выделяют ТНУ:

- «грунт-вода»;
- «вода-вода»;
- «воздух-вода»;
- «грунт-воздух»;
- «вода-воздух»;
- «воздух-воздух».

Выбор источника низкопотенциальной теплоты будет влиять на эффективность теплового насоса, так как повышение эффективности происходит при снижении разности температуры конденсации и температуры кипения рабочего вещества. Для Ленинградской области наиболее популярными и простыми системами являются «грунт-вода», «вода-вода» и «грунт-воздух». Выбор данных типов тепловых насосов обусловлен приемлемыми климатическими характеристиками региона, позволяющими применять установку. На рисунках 1, 2, 3 приведены данные по среднемесячной температуре атмосферного воздуха, температуре поверхностной воды в водных объектах и температура грунта на разных глубинах Ленинградской области.

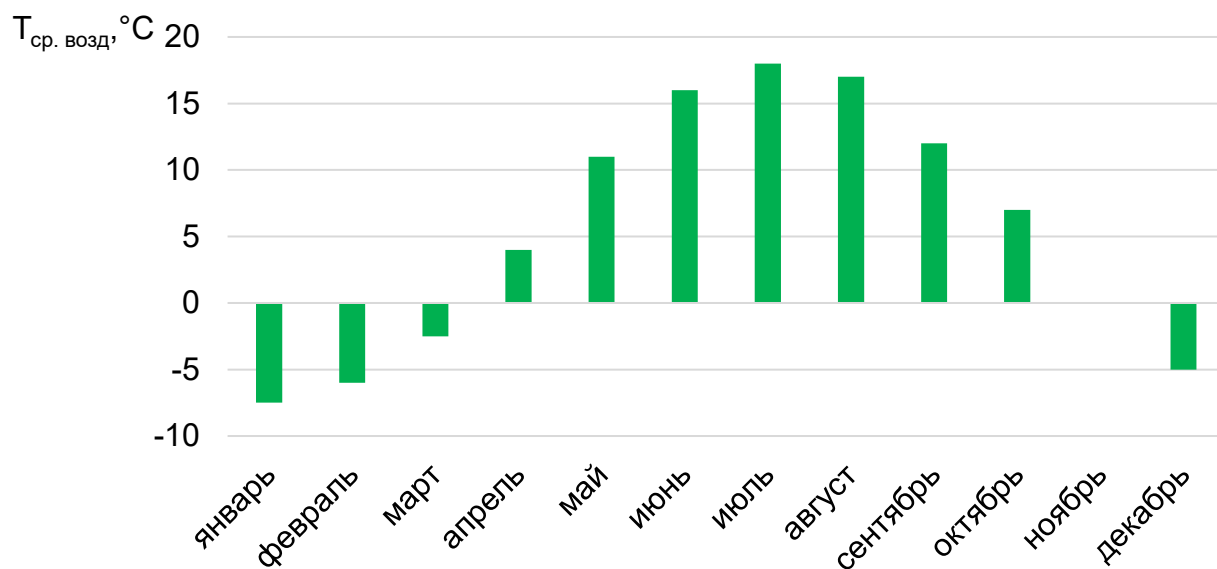


Рис. 1. Среднемесячная температура атмосферного воздуха [4]

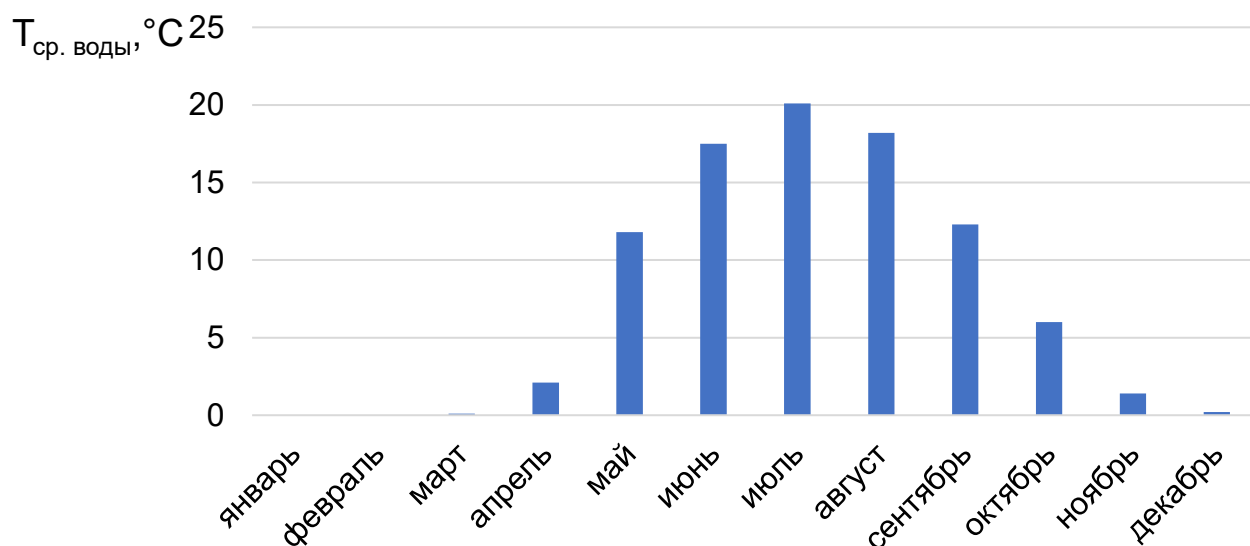


Рис. 2. Среднемесячная температура поверхностной воды Ленинградской области [5]

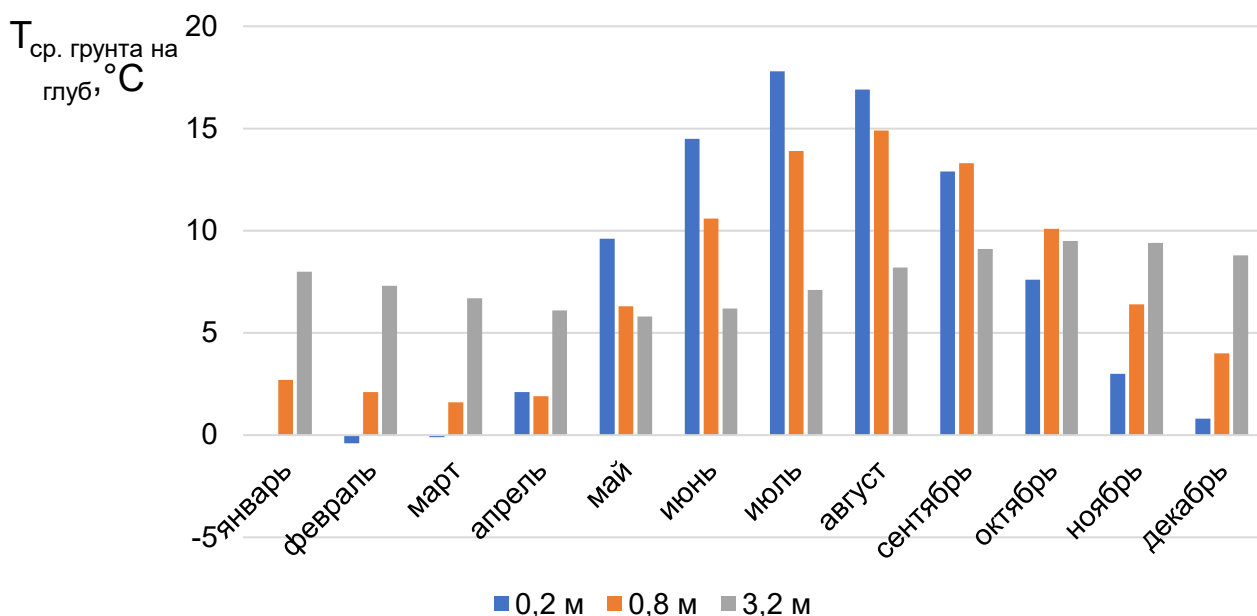


Рис. 3. Среднемесячная температура грунта Ленинградской области на разных глубинах [6]

Наиболее доступным источником низкопотенциального тепла является атмосферный воздух, однако, его использование плотно зависит от погодных условий. Более стабильным естественным источником является температура грунта, так как из-за физических свойств почва меньше подвержена потере тепла. Однако, применение такого типа теплового насоса сопряжено с необходимостью делать коллекторы для погружения контуров на глубину, что сказывается на итоговой стоимости проекта.

Помимо естественных источников тепла существует также возможность использовать тепловые отходы, полученные в результате антропогенной деятельности человека. Так, например, бюро наилучших доступных технологий в своём информационно-техническом справочнике по НДТ ИТС 48-2017 отмечает ТНУ как технологию источник низкопотенциальной энергии и рекомендует для использования исключительно для промышленных объектов, где происходят масштабные выбросы теплого пара/воды или происходит накопление теплых отходов производства. В результате утилизации тепла полученную тепловую энергию можно направить на отопление как производственных помещений, так и объектов за пределами промышленных предприятий [7].

Помимо использования тепловых ресурсов промышленных объектов существует возможность эффективного применения тепла канализационных стоков. Использование такого ресурса приемлемо по причине стабильно высокой температуры на протяжении отопительного сезона.

Реализация обозначенных перспектив не происходит по большей части из-за незаинтересованности правительства Российской Федерации в оказании поддержки развития возобновляемых источников со стороны государства. Данный факт обуславливается наличием богатой минерально-сырьевой базы традиционных источников энергетики на территориях страны, реализация которой является более экономически выгодной по сравнению с внедрением ТНУ, однако, использование которых не эффективно с экологической точки зрения и не способно обеспечить автономную работу системы.

Если сравнивать Ленинградскую область с территориями, имеющими схожие климатические условия, то можно выделить основные факторы, благодаря которым происходит широкое внедрение тепловых насосов в качестве источника теплоснабжения различных объектов:

- 1) отсутствие обширной ресурсной базы традиционных источников энергетики, а также желание снизить зависимость от поставок этих ресурсов;
- 2) забота об экологической ситуации и снижение выбросов парниковых газов для уменьшения эффекта глобального потепления;
- 3) развитие данной отрасли открывает возможность к увеличению рабочих мест, а также к развитию смежных областей;
- 4) развитие научного сектора государства в процессе модернизации отрасли.

Пример грамотной регулировки сектора ТНУ в энергетической отрасли страны можно увидеть на примере скандинавских стран. Рост потребности в электроэнергии, опережающий темпы производства, в совокупности с курсом на защиту окружающей среды побудило Финляндию к переходу на отопление жилых и социальных объектов с помощью тепловых насосов. В настоящий момент рынок ТНУ в этой стране активно расширяется и за последние 10 лет количество установленных систем выросло в 2 раза. На рисунке 4 отражена динамика использования ТН в Финляндии.

Анализируя график, можно сказать, что основным источником низкопотенциальной энергии для ТН в Финляндии стал атмосферный воздух. Это обуславливается тем, что тепловые насосы типа «воздух-воздух» или «воздух-вода» являются более эффективны с экономической и энергетической точки зрения. Установка ТНУ таких типов является более энергетически эффективна для регионов с относительно низкой среднемесячной температурой атмосферного воздуха. Экономическая эффективность заключается в отсутствии необходимости масштабных денежных вложений в процессы монтажа и эксплуатации.



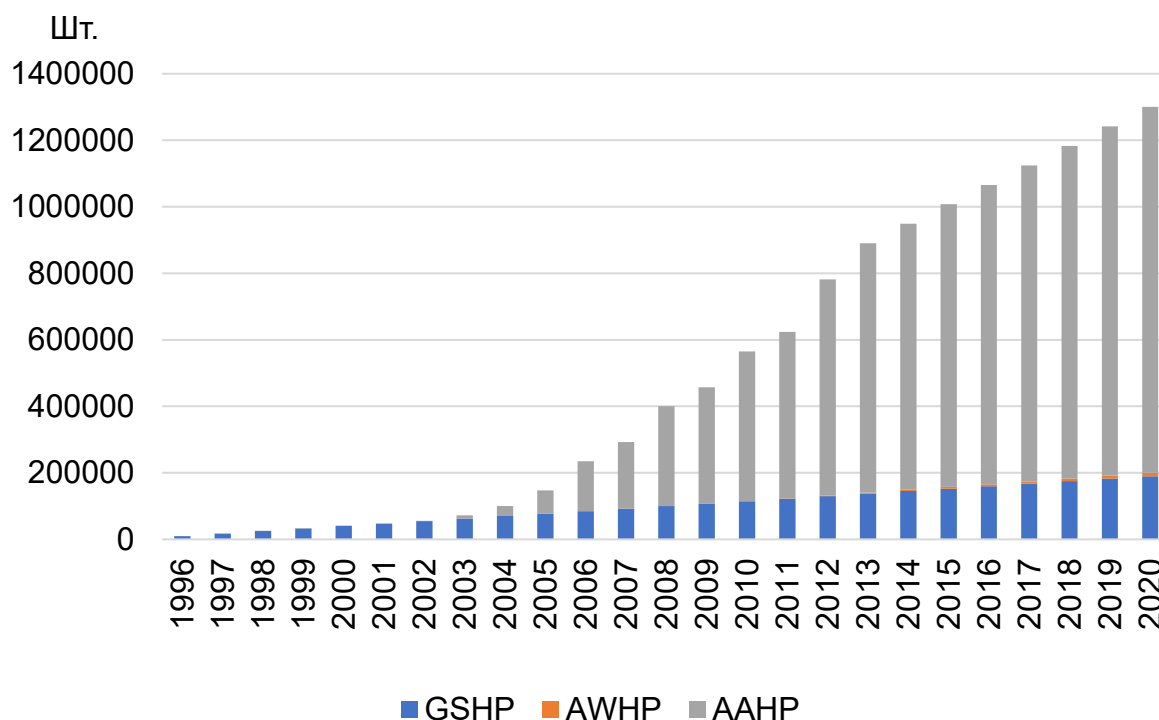


Рис. 4. Увеличение применения ТНУ в Финляндии [8]

Швеция - еще одно государство, климатические условия которой сходны с условиями Ленинградской области. Увеличение использования ТНУ в Швеции связано прежде всего с увеличением цен на нефть, в результате чего стало выгодно применять технологию. Положительная тенденция развития также коррелирует с субсидированием данного сектора правительством, в итоге ежегодный объем продаж устойчив и составляет 10 – 15% в год. Данный факт хорошо иллюстрирует важность прямой или косвенной поддержки от государства для развития экономически эффективной технологии.

Канадский опыт внедрения тепловых насосов примечателен тем, что при условии богатого наличия ископаемых ресурсов, а также дешевизне электроэнергии, получаемой от большого количества атомных и гидроэлектростанций, страна взяла курс на поддержку внедрения технологии. Государство предоставляет скидку для частных домохозяйств на установку теплового насоса или замену отопительных котельных. В 2021 году учрежденная правительственная программа «Clean BC Better Homes» удваивала получаемые скидки. Проводимая государственная политика позволила увеличить количество домохозяйств, использующих технологию теплового насоса до 10% в 2020 году, по сравнению с 3% в 2007 году [9].

Опыт зарубежных стран показывает, что активная поддержка правительства, в плане внедрения экономических механизмов стимулирования, может стать рычагом, позволяющим решить проблемы, с которыми сталкивается технология теплового насоса при внедрении.

Опыт применения ТНУ в России невелик, однако, их применение в регионах с подходящими климатическими условиями целесообразно. Учитывая существующие преимущества технологии, можно сказать, что широкое распространение технологии и поддержка со стороны государства позволит обеспечить дешевой тепловой энергией многие объекты, удаленные от проведенных веток газоматриалей, что существенно повлияет на совершенствование технологии, появление производственной отечественной базы и повышение их рентабельности.

## Литература

1. Дорогие газопроводы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/press/news/reports/2012/transportation-economical/> (дата обращения: 02.12.2021).

2. Расчёт экономической эффективности систем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.mitsubishi-aircon.ru/software/calc\\_efficiency/gsl8\\_index.php/](https://www.mitsubishi-aircon.ru/software/calc_efficiency/gsl8_index.php/) (дата обращения: 03.12.2021).
3. Дидиков А.Е., Использование теплонасосных систем в коммунальном теплоснабжении Ленинградской области // VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». Материалы конференции. – 2015. – №2. – С. 389–391.
4. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения: 16.12.2022).
5. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива срочных об основных метеорологических параметрах на станциях России». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters> (дата обращения: 16.12.2022).
6. Веселов В.М., Прибыльская И.Р. «Описание массива данных среднемесячной температуры почвы на глубинах до 320 см (ежедневные данные)». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/164-soil-temperature#доступ-к-данным> (дата обращения: 16.12.2022).
7. ИТС 48-2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://burondt.ru/index/its-ndt.html> (дата обращения: 02.12.2022).
8. Hirhoven J. Finland: Heat Pump Market Outlook // The Finnish Heat Pump Association. – 2021. – V.39. – №1. – Рр. 1–3.
9. Тепловые насосы. Ежемесячный дайджест мировых новостей №10. – М.: Изд-во Инсолар. – 2021. – 14 с.

УДК 664.14

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА ДРОЖЖЕВОГО БЕТА-ГЛЮКАНА В ТЕХНОЛОГИИ ЗЕФИРА

*Чаплина А.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Иванова В.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: Inast@mail.ru*

---

В данной работе рассматривается применение концентрата дрожжевого бета-глюкана в технологии зефира. Сделаны выводы о влиянии бета-глюкансодержащих концентратов на реологические и органолептические характеристики готовых изделий.

**Ключевые слова:** технология зефира; концентрат дрожжевого бета-глюкана, пищевые волокна, реологические характеристики зефира, органолептические характеристики зефира.

---

Современный образ жизни, снижение физической активности, стрессы, недостаток сна и неправильное питание делают проблему снижения иммунитета довольно распространенным явлением среди взрослого населения. Несбалансированное питание с недостатком потребляемых пищевых волокон приводит к нарушению баланса кишечной микрофлоры человека и влечет за собой проблемы со здоровьем. Данное исследование направлено на разработку рецептуры и технологии кондитерского изделия, обогащенного ингредиентом с выраженными пребиотическими свойствами [1].

В качестве продукта, обогащенного пищевыми волокнами, в работе предложено кондитерское изделие - зефир, в рецептуру которого введен концентрат дрожжевого бета-глюкана. Зефир используется в диетическом питании, улучшая работоспособность ЖКТ, усиливая перистальтику и способствуя выведению продуктов метаболизма. Продукт улучшает мозговую деятельность за счет наличия в составе быстрых углеводов, помогает бороться с патогенной микрофлорой кишечника, главным образом за счет поддержания здоровой микрофлоры. Пектин и агар-агар насыщают организм пищевыми волокнами, витаминами и минералами.

Калорийность зефира составляет 326 ккал на 100 г продукта [2]. Большое количество зефира употреблять не рекомендуется – суточная норма составляет не более 100 г. При соблюдении овощной диеты, а также исключении из рациона выпечки и любых быстрых углеводов, разрешается увеличить количество данного изделия до 200 г [3].

Интерес потребителей к зефиру высок и платежеспособность людей позволяет приобретать данный продукт, так как он не является дорогостоящим изделием. При добавлении бета-глюкансодержащего концентрата, зефир приобретет еще больше полезных качеств и сможет составить конкуренцию представленным на рынке изделиям.

Бета-глюкан — это полисахарид природного происхождения, состоящий только из молекул глюкозы. Бета-глюкан содержится в клеточных стенках бактерий, лишайников, грибов, дрожжей, водорослей, а также в клеточных стенках овса и ячменя. Свойства бета-глюкана зависят от источника его происхождения. Бета-глюкан дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* известен за свои иммуномодуляторные и противовоспалительные свойства, способность снижать уровень сахара и холестерина, а также благотворно влиять на состав кишечной микрофлоры человека [4].

В ходе данного исследования получение бета-глюкансодержащего концентрата вели из сухих хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, по методике, предложенной Ивановой В.А. [5]. Концентрат готовили в два этапа: на первом этапе были получены клеточные стенки хлебопекарных дрожжей, на втором проведен их направленный ферментоллиз. Концентрат сушили на распылительной сушилке EYELA SD-1000 (Eyela, Япония). Готовый бета-глюкансодержащий концентрат использовали в технологии зефира. Готовое кондитерское изделие исследовали по реологическим и органолептическим показателям.

На рисунках 1 и 2 представлены фотографии зефира, приготовленного с и без добавления концентрата дрожжевого бета-глюкана. При оценке внешнего вида изделий на срезе было отмечено, что готовые изделия с добавлением концентрата бета-глюкана имеют более влажную консистенцию, что не соответствует требованиям нормативной документации. Причиной этому может быть действие бета-глюкана, так как данный полисахарид способен оказывать влияние на реологические характеристики, придавая продуктам новые свойства (например, повышение вязкости фруктовых и овощных пюре). В таблице представлены результаты исследований органолептических характеристик.



Рис. 1. Фотография зефира без и с концентратом бета-глюкана

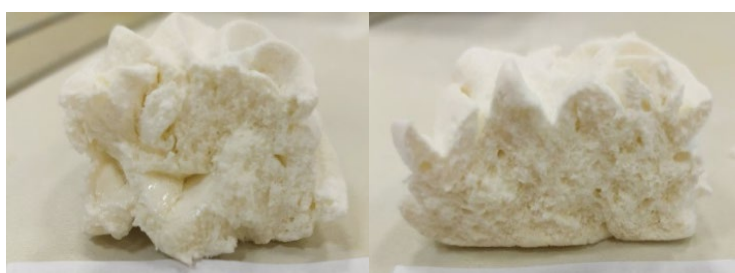


Рис. 2. Фотография внешнего вида изделий с (слева) и без (справа) применения концентрата бета-глюкана на срезе

Таблица. Результаты органолептической оценки образцов

| Органолептические показатели | Зефир по ГОСТ 6441-2014                                                        | Зефир без концентрата бета-глюкана                 | Зефир с концентратом бета-глюкана                           |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Форма и поверхность          | Без деформаций. Без грубого затвердевания на боковых гранях и выделения сиропа | Соответствует ГОСТ                                 | Соответствует ГОСТ                                          |
| Цвет                         | Свойственный зефиру, равномерный.                                              | Белый, соответствует ГОСТ                          | Белый, соответствует ГОСТ                                   |
| Вкус                         | Свойственный зефиру с учетом вкусовых добавок, без постороннего привкуса       | Соответствует ГОСТ, свойственный ванильному зефиру | Соответствует ГОСТ, свойственный ванильному зефиру          |
| Запах                        | Свойственный зефиру, без постороннего запаха                                   | Соответствует ГОСТ, свойственный ванильному зефиру | Соответствует ГОСТ, свойственный ванильному зефиру          |
| Консистенция                 | Мягкая, легко поддающаяся разламыванию. Без присутствия кристаллов сахара      | Соответствует ГОСТ                                 | Упругий, но немного влажный. В остальном соответствует ГОСТ |
| Структура                    | Свойственная зефиру, пенообразная, равномерная                                 | Плотная, соответствует ГОСТ                        | Плотная, соответствует ГОСТ                                 |

На рисунках 3 и 4 представлены графики, полученные в результате исследования реологических свойств зефира (твердость, упругость) без и с добавлением концентрата бета-глюкана на структурометре СТ-2 (Lab, Россия). По характеру кривых можно сделать вывод, что зефир с добавлением концентрата значительно мягче зефира без концентрата. На его мягкость повлияла дополнительная влажность, отмеченная у этих образцов. Благодаря этому при оценке реологических характеристик продукта с добавлением концентрата бета-глюкана потребовалось меньше усилий для внедрения индентора. Соответственно, и упругость такого зефира будет ниже, чем у зефира, приготовленного без добавления концентрата.

#### Результаты измерения:

| №  | Имя файла                      | Дата и время        | hобщ, мм | hпл, мм | hупр, мм | Fн, г   |
|----|--------------------------------|---------------------|----------|---------|----------|---------|
| 6  | Образец с б-г - 6 мм (3).dat   | 26.11.2021 11:46:24 | 6,000    | 3,493   | 2,507    | 141,900 |
| 11 | Образец без б-г - 6 мм (2).dat | 26.11.2021 11:54:44 | 6,000    | 3,359   | 2,641    | 234,300 |

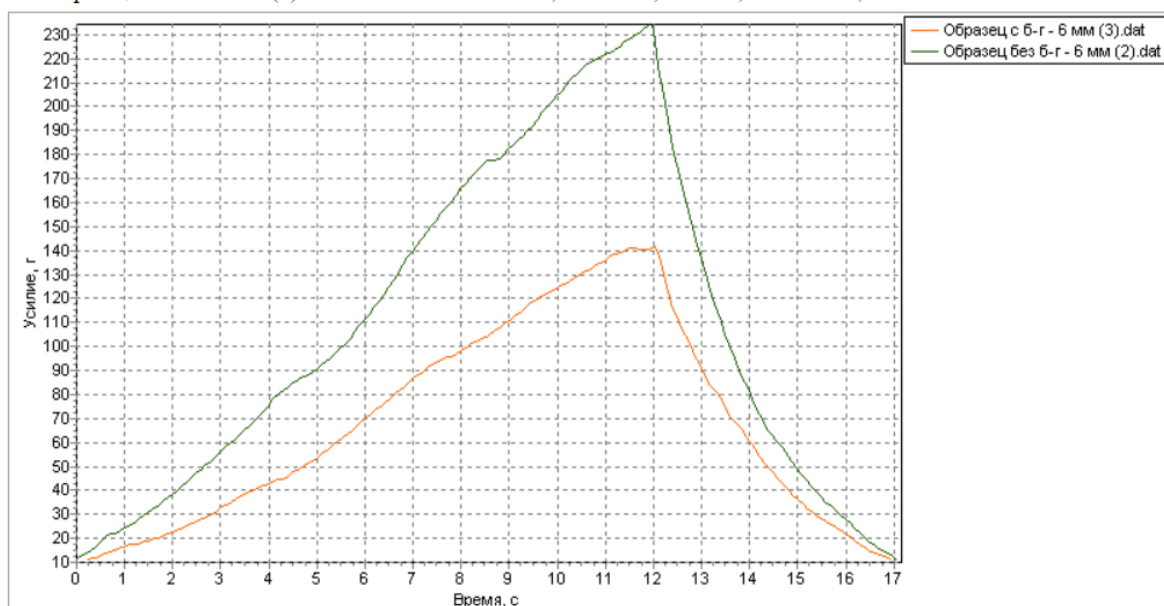


Рис. 3. Графики, характеризующие твердость готовых кондитерских изделий  
Зеленым цветом на графике обозначен образец зефира без концентрата бета-глюкана.  
Желтым цветом на графике обозначен образец зефира с концентратом бета-глюкана.

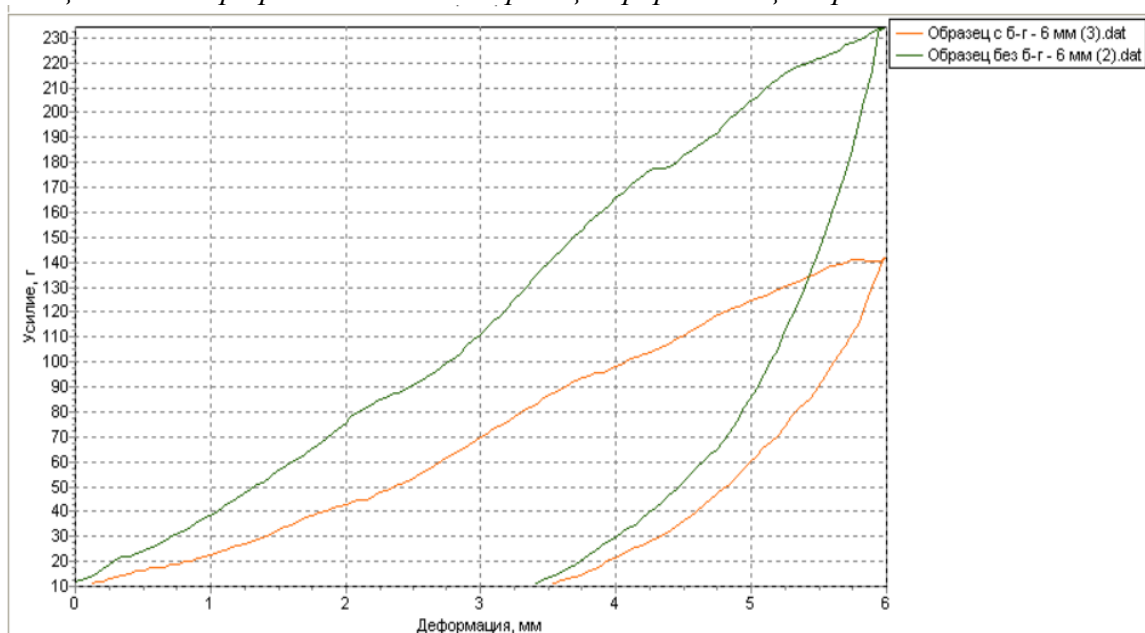


Рис. 4. Графики, характеризующие упругость готовых кондитерских изделий  
Зеленым цветом на графике обозначен образец зефира без концентрата бета-глюкана.  
Желтым цветом на графике обозначен образец зефира с концентратом бета-глюкана.

Органолептический анализ зефира выявил различия в восприятии исследуемых образцов: у зефира без концентрата бета-глюкана дегустаторы отметили яблочный вкус и запах, в то время как у зефира с добавлением концентрата этот запах и вкус отсутствовали. В качестве положительного аспекта, было отмечено, что использование концентрата бета-глюкана в рецептуре зефира не придает готовому продукту посторонних запахов и вкусов, значит может иметь перспективы по применению в составе кондитерских изделий типа зефир. Для подтверждения полученных результатов и доработки технологии производства данного кондитерского изделия запланированы дополнительные испытания.

### **Литература**

1. Микрофлора кишечника и ее роль в поддержании здоровья человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [hylakforte.com](http://hylakforte.com) (дата обращения: 08.02.2022).
2. Полезные свойства зефира. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [med-konfitur.ru](http://med-konfitur.ru) (дата обращения: 08.02.2022).
3. Зефир: польза и вред для организма человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [polzavred-edu.ru](http://polzavred-edu.ru) (дата обращения: 08.02.2022).
4. Химич Т.Ю. Применение бета-глюкана в качестве иммуномодулирующей терапии у часто и длительно болеющих пациентов // Современная педиатрия. – 2014. – №5(61). – С. 106–110.
5. Иванова В.А. Разработка биотехнологии бета-глюкансодержащего концентрата из остаточных пивных дрожжей: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: диссертация на сайт (4).pdf (дата обращения: 08.02.2022).

УДК 579.64

## ОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОТЕОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ ДЛЯ ГИДРОЛИЗА БЕЛКОВ ДО КОРОТКИХ ПЕПТИДОВ

**Челомбиткин М.А.<sup>1</sup>** (аспирант)

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: mchelombitkin@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 статье приведена структура и аминокислотный состав двух белков сои: глицинин, бета-конглицинин. Аминокислотный состав данных белков получен из базы данных Uniprot с применением программы ExPASy rePlTideCutter. Проведен анализ эффективности применения трех ферментов: пепсина, протеиназа К, трипсина и установлено, что для гидролиза белков сои более эффективным из трех ферментов является протеиназа К, этот фермент позволяет провести более глубокий гидролиз белков сои.

**Ключевые слова:** соевые белки, аминокислоты, гидролизаты, ферменты, протеазы, функциональные продукты, глицинин, бета-конглицинин.

---

Белок — это важное питательное вещество, которое обычно эффективно усваивается под действием ферментов желудка, поджелудочной железы и тонкого кишечника. После гидролиза продукты переваривания белков в виде аминокислот и небольших пептидов поглощаются слизистой оболочкой с помощью различных транспортных механизмов. Нарушение усвоения белка может возникать при некоторых заболеваниях, ведущих к белково-энергетической недостаточности, которая, в свою очередь, может вызвать серьезные структурные и функциональные нарушения в тканях. [1, 2]. Белки являются важным компонентом пищи, так как именно из белков организм получает необходимый запас аминокислот, которые в свою очередь необходимы для роста и поддержания всех функций организма. В случае нарушения механизма расщепления белков *in vivo* в биотехнологии разработан ряд методов модификации пищи для нивелирования этой проблемы, речь идет о ферментативной обработке продуктов питания.

Использование ферментов в пищевой промышленности в настоящий момент — это широко известный способ получения продуктов с заданными свойствами, такой подход эффективнее, экологичнее и зачастую дешевле химической модификации [3]. Некоторые виды продуктов (в частности — белковая пища), предназначенные для детей, пожилых людей или спортсменов, проходят этап дополнительного гидролиза. Белки гидролизуются по многим причинам, в том числе для повышения питательных свойств, придания определенных текстурных характеристик, а в некоторых случаях — для удаления запаха и вкуса или токсичных и антипитательных веществ.

В статье рассмотрена возможность проведения гидролиза соевых белков, главным преимуществом которых является богатый аминокислотный состав. В состав сои входит 2 главных белка: глицинин и бета-конглицинин, составляющих 80% от всех белков сои. На рисунке 1 представлен аминокислотный состав белков. Из переставленного рисунка видно,

что наиболее распространенными для глицинина являются: глутамин (10%), глутаминовая кислота (8%) и лейцин (7%). Состав бета-конглицинина похож и наиболее распространенные аминокислоты идентичны, отличается соотношение, глутаминовая кислота (11%), лейцин (9%) глутамин (8%). Однако, стоит отметить, что оба белка имеют чрезвычайно богатый аминокислотный состав и представлен всеми 20 протеиногенными аминокислотами, что делает сою в целом и данные белки в частности ценным объектом при разработке белковых гидролизатов.

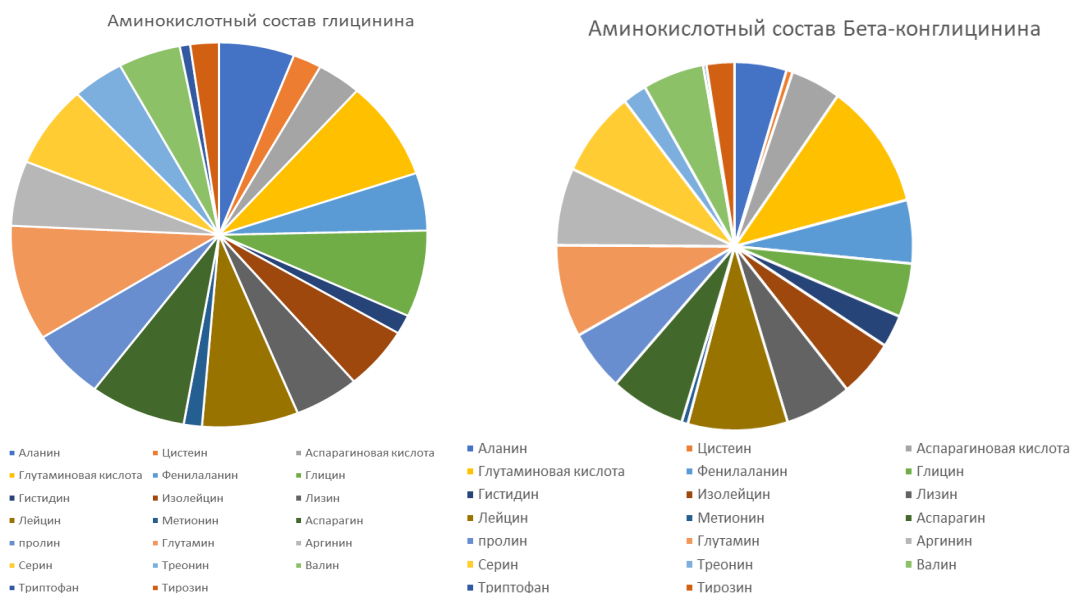


Рис. 1. Аминокислотный состав глицинина (слева) и бета-конглицинина (справа)

Глицинин белок с молекулярной массой 300 – 400 кДа и коэффициентом седиментации  $11S \pm 1S$ .  $\beta$ -Конглицинин - гликозилированный белок масса которого находится в диапазоне 150–250 кДа и имеет коэффициенты седиментации  $7S \pm 0,5S$ . В соевых бобах основные белки, глицинин и  $\beta$ -конглицинин, часто описываются соответствующими значениями седиментации,  $11S$  и  $7S$ , но такие фракции часто бывают нечистыми. Фракция  $7S$  соевого белка содержит, помимо  $\beta$ -конглицинина, лектины, липоксигеназу и  $\beta$ -амилазу [1].

Ферментативный гидролиз соевого белка может улучшить его функциональные свойства и улучшить его питательную ценность. Гидролизаты соевого белка в основном используются как функциональные пищевые ингредиенты, усилители вкуса и питательности, заменители животного белка. Ферментативный гидролиз также увеличивает биоактивность соевых белков за счет преобразования гликозидов в агликоны, повышения антиоксидантных свойств [4]. Условия гидролиза обычно подбирают таким образом чтобы степень гидролиза обычно составляет от 1% до 39,5%. Основными проблемами протеолитического гидролиза соевого белка это образование горечи, коагуляция гидролизатов и высокая стоимость ферментов.

Уменьшение горечи может быть достигнуто путем контроля степени гидролиза, селективного отделения горьких пептидов от гидролизатов, обработки гидролизатов экзопептидазами, добавления различных компонентов, к примеру аденозинмонофосфата, некоторых аминокислот, глутамата натрия. Коагуляция гидролизатов может быть решена путем выбора подходящих ферментов. Снижение стоимости ферментов достигается за счет иммобилизации ферментов и их многократного использования. Так как в соевом белке основная питательная ценность приходится на глицинин и бета-конглицинин, подбор ферментов совершается исходя из аминокислотной последовательности этих двух белков. Аминокислотные последовательности, а также структура Глицинина (рис. 2) и Бета-конглицинина (рис. 3) получены из базы данных Uniprot, применен алгоритм поиска сайтов рестрикции белков (для обработки была использована программа ExPASy pepitdecutter). В качестве потенциальных ферментов рассмотрены протеиназа К, пепсин, трипсин как наиболее часто применимые ферменты для расщепления протеинов.



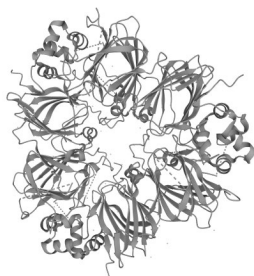


Рис. 2. Структура Glycinin 11S G1

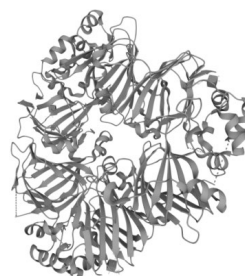


Рис. 3. Структура Beta-conglycinin 7S

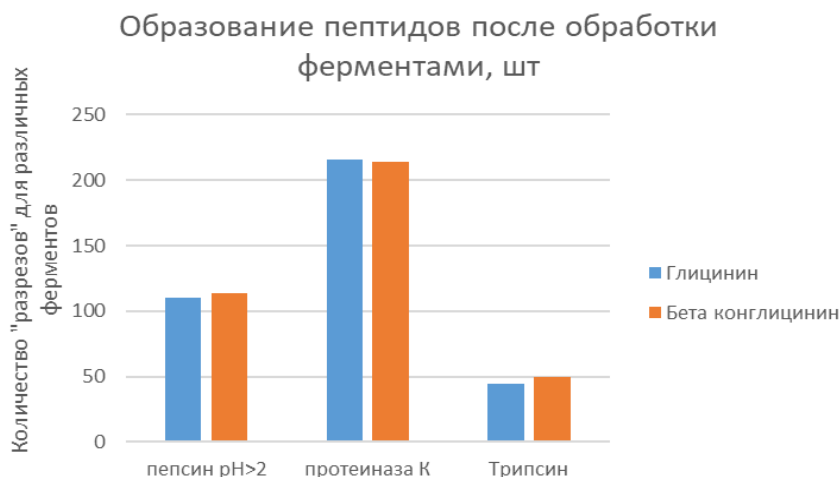


Рис. 4. Количество образующихся пептидов после обработки ферментами

На рисунке 4 показано количество образующихся пептидов после проведения полного ферментативного гидролиза. Следует отметить, что протеиназа К обеспечивает наиболее полный гидролиз обоих белков, кроме того, преимущество протеиназы К заключается в широком диапазоне pH 4–12 оптимум pH 8, это позволяет избежать внесения буферных растворов в белковый экстракт, кроме того, инактивация достигается путем повышения температуры до 65°C.

В заключение можно сказать, как было отмечено ранее – ферментативный гидролиз белков может приводить к возникновению горечи, в случае получения пищевых гидролизатов этот эффект может оказать негативное влияние на конечный продукт, следовательно, в зависимости от цели следует индивидуально подбирать ферментные препараты. Компьютерная обработка позволяет прогнозировать потенциальные свойства гидролизатов, так как пептиды, придающие горечь или определенные запахи, зачастую, широко известны. В контексте получения наиболее коротких пептидных последовательностей, наиболее благоприятным для использования представляется протеиназа К, так как и для глицинина и для бета-конглицинина количество пептидов после обработки составляет более 200.

## Литература

1. Chatterjee C., Gleddie S., Xiao C.W. Soybean bioactive peptides and their functional properties // *Nutrients*. – 2018. – Т.10. – №9. – С. 8–11.
2. FREEMAN H., KIM Y., SLEISENGER M. Protein Digestion and Absorption // *Physiol. Gastrointest. Tract.* – 1979. – Т.2. – № December. – С. 1030–1036.
3. Periago M.J. и др. Influence of enzymatic treatment on the nutritional and functional properties of pea flour // *Food Chem.* – 1998. – Т.63. – №1. – С. 71–78.
4. Sun X.D. Enzymatic hydrolysis of soy proteins and the hydrolysates utilisation // *Int. J. Food Sci. Technol.* – 2011. – Т.46. – №12. – С. 2447–2459.

УДК 637.631

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ ПЕРО-ПУХОВЫХ ОТХОДОВ

*Шанин В.А.<sup>1</sup> (аспирант), Каршева К.<sup>1</sup> (студент), Резниченко Р.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Алексеев Г.В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: shanin.vyacheslav@mail.ru, karsheva.888@mail.ru,  
reznichenko.888@mail.ru, gva2003@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620161 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов молекулярного переноса импульса, тепловой энергии и массы в жидких многокомпонентных средах».*

---

В статье рассматриваются возможности и преимущества использования ультразвуковой обработки для получения белкового продукта высокой растворимости из перо-пухового сырья. Разработана конструкция ультразвукового гидролизатора, позволяющего получать растворимый высокоусвояемый белок из побочного продукта птицефабрик с высоким массовым выходом при минимальных временных и энергетических затратах.

**Ключевые слова:** гидролиз, перо-пуховое сырье, кератин, кавитация, аминокислоты, массовый выход.

---

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.

Научная новизна исследования заключается в создании новой высокоэффективной методики обработки перо-пухового сырья, позволяющей значительно повысить эффективность процесса гидролиза веществ, обладающих высокой биологической и пищевой ценностью из животного сырья.

Кератин представляет собой молекулы белка, скрученного в двойную спираль, связанные друг с другом водородными и дисульфидными связями. Две спирали, связанные друг с другом образуют протофиламенты, несколько спиралей – протофибриллы, которые соединяясь друг с другом образуют промежуточные филаменты – нитевидные структуры образующие цитоскелет цитоплазмы и ядра клеток. Альфа кератин представляет собой филаменты, образующие вытянутую структуру (волосы, перо). Они обладают высокой прочностью на разрыв и определенной гибкостью. Бета кератин представляет собой филаменты в виде листовой структуры, которые соединены водородными связями.

При переработке птицы на птицефабриках образуется большое количество перьевых отходов. В настоящее время некоторые предприятия просто утилизируют эти отходы, некоторые – перерабатывают их в перьевую муку, которая используется в качестве удобрения или кормовой добавки для животных.

Сложность переработки перо-пуховых отходов заключается в необходимости провести много стадий процесса. Сначала сырье нужно очистить от помета, песка и других примесей, высушить, провести процесс гидролиза, снова высушить, измельчить и упаковать.

Наиболее энергозатратным и технически сложным процессом является процесс гидролиза сырья. Он протекает при нагревании до 150 – 180°C и давлении 5,0 – 15,0 мПа. Такие условия необходимы для разрыва водородных и дисульфидных связей в молекулах кератина, чтобы получить из сырья легкоусвояемый кератин первичной структуры.

Суть исследования заключается в использовании ультразвука в процессе гидролиза для интенсификации разрушения дисульфидных связей за счет того, что молекулы воды и реагентов под воздействием кавитации активно проникают между молекулами-мономерами кератина, что позволяет сократить время гидролиза [1–5].

Задача, на решение которой была направлена разработка устройства для гидролиза, заключается в увеличении продолжительности и площади контакта экстрагента с сырьем, что повышает скорость гидролиза и увеличивает массовый выход продукта.

Устройство для гидролиза кератинсодержащего сырья (рисунок) содержит корпус 1 с патрубком подачи сырья и экстрагента 2, оснащенный воронкой, патрубок для слива твердых примесей 3, лопастную мешалку 4, размещенную внутри корпуса 1 на приводном валу 5, источник ультразвука 6 и трубопровод рециркуляции экстрагента 7, снабженный насосом 8 и связанный с накопительной емкостью 9. Патрубок подачи сырья и экстрагента 2 снабжен цилиндром 10, коаксиальным валу 5 лопастной мешалки 4, связанному с приводом 11. Размещенный выше лопастной мешалки 4 источник ультразвука 6 выполнен в виде магнитострикционного преобразователя, конструкция которого представляет собой кольцевой слоистый витой сердечник с чередующимися слоями магнитострикционного активного материала, покрывающего внутреннюю и внешнюю поверхности преобразователя, и обмотку возбуждения, тороидально охватывающую сердечник. Принцип работы преобразователя такого типа основан на эффекте магнитострикции, заключающимся в изменении размеров ферромагнитных тел под действием переменного магнитного поля, причем степень деформации различных ферромагнитных материалов зависит от величины его напряженности. На одном уровне с источником ультразвука 6 установлена загрузочная рециркуляционная воронка 12, соединенная трубопроводом 7 с накопительной емкостью 9. Накопительная емкость 9 имеет отборник проб 13, сливной патрубок 14 с краном 15 и сообщается с воронкой патрубка подачи сырья и экстрагента 2 посредством трубопровода 16, оснащенного задвижкой 17, управляемой поплавковым регулятором 18.

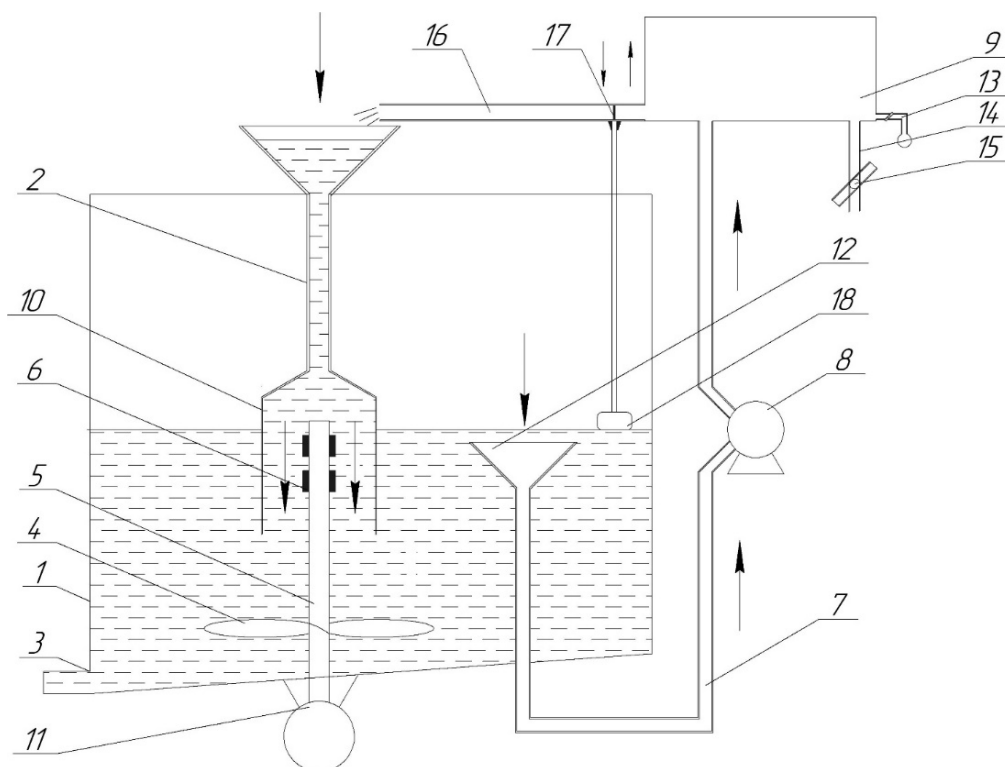


Рисунок. Устройство для гидролиза кератинсодержащего сырья

Работает устройство следующим образом. Сырье и экстрагент через загрузочный патрубок 2 поступают в корпус 1, и, проходя через цилиндр 10, подвергаются воздействию со стороны источника ультразвука 6. Сырье, предварительно разрушенное кавитацией от ультразвука, дополнительно измельчается и перемешивается под действием лопастной мешалки 4. Мисцеллы белка, образующиеся в результате гидролиза кератинсодержащего сырья, за счет меньшей плотности поднимаются к верхним слоям смеси, где попадают в рециркуляционную воронку 12, откуда по трубопроводу 7 перекачиваются насосом 8 в накопительную емкость 9. Из накопительной емкости 9 через отборник проб 13 периодически производится отбор продукта и определяется концентрация мисцелл белка в растворе. На начальных стадиях процесса рециркуляции смесь из накопительной емкости 9 по трубопроводу 16 поступает в патрубок для загрузки сырья и экстрагента 2 и проходит повторную обработку ультразвуком. Поток смеси, поступающий на повторную обработку через трубопровод 16, регулируется заслонкой 17, управляемой поплавковым регулятором 18. Когда концентрация белка в растворе достигает требуемых значений, оператор открывает кран 15, и обогащенная смесь выгружается через патрубок 14. Твердые остатки кератинсодержащего сырья удаляются из корпуса 1 через сливной патрубок 3.

Процесс рециркуляции смеси кератинсодержащего сырья и экстрагента через воронку 12, трубопроводы 7 и 16 с повторной обработкой ультразвуком от магнитострикционного преобразователя увеличивает продолжительность и площадь контакта экстрагента с сырьем и обеспечивает повышение массового выхода продукта.

Были проведены экспериментальные исследования по получению растворимого белкового гидролизата из перо-пуховых отходов птицеперерабатывающего предприятия (ООО «Роскар»). Исследовалось влияние использования ультразвуковой обработки смеси на массовый выход получаемого в процессе гидролиза продукта. Результаты исследования приведены в таблице.

Таблица. Результаты исследования

| Вид обработки<br>пухо-перьевых<br>отходов | Доля водопрочных агрегатов (% , масс.) |      |        |      |        |      |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|------|--------|------|--------|------|
|                                           | 5% КОН                                 |      | 3% КОН |      | 1% КОН |      |
|                                           | 60°C                                   | 80°C | 60°C   | 80°C | 60°C   | 80°C |
| УЗ (22кГц;1,0Вт/см <sup>2</sup> )         | 48,6                                   | 60,5 | 74,6   | 80,3 | 10,1   | 14,5 |
| Без УЗ                                    | 42,3                                   | 52,1 | 62,8   | 66,1 | 8,2    | 10,4 |

Полученные результаты позволяют судить о том, что использование разработанного ультразвукового гидролизатора позволяет достигать большего массового выхода продукта по сравнению с гидролизом без ультразвукового воздействия. Устройство зарегистрировано в виде результата интеллектуальной деятельности в виде полезной модели, от экспертов ФИПС получено положительное решение о выдаче патента на полезную модель [3].

## Литература

1. Краткое описание применений звука и вибрации в приборах и технологиях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.dynatecs.ru/02.0.html](http://www.dynatecs.ru/02.0.html) (дата обращения: 03.03.2022).
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. Заявка № 2021136928/10(077796) Российская Федерация, МПК7 В 01D 11/02 (2006.01), А 23J 1/10 (2006.01), А 23J 3/30 (2006.01). Устройство для гидролиза кератинсодержащего сырья/ Алексеев Г. В. (RU), Шанин В. А. (RU), Бирченко А. А. (RU), Кравцова Е. В. (RU), Каршева К. (KZ), Резниченко Р. (KZ); заявитель и патентообладатель Университет ИТМО (RU); заявл. 14.12.21; решение о выдаче патента. 25.02.22. – 5 с.: ил.
4. 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.
5. Балдаев Р. Применения ультразвука / Р. Балдаев, В. Раджен-дран. М.: Техносфера. – 2006. – 576 с.

УДК 697.2

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

*Шейн В.М.<sup>1</sup> (аспирант)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Никитин А.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Университет ИТМО*

*e-mail: shein512.54@gmail.com*

---

В данной научной работе исследуется возможность использования низкотемпературных инфракрасных излучателей в системах отопления зданий. Описаны основные виды излучающих приборов, выполнен анализ исследований, проведенных как российскими и зарубежными учеными, выявлены основные тенденции и проблемы при проектировании и эксплуатации данных теплообменных аппаратов в системах жизнеобеспечения зданий.

**Ключевые слова:** излучение, энергетическая эффективность, отопление, излучатель, интенсификация.

---

На сегодняшний день вопросы повышения энергетической эффективности систем отопления стоит наиболее остро. Одним из перспективных направлений, развивающихся в данный момент является радиационное отопление. Основная идея настоящего научного труда – интенсификация процессов радиационного отопления. По соответствующей тематике разрабатывается диссертационное исследование на тему «Повышение энергетической эффективности процессов радиационного отопления».

Цель данной научной работы – исследовать одно из актуальных на сегодняшний день направлений в системах жизнеобеспечения зданий, а именно радиационное отопление; а также оценить возможность использования низкотемпературных инфракрасных излучателей (НИИ) в системах отопления зданий и сооружений; определить особенности и закономерности распространения тепла в НИИ для дальнейшего использования полученных результатов в рамках диссертационного исследования. В результате исследования планируется повышение энергетической эффективности процессов радиационного отопления путем использования принципиально новых подходов и методов и на их основе создание научно-методических основ расчета интенсификации теплообмена в системах радиационного отопления. Для более четкого понимания проблемы и инструментов ее решения необходимо прежде всего ввести понятие радиационный теплообмен и рассмотреть принцип работы газовых инфракрасных излучателей.

Тепловое излучение (радиационный теплообмен) – способ переноса теплоты в пространстве, осуществляемый в результате распространения электромагнитных волн, энергия которых при взаимодействии с веществом переходит в тепло [1].

В основе работы газовых инфракрасных излучателей (далее – ГИИ) лежит процесс сгорания топлива и кислорода в газовой горелке. В зависимости от температуры принято разделять ГИИ на: высокотемпературные (светлые) и высокотемпературные (темные). Рассмотрим каждый из видов излучателей.

### 1. Высокотемпературные «Светлые» инфракрасные излучатели.

Принцип работы заключается в следующем: газ сгорает внутри газовой горелки, тем самым нагревая поверхность трубопровода до 850 – 950°C. В результате – трубопровод обеспечивает нужное излучение [2]. Стоит отметить, что при достоинствах в виде высокой излучательной способности схема подключения и конструкция имеет достаточно сложный

---

вид, в первую очередь это связано с тем, что для того, чтобы обеспечить подачу газа к горелке необходимо проложить газопровод и поднять его на уровень потолка, что уже является дорогостоящим и не безопасным. Так же если построить график температуры мы увидим, что температура по длине трубы уменьшается, а в случае, если сделать U-образную трубу, то второй отрезок трубы после колена останется практически холодным. Решить этот вопрос установкой большего количества горелок экономически и технически не является целесообразным.

## 2. Высокотемпературные «Темные» инфракрасные излучатели.

«Темные» ГИИ имеют схожий со «Светлыми» принцип работы. Они оснащаются трубчатым горелочным элементом с узлом подачи топлива, излучающими трубами с черным покрытием, нагнетающим вентилятором и дополнительно для снижения температуры продуктов сгорания подмешивается воздух уже непосредственно в трубу из расчета 10 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> газа. Поверхность трубы, нагреваясь до 370 – 430°C, испускает длинноволновое излучение. Вещества, образующиеся при сжигании топливной смеси, выводятся из помещения системой дымоотведения. Также стоит отметить, что одним из главных недостатков таких излучателей является ограниченность их установки в помещении. А именно установка "Темных" ГИИ зачастую затрудняется из-за архитектурно-строительных характеристик зданий. Например, установка излучателя под углом к стене или на колоннах нецелесообразна поскольку приводит к значительному росту конвективных потерь и как следствие снижению лучистого КПД. А также в связи с тем, что в промышленных цехах зачастую высокая плотность установленного оборудования и распределительных сетей обеспечить систему отвода продуктов сгорания становится максимально затруднительно и экономически не выгодно [1].

## 3. Низкотемпературные инфракрасные излучатели.

НИИ на сегодняшний день принято считать одними из самых энергетически эффективных разновидностей лучистого отопления [2]. В них теплообменным аппаратом могут выступать потолочные панели или излучающие профили. Теплоносителем в данных системах предлагается использовать сетевую воду из систем отопления с параметрами (105 – 150°C), но нами исследуется возможность применения и более холодной воды с параметрами (30 – 35°C). Таким образом, при нагревании НИИ теплоносителем, начинается процесс излучения электромагнитных волн в инфракрасном диапазоне, это явление и обеспечивает нагрев помещения.

В общей сложности диапазон инфракрасного излучения значительно шире и разделяется на три категории зависимо от длины волн:

- короткие волны:  $\lambda = 0,74 - 2,5$  мкм,
- средней длины волн:  $\lambda = 2,5 - 50$  мкм,
- длинные волны:  $\lambda = 50 - 2000$  мкм.

Многие действующие нормативные документы, определяющие требуемые параметры микроклимата помещений, не учитывают специфику работы систем лучистого отопления, определяющую преимущества таких систем по сравнению с водяными и воздушными, которые в части экономии затрачиваемой тепловой энергии могут достигать до 40% [3].

Одной из особенностей и важнейшей характеристикой НИИ является возможность снижения температуры в рабочем пространстве на 4 – 5°C в сравнении с теплообменными аппаратами, работающими на основе конвективного теплообмена. Эта особенность объясняется большой плотностью ИК-излучения, нагревающего поверхность кожи людей и рабочую одежду. Как отмечает в своей работе известный ученый Бодров В.И. [4]: «Одной из основных причин ограниченного применения систем отопления на базе НИИ является отсутствие апробированной методики проектирования таких систем. Используемые подходы по анализу температурных режимов объектов с лучистым теплообеспечением не учитывают конвективную составляющую теплообмена на внутренних поверхностях и отвод теплоты в ограждающие конструкции».

Однако, стоит отметить, что перечисленные факторы если рассматривать реальные объекты в большинстве случаев играют главную роль. Также одной из особенностей, которую необходимо учитывать при использовании НИИ, является «точка росы», которая может возникать в местах, где облучение равно 0, к этим местам можно отнести зону выше расположения излучателя. Возникновение этого явления связано с тем, что происходит из-за уменьшения подачи теплоты, возникает снижение температуры, в верхних зонах помещения (что не отмечается при использовании традиционных систем отопления). Решение данной проблемы сводится к понятию нормирования показателей. Нормирование показателя здесь понимается как нахождение предельно-допустимого и оптимального значения теплового потока, и температуры, в более узком смысле необходимо проводить отдельно нормирование показателей в рабочем пространстве и в необучаемых зонах с учетом зависимости расстояния от источника излучения до приемника излучения (поглотителя) [5].

Для полного понимания процессов происходящих в работе НИИ необходимо комплексно изучить (рассчитать и измерить) следующий перечень параметров: удельная теплоотдача источника излучения (излучателя); плотность лучистого потока тепловой энергии; моделирование теплового режима отапливаемого помещения; моделирование теплового и температурного режимов ограждающих конструкций обслуживаемого помещения.

Следует отметить так же ряд преимуществ в использовании НИИ, благодаря которым данные системы можно назвать высокоэффективными:

- низкая тепловая инерция, что обеспечивает быстрое реагирование;
- простота регулировки за счет небольшого количества теплоносителя в системе;
- направленной подачей тепловой энергии в рабочую зону помещения;
- возможностью применения возобновляемых источников энергии и систем рекуперации теплоты;
- бесшумность, компактность и долговечность.

Отметим также, что в отличие от высокотемпературных ГИИ, НИИ имеют больший охват применимости: административные, хозяйственно-бытовые, производственные типы зданий и сооружений.

Как и любая система НИИ имеют свои недостатки, а именно эффективность его работы зависит от того какие конструктивные особенности имеет здание, какое в нем утепление, как обогревают ограждающие конструкции (стены, пол, потолок). В случае если объект построен таким образом, что в нем не соблюдены теплоизоляционные нормы, то низкотемпературное отопление окажется неэффективным с экономической точки зрения.

Данная тема получила широкое распространение у зарубежных ученых, в частности так ученые из Китая в своих научных трудах «Thermal performance investigation of a novel heating terminal integrated with flat heat pipe and heat transfer enhancement» [6] предлагают новую конструкцию лучисто-конвективного нагревательного аппарата, интегрированного с плоской тепловой трубой и улучшением теплопередачи. Плоская труба выполняет роль излучательной панели обеспечивающий быстрый тепловой отклик и высокую равномерность излучения. Труба имеет ребра для улучшения теплопроводности в условиях конвекции. Найдены скорость нагрева,  $T_{изл}$ ,  $N_{нагр}$ , а также рассмотрены влияющие факторы, такие как  $T_{ист}$ ,  $T_{окр}$ , конвекция. Результаты показали, что скорость нагрева составляет 920 – 1125 Вт, что превосходит другие традиционные излучающие терминалы, а распределение  $T$  равномерное. Мощность нагрева в режиме естественной конвекции составляла приблизительно 498 – 724 Вт при температуре источника тепла 50°C. При принудительной конвекции, мощность нагрева и эффективность использования энергии увеличились на 62% и 25%.

В работе Serageldin A.A., Radwan A., Sato H., Nagano K. «Thermal performance of ceiling radiant cooling panel with a segmented and concave surface: Laboratory analysis» [7] изучаются тепловые характеристики потолочной панели лучистого охлаждения (CRCP) с сегментированной и вогнутой поверхностью. Коэффициент лучистой теплопередачи панели составил 5,0 Вт/(м<sup>2</sup>-К). При снижении температуры воды на входе с 24°C до 15°C и

одинаковой скорости потока 4 л/мин средняя температура воздуха снизилась более чем на 1,5°C. Панель увеличила конвективный тепловой поток в 2,6 раза, а общий тепловой поток – на 45% по сравнению с плоской панелью.

В работе Zhang, F., Yang, Y. «Application of Prefabricated Low Temperature Radiant Heating in Buildings» [8] приведен новый тип сборного низкотемпературного пола с лучистым отоплением. Исследуется внутренний механизм теплопередачи и строится математическая модель сборного низкотемпературного радиационного пола, строится модель комплексной оценки тепловых характеристик поверхности сборного низкотемпературного радиационного пола в соответствии с равномерностью распределения температуры поверхности и распределения теплового потока.

Среди российских исследований можно отметить труды Кузнецова Г.В., Максимова В.И., Нагорновой Т.А. «Экспериментальное исследование распределения температуры по поверхности объекта теплоснабжения в условиях нагрева газовым инфракрасным излучателем». Учеными были проведены экспериментальные исследования процессов теплообмена в системе радиатор - воздух - объект теплоснабжения с целью измерения температур поверхности ткани, покрывающей модель рабочего. Полученные результаты дают основание заключить, что при разработке систем обеспечения заданного теплового режима локальных рабочих зон крупных производственных помещений в условиях лучистого отопления необходимо учитывать пространственную ориентацию участков поверхности одежды рабочего относительно вектора потока лучистой энергии.

Так же по данной тематике было найдено два диссертационных исследования:

1. Диссертационное исследование на соискание степени кандидата технических наук Гибанова Н.С. «Нестационарные режимы сопряженного конвективного теплопереноса в замкнутых областях с локальными источниками энергии различной формы» (Томск, 2021 г.) Автор данного исследования формулирует математическую модель сложного теплообмена в замкнутых плоских и пространственных областях с локальными источниками тепловыделения, а так же проводит численный анализ влияния широкого круга определяющих параметров (геометрическая форма источника энергии, приведённая степень черноты внутренних поверхностей, теплопроводность материала нагревателя и ограждающих конструкций, интенсивность течения в рассматриваемой полости) на структуру течения внутри области решения.
2. Диссертационное исследование на соискание степени кандидата технических наук Шацкова А.О. «Повышение эффективности работы систем низкотемпературного лучистого отопления жилых и общественных зданий» (Донецк, 2018 г.). Автор в своей диссертации исследует методы повышения энергетической эффективности работы низкотемпературных инфракрасных нагревателей, а также разрабатывает методику расчета сложного теплообмена и теплопередачи через ограждающие конструкции. Цель достигается путем решения следующих задач: проведение анализа эффективности применения радиационных отопительных приборов в жилых зданиях; создания математической модели для возможности определения средних диффузных угловых коэффициентов при теплообмене излучением в помещении.

В результате проведенного теоретического исследования о возможности применения НИИ в системах жизнеобеспечения и разработок как у зарубежных, так и у российских ученых можно сделать следующие выводы:

1. На основе найденных статей из базы Scopus, основной вектор исследований – это исследование охлаждения помещений с помощью лучистого отопления, и отопление теплым полом.
2. Исследований, которые бы занимались идеей использования сетевой водой вместо газа найдено мало. Что говорит о малой проработке данного вопроса в научном сообществе и как следствие об перспективности темы. В большинстве исследований речь идет о газе или о совместном использовании с альтернативными источниками энергии.



3. По проведенным исследованиям можно сделать вывод о широкой применимости лучистого отопления, как в производственных масштабах, так и для зданий меньшей площади и для сельского хозяйства. Но большое значение играет правильность нормировки параметров и учета и архитектурно-строительных особенностей зданий и сооружений.
4. Отсутствие апробированной методики проектирования таких систем.
5. В основном исследованиями в области лучистого отопления занимаются Китайские ученые. Новая эффективная радиационная система охлаждения без использования электричества была опубликована совсем недавно этим занимаются в США.
6. На основе изученных статей понятия интенсификация практически совпадают в некоторых случаях с оптимизацией.

### Литература

1. Куриленко Н.И. Тепловой режим производственных помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей / Томск: И: ТПУ. – 2013. – 95 с.
2. Крупенников С.А. Алгоритм расчёт систем лучистого отопления помещений // Вестник ИГЭУ. – 2010. – №4. – 157 с.
3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ. Федер. закон от 23.11.2009 №261–ФЗ (Редакция от 11.06.2021).
4. 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.
5. 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.
6. 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. – 121411. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121411.
7. 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. – 117280. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117280.
8. Fan Zhang, Yuhua Yang Application of Prefabricated Low Temperature Radiant Heating in Buildings ICCIR 2021 // Proceedings of the 2021 International Conference on Control and Intelligent Robotics June. – 2021. – Pp. 156–163. DOI: 10.1145/3473714.3473741.

УДК 62.5

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП БРОЖЕНИЯ ПИВА

*Юницын К.А.<sup>1</sup> (студент)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук Лазарев В.Л.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: unitsin@yandex.by*

---

В работе, на основании анализа тенденций развития пивоваренной отрасли, предложены решения по совершенствованию информационного обеспечения АСУТП брожения пива. Для конкретики рассмотрен процесс брожения пива в цилиндро-каноническом танке (ЦКТ), с учетом, происходящих в нем, физических и химических процессов. Также предложены решения по модернизации технологического оборудования, позволяющие уменьшить энергетические затраты на производство напитков при поддержании их качества на надлежащем уровне.

**Ключевые слова:** АСУТП брожения пива, информационное обеспечение, автоматизация, качество продукции.

---

Пиво – продукт, пользующийся высоким спросом у значительной части населения страны. Имеется устойчивая тенденция по повышению требований к качеству выпускаемой продукции. Для решения стоящих задач необходим комплексный мониторинг свойств используемого сырья, ингредиентов и режимных параметров технологического процесса на всех стадиях его протекания при организации управления производством. На современных производствах решение такой многофакторной задачи осуществляется с использованием автоматизированной системы управления – АСУТП. Для эффективного функционирования АСУТП необходимо совершенствовать ее информационное обеспечение с учетом специфических реалий конкретных производств и используемого оборудования. Поэтому тема представленной работы является актуальной.

Важным моментом в пивоварении является сбраживание сахара в этанол и углекислоту. Процессы, протекающие при сбраживании можно только условно разделить на процессы главного брожения и процессы созревания. Все процессы, происходящие в процессе брожения необходимо рассматривать как единое целое. Брожение пивного сусла происходит в результате жизнедеятельности дрожжей. При брожении сложные органические соединения распадаются на более простые вещества с выделением теплоты.

В результате ферментативных превращений, происходящих в пивном сусле при брожении и в пиве, при его последующем созревании, формируются необходимые вкус, цвет и аромат напитка.

В пивоварении известны два способа брожения: низовое, осуществляемое при температуре 6 – 10°C, и верховое – при температуре 14 – 25°C. В отечественной пивоваренной промышленности наиболее распространено низовое брожение [1].

Значение pH в ходе брожения значительно падает: с 5,3 – 5,6 в готовом сусле до 4,2 – 4,6 в готовом пиве.

В ходе брожения pH медленно снижается и наконец становится постоянным. Повышение показателя pH указывает на начинающийся автолиз дрожжей. Так же данный показатель заметно влияет на качество пива [2].

Для качественного сбраживания сусла и получения готового пива необходимо относительно большое количество засеваемых дрожжей – 0,7 – 0,8 л на 1 гл сусла при внесении

в цилиндрикоконический бродительный аппарат и 0,5 л – при внесении в классический бродительный аппарат.

Сбраживание суслу зависит от штамма, концентрации и физиологических свойств дрожжей, на жизнедеятельность которых влияют следующие основные стрессовые факторы:

- Экстрактивность суслу. Когда данный показатель пива повышается, количество сахара в сусле становится слишком высокой. При этом содержание аминокислот в будущем пиве недостаточно, в результате чего замедляется процесс брожения. Но его всегда можно ускорить или «оживить», путем добавления новых дрожжей, которые находятся в своей самой благоприятной фазе.
- Содержание спирта. Когда концентрация продуктов метаболизма имеет значение ниже 5%, это никак не сказывается на жизнедеятельности дрожжей. Есть виды дрожжей, которые способны выдержать концентрацию спирта 6 – 7% об. Однако, при более высоких концентрациях этанола – рост клеток и брожение замедляются, дрожжи начинают гибнуть. Поэтому при приготовлении более крепленого пива необходимо значительно увеличить количество дрожжей.
- Количество полезных микроэлементов в сусле. Данный показатель особенно влияет на активность брожения. В начале пивоварения использовалось оборудование, которое преимущественно изготавливалось из красной меди, а сита фильтрационных аппаратов из латуни. Со временем стали использовать нержавеющую сталь, что повлекло за собой снижение в сусле меди и цинка. Стали возникать трудности при брожении. Цинк является одним из наиболее важных химических элементов в сусле, так как он улучшает синтез белка. Поэтому в современном пивоварении стали добавлять при кипячении суслу  $ZnSO_4$ .
- Содержание кислорода в сусле. Несмотря на то, что главным врагом пива является кислород – он является неотъемлемой его частью. При недостатке кислорода дрожжи начинают испытывать недостаток липидов и ненасыщенных жирных кислот. При сильном охлаждении дрожжи испытывают холодный температурный шок, как и любой другой живой организм, вследствие которого брожение замедляется или совсем останавливается. При кратковременном повышении температуры до 37 – 40°C дрожжи так же испытывают шок.
- Давление. При дображивании его поддерживают с помощью шунт-аппарата на уровне 0,02 – 0,18 МПа, вследствие чего в пиве повышается концентрация диоксида углерода. При этом на дрожжи действуют не только гидростатическое давление, но и возросшее парциальное давление диоксида углерода [1].

Обычные бродительные чаны и лагерные танки имеют определенные ограничения по размеру. Необходимость в большей экономичности и объеме производства обусловила применения более крупных производственных единиц оборудования для процессов брожения и созревания. Как результат – появление на рынке цилиндрико-канонических танков (ЦКТ), которые в настоящее время применяются на большинстве производств. Процессы брожения и созревания пива протекают в них на более высоком уровне.

#### **Базовый уровень информационного обеспечения АСУТП**

Результаты анализа технологического процесса брожения позволяют определить перечень основных технологических параметров, подлежащих контролю и управлению для реализации соответствующих технологий. Таковыми являются следующие параметры:

- Температура брожения. Соблюдение температурного режима крайне важно. Из-за внушительных размеров оборудования, в нескольких местах (чаще всего в верхней и нижней частях), устанавливается несколько датчиков.
- Уровень жидкости в танке. Современные датчики, помимо уровня жидкости, позволяют так же определять и ее количество.
- Давление углекислого газа во время брожения. Необходимо постоянно отслеживать данный показатель. Избыточное давление необходимо регулярно «сравливать» по соображениям безопасности.

- Предельные значения верхнего и нижнего уровней. Каждый ЦКТ снабжается соответствующими датчиками. С помощью датчика верхнего уровня контролируется заполнение танка солодом. Если подача солода не прекратится в нужный момент, то в танке просто не останется свободного места для завитков. В результате переизбыток пены пойдет через верхний купол, что чревато возникновением аварийной ситуации. С помощью датчика нижнего уровня контролируется процесс опорожнения. Если вовремя не остановить слив забродившего пива, то в след за ним в цех дображивания отправятся осевшие на дне ЦКТ дрожжи, что, в свою очередь, «нарушит» процесс фильтрации [2].

Реализация указанных задач контроля параметров возможна с использованием современных технических средств измерительной техники, которыми оснащено или оснащается выпускаемое технологическое оборудование. Тем не менее, для повышения эффективности работы системы управления представляется целесообразным осуществить «развитие» задачи информационного обеспечения АСУТП в следующем направлении.

### **Перспективные направления развития информационного обеспечения АСУТП**

В ходе брожения дрожжи вступают в химическую реакцию с сахарами. В результате получается спирт и углекислый газ –  $\text{CO}_2$ . Химическая реакция сопровождается выделением тепла. Как следствие сусло в танке начинает нагреваться. Его необходимо охлаждать, так как от температурного режима зависят многие показатели готового пива. В стадии брожения пиво охлаждают с помощью змеевикового теплообменника, расположенного между наружной и внутренней стенками танка. Процесс регулирования температуры осуществляется путем изменения расхода холодной воды, подаваемой в теплообменник. Таким образом, реализуется один из «классических» вариантов системы автоматического регулирования (САР) на основе принципа управления «по отклонению». При этом в пристенном слое образуется более холодное и, соответственно, более тяжелое пиво, которое опускается вдоль стенки вниз. А более теплое и, соответственно, более легкое пиво в центральной части аппарата поднимается вверх. К тому же при интенсивном брожении такое движение потоков усиливается подъемом образующегося в пиве углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Это обстоятельство также является причиной неравномерного распределения дрожжей в объеме танка.

В результате возникает разброс температур или состояние неопределенности температурного поля в рабочем объеме танка, что сказывается на качестве продукции и, в конечном счете, может стать причиной появления брака. Особенно актуальной эта проблема является для высокопроизводительного промышленного оборудования, когда размеры танков достигают десятков метров. Одним из путей решения такой проблемы является принудительное перемешивание среды в рабочем объеме. На промышленном оборудовании для этих целей имеются специальные «мешалки» с достаточно мощным приводом. Постоянное включение перемешивающих устройств позволяет «купировать» проблему, но негативно отражается на себестоимости продукции со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Для комплексного решения этой проблемы предлагается подход, основанный на использовании модели количественного описания состояния неопределенности управляемого параметра. В основу положены методики и разработки теории энтропийных потенциалов (ТЭП) [3-5]. В данном конкретном случае состояние неопределенности температурного поля предложено количественно оценить по величине его энтропийного потенциала (ЭП) –  $\Delta_e$ , определяемого из выражения

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

В (1) использованы обозначения.  $K_e$  – энтропийный коэффициент, характеризует важную составляющую состояния неопределенности параметра, обусловленную его законом распределения;  $\sigma$  – величина среднего квадратического отклонения (СКО) параметра, характеризует средний «радиус» его рассеяния. Получение оценок значений величины  $\Delta_e$  в соответствии с определением (1) может быть оперативно произведено на основании значений температур в нескольких точках рабочего объема. Для этого планируется установить

дополнительные датчики. Их минимальное количество –  $n$  относительно невелико (рекомендуется соответствие условию)

$$n \geq 6 \div 10. \quad (2)$$

В процессе работы танка АСУТП периодически производит опрос датчиков температуры и вычисляет значения оценок величины  $\Delta_e$ . В случае, когда состояние неопределенности температурного поля превышает предельно допустимое значение –  $\Delta_e(max)$ , т.е. выполняется условие  $\Delta_e \geq \Delta_e(max)$ , происходит включение привода мешалки и, наоборот. Таким образом, осуществляется оптимизация энергозатрат на перемешивание

среды в рабочем объеме танка.

Другим достоинством предложенного подхода является то, что на его основе представляется возможным отобразить изменение состояния неопределенности параметра в величину «порождаемой» при этом информации, т.е. на «информационное поле» [4, 5]. И принятие решений по управлению приводом мешалки можно осуществлять на основании значений приращений информации на каждом анализируемом этапе.

В качестве сопутствующей оптимизации конструкторского «оформления» оборудования предлагается использовать мешалку на «магнитной муфте», что позволит осуществлять привод лопастей без «врезки» приводного вала в корпус танка. Это возможно, так как танки для пищевой промышленности изготавливают из специальной нержавеющей немагнитной стали, которая незначительно искажает вращающееся магнитное поле.

Схема танка с элементами предлагаемых решений приведена на рисунке 1.

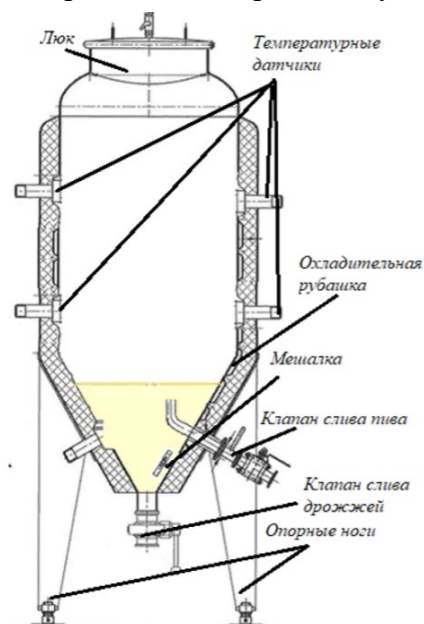


Рис. 1. Устройство ЦКТ с магнитной мешалкой

В работе изложен подход к совершенствованию информационного обеспечения АСУТП брожения пива, основанный на использовании методов и технологий ТЭП.

Внедрение полученных решений будет способствовать оптимизации энергозатрат при реализации управления процессом и соблюдении требований к качеству продукции.

## Литература

1. Федоренко Б.Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли. – СПб.: Профессия. – 2009. – 1000 с.
2. Кунце, В. Технология солода и пива. – 3-е изд., перераб. и доп. – Пер. с нем. 9-го изд. – СПб.: Профессия. – 2009. – 1064 с., с ил., табл.
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. Lazarev V.L. Representative information models for monitoring and control in the conditions of uncertainty // Proceedings of International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2015: 18, St. Petersburg. – 2015. – Pp. 54–57. DOI: 10.1109/SCM.2015.7190408.
5. Лазарев В.Л. Робастные системы управления в пищевой промышленности: Учеб. пособие для студентов вузов по направлению 550200 "Автоматизация и упр." подгот. бакалавров и магистров / В.Л. Лазарев, М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. ун-т низкотемператур. и пищ. технологий. – СПб: С.-Петерб. гос. ун-т низкотемператур. и пищ. технологий. – 2003. – 149 с.

УДК 664.4

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПИТАНИЯ И МИКРОБИОТЫ КИШЕЧНИКА ПАЦИЕНТОВ С COVID-19

**Яценко В.А.<sup>1</sup>** (*студент*)

**Научный руководитель – канд. техн. наук Яковченко Н.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: viktori-y-99@mail.ru*

---

В работе рассмотрена взаимосвязь питания и микробиоты кишечника пациентов с COVID-19, последствия болезни и влияние их на различные органы, в частности на кишечник человека, а также приведено возможное предупреждение и решение возникших проблем.

**Ключевые слова:** COVID-19, дисбактериоз, микробиом кишечника, цитокиновый шторм, иммунная система.

---

В эпоху коронавирусной инфекции все актуальнее становится забота о своем здоровье. Очень важно уделять внимание не отдельным органам в нашем теле, а всему организму. Так, очень важен для нас кишечник вместе с микробиотой. Микробы связаны с целым рядом различных заболеваний, включая воспалительные заболевания кишечника, болезни сердца, ожирение, диабет 2 типа, рак толстой кишки, рассеянный склероз, депрессию, аутизм, "болезни века", такие как болезнь Альцгеймера и Паркинсона, и инфекции, вызванные *Clostridium difficile* - они справляются со всем этим и предотвращают осложнения.

Covid-19 - это пандемия, с которой мир был вынужден столкнуться и с которой живет по сей день. Этот вирус не только поражает дыхательную систему, эпителиальные клетки легких, но также, поражает и другие органы, такие как почки, печень, сердце, мозг и желудочно-кишечный тракт. SARS-CoV-2 проникает в организм хозяина благодаря рецепторам ангиотензинпревращающего фермента 2 (ACE2), широко распространенным в различных тканях и иммунных клетках [1]. В частности, также сообщалось о длительном присутствии и репликации РНК SARS-CoV-2 *in vitro* в среде для выращивания бактерий и вирусной РНК в образцах человеческих фекалий от пациентов с COVID-19.

Все большее число исследований показывает, что вирус также может взаимодействовать с микробиомом нашего кишечника, потенциально делая болезнь более тяжелой. Вирус способен проникать в клетки желудочно-кишечного тракта, а слабая микробиота кишечника облегчает его проникновение в организм. Существует связь между инфекцией SARS-CoV-2 и дисбалансом в микробиоме кишечника, также известным как дисбактериоз кишечника, что приводит к потере разнообразия полезных бактерий, но увеличению количества вредных, которые несут за собой худшие последствия и более медленное восстановление после COVID—19. Тошнота, диарея и рвота также относительно распространены. Вирус может нарушить наш кишечный барьер. Эта проницаемость позволяет бактериальным эндотоксинам выходить из кишечника и попадать в кровоток. Кишечные бактерии были обнаружены в легких пациентов, страдающих COVID-19. У пациентов, зараженных новой коронавирусной инфекцией, наблюдались значительные изменения в микробиоме фекалий по сравнению с контрольной группой во время госпитализирования и за все время госпитализации. Результаты исследований указывают на то, что у пациентов с COVID-19 в кишечнике меньше разнообразных бактерий по сравнению со здоровыми людьми. Было продемонстрировано, что стабильный бактериальный состав

---

кишечника связан с благоприятным прогрессированием заболевания. Установлено, что пожилые люди и люди с диабетом, ожирением и высоким кровяным давлением с большей вероятностью будут иметь измененную микробиоту кишечника и, следовательно, подвержены более высокому риску тяжелого протекания болезни [2].

Микробиом кишечника каждого человека уникален и играет важную роль в регуляции иммунной системы. Когда ваше тело заражено вирусом, ваша иммунная система обнаруживает его и атакует. В некоторых случаях иммунная система может слишком остро отреагировать и повредить легкие и другие жизненно важные органы, что называется цитокиновым штормом. Эти чрезмерные иммунные реакции могут привести к дыхательной недостаточности и смерти. Цитокиновый шторм характеризуется гиперпродукцией множества провоспалительных цитокинов и тесно связан с плохим прогнозом. Эти чрезмерно секретируемые провоспалительные цитокины инициируют различные воспалительные сигнальные пути через свои рецепторы на иммунных клетках и клетках тканей, что приводит к сложным медицинским симптомам, включая лихорадку, синдром утечки капилляров, диссеминированное внутрисосудистое свертывание крови, острый респираторный дистресс-синдром и полиорганную недостаточность, что в конечном итоге приводит к смерти в наиболее тяжелых случаях. Поэтому для защиты от COVID-19 наша иммунная система должна быстро реагировать на борьбу с коронавирусной инфекцией. Единственное, на что мы можем повлиять, — это здоровье микробиома кишечника.

Исследования показали, что во время изоляции люди едят больше богатой углеводами так называемой “комфортной пищи”. Увеличение потребления алкоголя, снижение физической активности, меньшее потребление свежих фруктов и рыбы и усиление стресса — все эти закономерности могут повлиять на микробные сообщества кишечника. Ученые рекомендуют придерживаться здорового питания, чтобы помочь микробиому кишечника выполнять свои функции. Стимулируя рост специфических микробов в кишечнике, они оба могут ограничить желудочно-кишечные симптомы, вызванные COVID-19, и, в конечном счете, ограничить вторичные инфекции [3].

Метаболиты комменсальных бактерий опосредуют пользу для здоровья. Метаболиты включают короткоцепочечные жирные кислоты (SCFA), производные желчных кислот и аминокислоты. SCFAs, в частности бутират, широко изучался в качестве медиатора комменсальных бактерий. При COVID-19 эти полезные метаболиты могут быть в дефиците из-за дисбактериоза.

Лактоферрин — это биоактивный пептид молока, хелатирующий железо и оказывающий благотворное влияние на развитие кишечника, а также на профилактику заболеваний. Также исследования показали, что добавление омега-3 ПНЖК и его метаболитов докозагексаеновой кислоты улучшает состав микробиоты кишечника. Пребиотики — это вещества, которые могут стимулировать рост кишечных комменсальных бактерий и производить микробные метаболиты. Они не расщепляются ферментами пищеварительной системы человека. Они не перевариваются в верхних отделах желудочно-кишечного тракта и идут прямо в нижний отдел ЖКТ. Синбиотики обладают большими преимуществами в модуляции микробиоты кишечника по сравнению только с пробиотиками и пребиотиками, ибо в их состав входят и те, и другие. Добавки витамина С могут улучшить микробиоту кишечника и выработку бутирата. Исследования витамина D показали, что пациенты с COVID-19 и его дефицитом, как правило, имеют более высокие показатели смертности, соответственно, добавки витамина D могут снизить долгосрочные последствия. Полезны также такие микроэлементы как Цинк Селен Магний [4]. Пробиотики — это разнообразные микроорганизмы, которые приносят пользу здоровью при употреблении. В вашем организме постоянно присутствуют как хорошие, так и плохие бактерии. Когда вы заражаетесь инфекцией, появляется больше вредных бактерий, которые выводят вашу систему из равновесия. Полезные бактерии помогают устранить лишние вредные бактерии, возвращая баланс. Пробиотики состоят из полезных бактерий, которые помогают поддерживать ваше тело здоровым и хорошо работающим. Часть из них вы получаете из кисломолочных продуктов.

Чтобы увеличить разнообразие микробиома, необходимо употреблять широкий ассортимент продуктов растительного происхождения с высоким содержанием клетчатки и ограничить потребление продуктов с высокой степенью переработки, алкоголя, соли, сладостей и сладких напитков, искусственных подсластителей и других добавок. Доказано, что средиземноморская диета, состоящая из фруктов, овощей, орехов, семян и цельного зерна; здоровых жиров улучшает разнообразие микробиома кишечника и уменьшает воспаление [5].

Растет дискуссия об участии микробиома кишечника в COVID-19, хотя окончательно не ясно, влияет ли микробиом на COVID-19 или наоборот. Известно, что состояние микрофлоры кишечника является одним из факторов, определяющих восприимчивость и особенности реакции на инфекционные агенты, в том числе, предположительно, в случае коронавирусной инфекции COVID-19.

### Литература

1. Ikram Hussain, Gabriel Liu Yuan Cher, Muhammad Abbas Abid and Muhammad Bial Abid. Role of Gut Microbiome in COVID-19: An Insight into Pathogenesis and Therapeutic Potencial // *Frontiers in Immunology*. – 2021. – V.12. – Pp. 1–13.
2. Jonathan P. Segal, Joyce W. Y. Mak, Benjamin H. Mullish, James L. Alexander, Siew C. Ng and Julian R. Marchesi // The gut microbiome: an under-recognised contributor to the COVID-19 pandemic? Prospects and Challenges into the Role of Gut Microbiome in Health and Disease. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*. – 2020. – V.13. – Pp. 1–14.
3. Armin Rashidi, Maryam Ebadi, Tauseef Ur Rehman, Heba Elhusseini, Harika Nalluri, Thomas Kaiser, Shernan G Holtan, Alexander Khoruts, Daniel J. Weisdorf & Christopher Staley. Effect of COVID-19 precautions on the gut microbiota and nosocomial infections // *Gut Microbes*. – 2021. – V.13. – Pp. 1–10.
4. Panossian A, Brendler T. The Role of Adaptogens in Prophylaxis and Treatment of Viral Respiratory Infections // *Pharmaceuticals (Basel)*. – V.13. – №9. – Pp. 236.
5. Marzena Jabczyk, Justyna Nowak, Bartosz Hudzik and Barbara Zubelewicz-Szkodzinska. Diet, Probiotics and Their Impact on the Gut Microbiota during the COVID-19 Pandemic // *Nutrients*. – 2021. – V.13. – Pp. 3172.



# **ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

УДК 504.03

## RESEARCHING RELEVANCE OF ENVIRONMENTAL EDUCATION THROUGH MARKET RESEARCH TO DEVELOP A NEW DIGITAL PLATFORM

*Ermochenko A.I.<sup>1</sup> (student), Fedyanina A.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – senior lecturer Savoskula V.A.<sup>1</sup>*

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

*e-mail: ale-ermak97@mail.ru*

*The work was done within the framework of the research project № 620144 «Development of functional food products for healthy aging based on secondary products of milk processing».*

---

The paper presents marketing research aimed at identifying the interest of society in matters of ecology, nature management and environmental protection. A description of a possible tool for environmental education of the population has been demonstrated through the implementation of the digital platform of the aggregator "ЭКОfor". The approach will contribute people's knowledge of ecology, nature management and environmental protection, since the structure of the platform allows a user to find necessary, verified and up-to-date information.

**Keywords:** environmental education, marketing research, project, aggregator, digital platform.

---

With the development of modern technologies and a sharp transition of a large number of people to the Internet space due to the pandemic, portals, websites, digital platforms and applications have become in need of high-quality and verified information that goes there. The research conducted by the All-Russian Public Opinion Research Center (VTsIOM) together with the National Energy Security Fund (FNEB) revealed that after the emergence of the COVID-19 virus, every fourth Russian began to think more about environmental issues [1].

In the current conditions of the global ecological crisis, human life is accompanied by great difficulties. Their elimination requires, first of all, an increase in environmental knowledge, which might further contribute to overcoming the ecological crisis. Environmental enlightenment is closely related to the concepts of environmental culture and environmental education. Khotuntsev Yu.L. and Nagibin N.I. describe environmental education as the formation of a system of scientific views and knowledge aimed at educating the moral responsibility of the individual for the condition of the environment, awareness of the need for constant care for it [2]. The definition of ecological culture was put forward by academician Mamedov N.M., this is a new way of connecting a person with nature based on deeper knowledge [3]. The concept of ecological enlightenment under study is reflected in the Environmental Code of St. Petersburg. Environmental education is the dissemination of knowledge and culture in matters of the state of the environment, the use of natural resources and environmental safety [4].

The analysis of environmental enlightenment has shown the need to create a new tool for users allowing them to study the topic of ecology from several angles and obtain available resources. In the Internet space, there is a problem of low-quality content, scattered, unreliable and unconfirmed information on environmental issues. Users do not tackle the flow of data, find it difficult to search, spending a lot of time, and further show doubt about the sources found. This affects the low-quality environmental education of the population, which needs to be changed.

For determining the interest of the population, identifying topics of concern, highlighting convenient and popular tools for obtaining information on ecology, nature management and

environmental protection, marketing research was conducted in the form of a survey. At this stage, 150 people became respondents

As a result, the survey (Fig. 1) revealed that 44.9% of respondents have an active interest in ecology, environmental protection and nature management; 29.9% of the interviewed have little interest in the subject under study; 11.6% work in the field of ecology, nature management, and environmental protection; 9.5% are or participate in the activities of public environmental organizations; and the smallest group is made up of people who are not interested in the topics of ecology, nature management and environmental protection (4%).

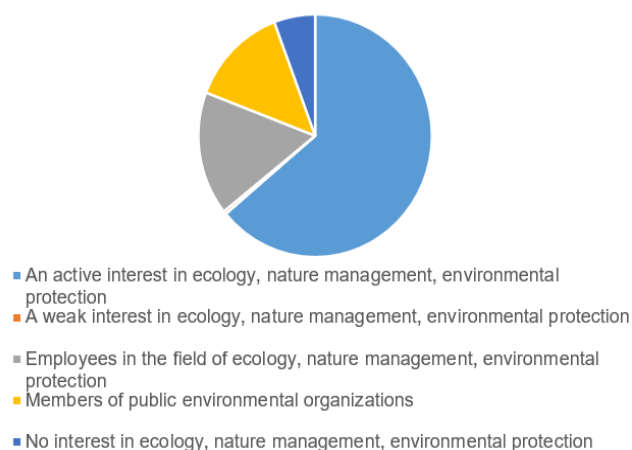


Fig. 1. Statistics of respondents' interest in ecology, nature management and environmental protection

the question "Where to hand over the secondary raw materials?" (3.8 points) and location of waste disposal (3.4 points). Further, the topics of ecological leisure and places of visits are highlighted in importance (3.16 points), tree planting (3.16 points); shops with natural, certified goods, and goods without packaging (3.15 points); environmental campaigns (2.95 points) and public non-profit environmental organizations (2.72 points); subbotniks (2.19 points).

At this stage of the study, we can conclude that a sufficient number of people are interested in environmental issues, and the interest of the rest needs to be increased through environmental awareness and raising environmental culture and education.

For a better implementation of the project aimed at environmental education, the most interesting topics for the population were identified with a questionnaire. The respondent assigned corresponding points to each proposed topic, where 5 points - this topic is very interesting, and 0 points - this topic is not interesting at all. When calculating the average score, the data showed that the most exciting topic is the separate collection of waste (3.9 points),

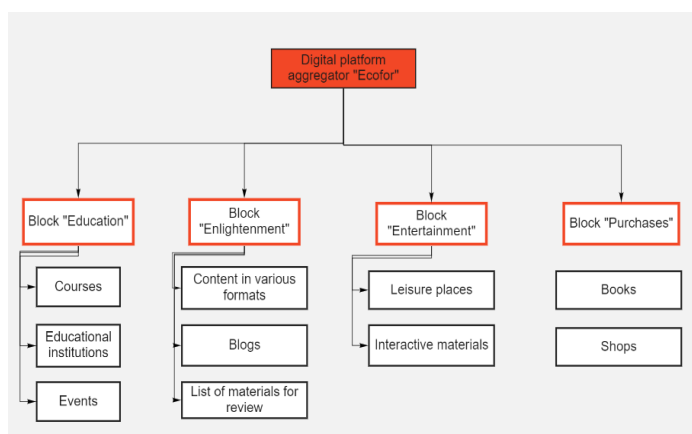


Fig. 2. General structure of the digital platform

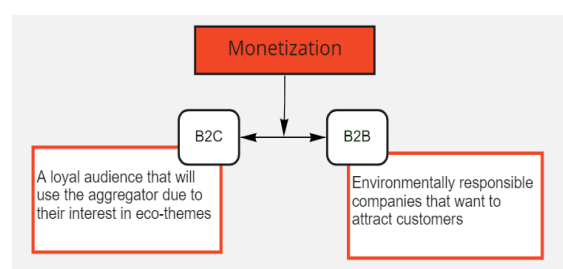


Fig. 3. «ЭКОfor» aggregator technology

Based on the marketing research results, which studied the relevance of environmental education, user interest in environmental topics and the identification of popular resources, four main blocks of the aggregator were identified: "Education", "Enlightenment", "Entertainment" and "Purchases" (Fig. 2). The first block is supposed to contain information about educational courses, higher educational institutions, advanced training, lectures, workshops and forums. The Enlightenment sector broadcasts trending content in the form of videos, podcasts and news, Instagram and Telegram blogs, and also provides an opportunity to get acquainted with the list of laws, scientific articles, periodicals and non-profit organizations related to the topic presented. "Entertainment" gives access to viewing ecological leisure places: eco-trails, museums, exhibitions and excursions. In the

"Purchases" section, you can find information about stores with eco-friendly goods and goods without packaging, which have gained popularity in recent years, as well as a list of books about ecology, nature management and environmental protection in an accessible format to motivate an eco-friendly lifestyle. When the user goes to one of the sectors on the page, a filter is presented; it includes items for each requested sector.

The aggregator technology is represented by the contact of two market relations - B2B and B2C (Fig. 3). In this context, the B2C (Business-to-consumer) market is presented in the format of business relations "aggregator-loyal audience". When implementing a digital platform, users (people associated with ecology and nature management through work; people with an active environmental position who are interested in this topic; and people who need to find proven and high-quality materials and resources aimed at ecology, nature management and environmental protection) are verified by experts, reliable information related to ecology, nature management and environmental protection becomes available.

The B2B (Business-to-Business) model is presented as an aggregator-other business relationship. During the operation of the digital platform, the site is planned to host advertisements for stores with environmental goods, enterprises with environmental responsibility that have passed the examination of the administrators of the aggregator, etc.

The initial developed structure of the aggregator can allow to draw up a technical task for the developer and implement an environmental education project. One of the funding options is scientific crowdfunding. The secondary goal at the start of the fundraising is to find partners and an audience interested in the topic. The project has no competitors on the market and is an innovative solution.

## References

1. Агентство социальной информации: исследование ВЦИОМ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.asi.org.ru/news/2020/08/19/vtsiom-ekologiya/> <https://mbnspb.ru/project/capsgood/> (дата обращения: 21.02.2021).
2. Хотунцев Ю.Л., Нагибин Н.И. Экологическое образование на уроках технологии в 5-7 классах // Экологическое образование. – 2009. – №1. – С. 52–56.
3. Мамедов Н.М. Культурно-устойчивое развитие и экологическое образование // В сб. мат. Международной научно-методической конференции посвященной Году России в Казахстане и 70-летию КазНУ им. аль-Фараби. – Алматы, КазНУ им. аль-Фараби. – 2004. – С.27–28.
4. Экологический кодекс Санкт-Петербурга, Закон Санкт-Петербурга от 18 июля 2016 года № 455-88 (1/2). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 20.01.2022).

УДК 004.023

# CHARACTERIZATION AND SCORING “SPECIAL SCORES” OF ANIMALS FROM IMAGES AND TABULAR DATA: BOOSTING THE PERFORMANCE WITH VISION TRANSFORMER AND TRANSFER LEARNING

*Le Trong Minh<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – PhD Krylova A.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*e-mail: minh.letrong.vn@gmail.com, a.krylova@itmo.ru*

This work will study and propose a hybrid model combining CNN and Swin Transformer models. The proposed model that improves image processing performance compared to single models with SOTA scaling scores shows that the model scores have better scores through a deeper dive into the features contained in the image. This article describes our approach and builds a new model based on CNN and Transformer, using raw images and the metadata to be analyzed to predict "Special Scores" of animals in the image. Based on analysis, training, and model testing on thousands of pet profiles, a pet attractiveness score is based on a standardized score.

**Keywords:** transfer learning, transformer, vision transformer, swin transformer, EfficientNet.

CNN models still have SOTA scores on Computer Vision ranking. However, new Vision Transforms algorithms are recently gradually changing CNN's dominance on the charts. This section first provides background on a family of deep neural networks, i.e., EfficientNet and Swin Transformer – one of the states of the art in Vision Transformer, which are used as the Regression engine in our work. And then, it gives a brief introduction to transfer learning as a base for further presentation.

In an attempt to improve the prediction accuracy, the EfficientNet deep neural network family has been conceptualized by scaling a CNN in three dimensions, i.e., width, depth, and resolution [1]. Among others, EfficientNet-B7 is one of the most powerful model configurations with multiple convolution layers.

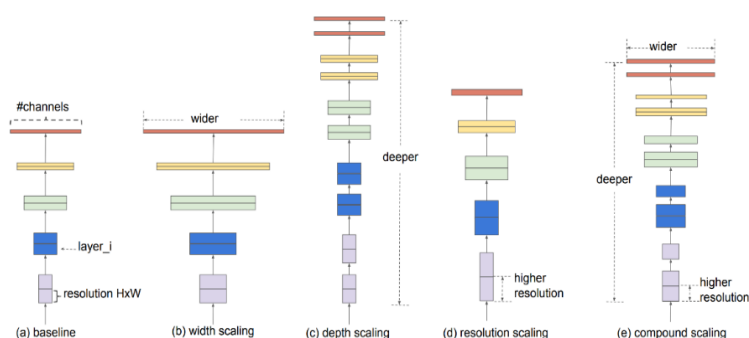


Fig. 1. Model Scaling

Recently, a novel network architecture, namely Transformer has been proposed to take advantage of both Computer Vision and NLP architectures. Transformer only uses self-attention instead of using sequence-aligned RNNs or CNNs. Various attempts have been made to apply Transformer to image tasks. The Vision Transformer architectures have been conceived to follow the original architecture of Transformer for NLP [2].

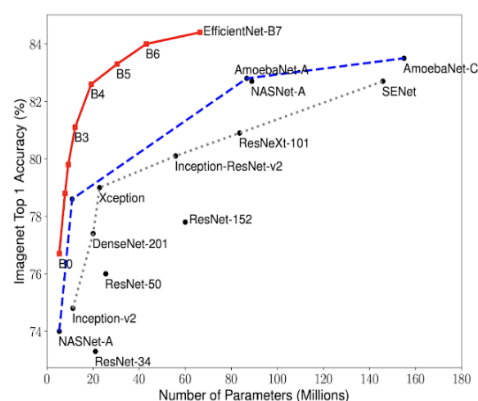


Fig. 2. Model Size vs. ImageNet Accuracy

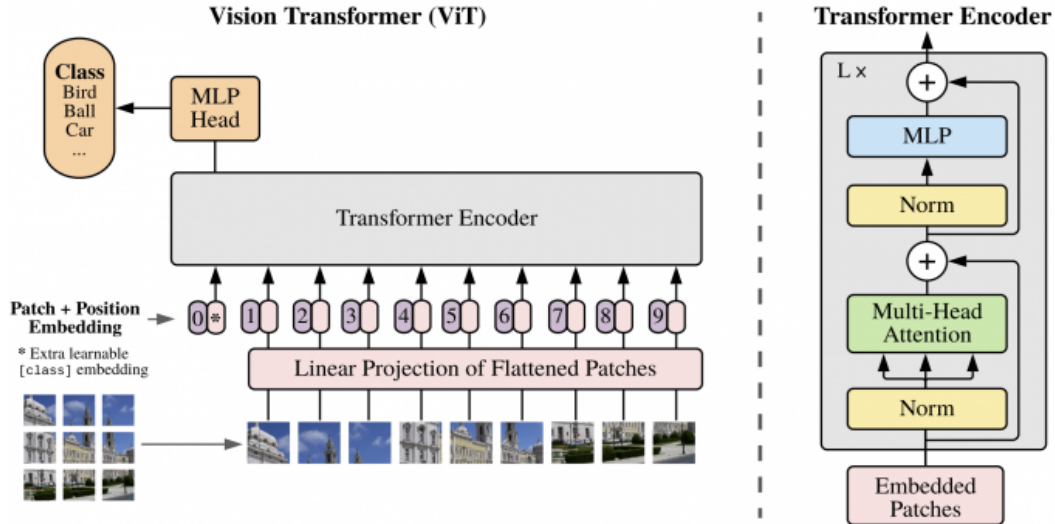


Fig. 3. Transformer Encoder applied to image patches

Swin Transformers is a subcategory of Vision Transformers, which capably serves as a general-purpose backbone for computer vision. It constructs hierarchical feature maps by merging image patches into deeper layers and has a linear computational complexity proportional to the size of the input image due to self-attention processing occurring only within each local window [3].

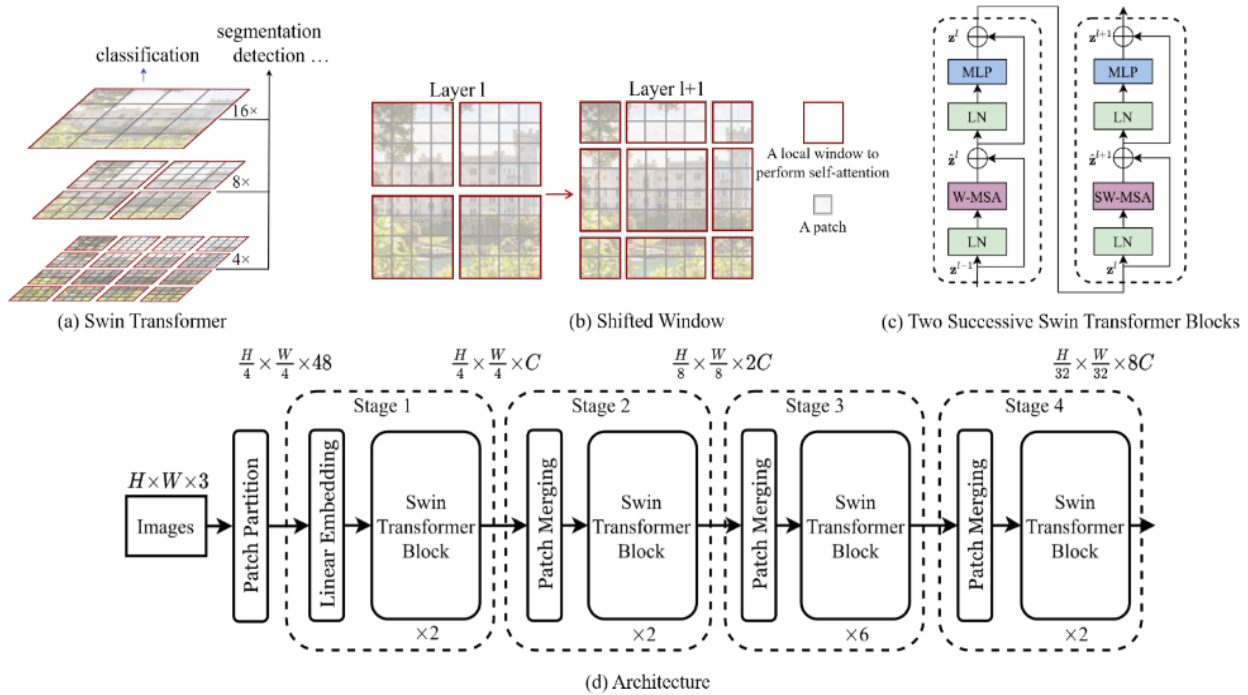


Fig. 4. Describe the architecture of a Swin Transformer (Swin-T)

Typically, a deep learning model needs a large amount of labeled data to train its weights and internal biases. Furthermore, a deeper network contains more parameters, and thus it requires more data to avoid overfitting and efficiency. In this sense, it is vital to train CNNs with sufficient data. However, it is difficult to satisfy such limitations in the field, as the labeling process is often done by hand, i.e., with human involvement. Such a process is both time-consuming and error-prone.

So, transfer learning method has been proposed as an effective method to extract and transfer knowledge from the well-defined source domain to the novice target domain. More specifically, transfer learning allows one to apply existing well-trained convolution weights from a model that has been trained using large datasets. As shown in various studies, transfer learning is still beneficial for the target domain, even if the domain is completely different from the domain from which the original weights were borrowed. In the scope of our work, I use transfer learning from pre-trained models on the ImageNet dataset [4].

The dataset used in this experiment was used by me from Pawpularity Contest on Kaggle [5]. The training set contains 9912 raw images of animals, and the test set contains 6800 raw images. Image Augmentation methods were used to make the model more general avoid overfitting on the training dataset.

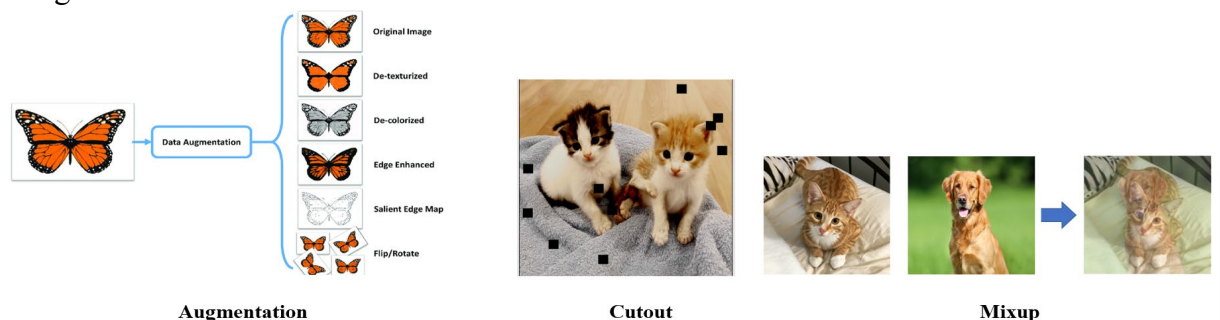


Fig. 5. Data Augmentation

The train and test files in tabular data for each photo in the training set and test set, respectively. Each pet photo is labeled with the value of 1 (Yes) or 0 (No) for each of the following features:

Example: Face - Decently clear face, facing front or near-front.

| Id                               | Subject | Fo | Eyes | Face | Near | Action | Accessory | Group | Collage | Human | Occlusion | Info | Blur | Pawpularity |
|----------------------------------|---------|----|------|------|------|--------|-----------|-------|---------|-------|-----------|------|------|-------------|
| 0007de18844b0dbbb5e1f607da0606e0 | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 1       | 0     | 0         | 0    | 0    | 63          |
| 0009c66b9439883ba2750fb825e1d7db | 0       | 1  | 1    | 1    | 0    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 42          |
| 0013fd999caf9a3efe1352ca1b0d937e | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 1         | 1    | 0    | 28          |
| 0018df346ac9c1d8413cfc888ca8246  | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 15          |
| 001dc955e10590d3ca4673f034feef2  | 0       | 0  | 0    | 0    | 1    | 0      | 0         | 1     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 72          |
| 001dd4f6fafb890610b1635f967ea081 | 0       | 0  | 1    | 0    | 0    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 74          |
| 0023b8a3abc93c712edd6120867deb53 | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 1         | 1    | 0    | 22          |
| 0031d6a9ef7340f898c3e05f92c7bb04 | 0       | 1  | 1    | 1    | 0    | 0      | 0         | 1     | 1       | 0     | 0         | 0    | 1    | 35          |
| 0042bc5bada6d1cf8951f8f9f0d399fa | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 53          |
| 0049cb81313c94fa007286e9039af910 | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 21          |
| 005017716086b8d5e118dd9fe2645b1  | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 28          |
| 00524dbf2637a80cbc80f70d3ff59e16 | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 2           |
| 00630b1262efe301cb15a3b2022ba744 | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 18          |
| 006483b96ca9c09b7afed3e3d3af539d | 0       | 1  | 1    | 1    | 1    | 0      | 0         | 0     | 0       | 1     | 1         | 0    | 0    | 41          |
| 00655425c10d4c082dd7eeb97fa4fb17 | 0       | 1  | 0    | 0    | 0    | 0      | 1         | 0     | 0       | 0     | 0         | 0    | 0    | 13          |

Fig. 6. Data Augmentation

"Special Score" is Pawpularity Score in the Tabular data. The "Special Score" is taken from each pet profile's page view statistics at the listing pages, using an algorithm that normalizes the traffic data across different pages, platforms, and various metrics. Duplicate clicks, crawler bot accesses, and sponsored profiles are excluded from the analysis.

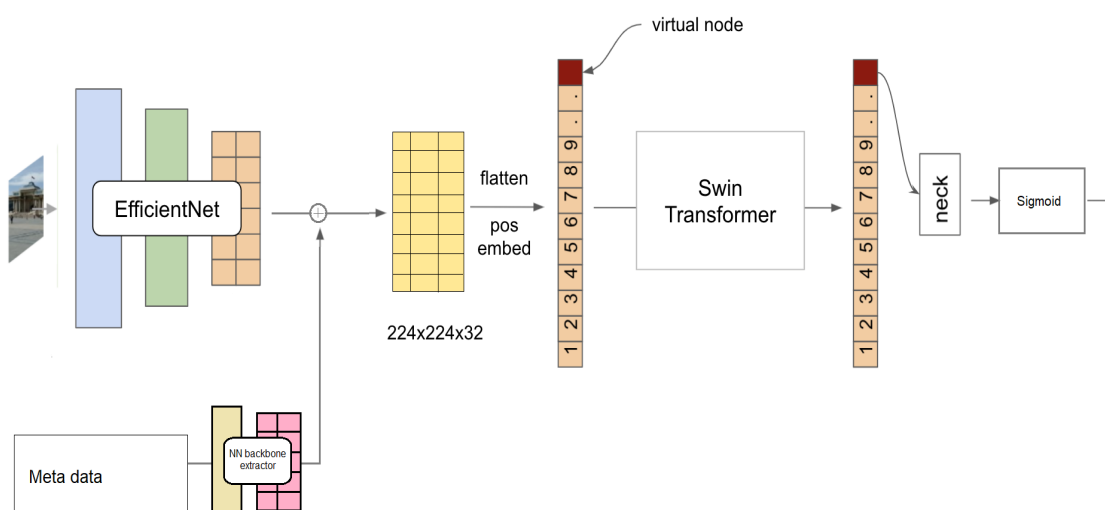


Fig. 7. Hybrid-EfficientNet-Swin Transformer

The recommended architecture is named Hybrid-EfficientNet-Swin Transformer. It can take advantage of using transformers for computer vision problems.

I appended a Swin Transformer to a CNN-encoder, and here is EfficientNet-B0. As such the CNN-part can be used as a local feature extractor, while the transformer-part is used as a graph neural



net on those local features aggregating them to a single vector. I also extracted the feature of Tabular data, then combined with the feature of the image and put it in the final feature map.

After passing through the Swin-Transformer we fed the features of the virtual token into a Fully connected – Batch Norm – ReLu neck to take the final descriptor. We used a Swin-Transformer as it is especially flexible at various scales. As input for the transformer, we use the output of a block of EfficientNet which is flattened, position embedded and projected to match the transformer dimensions and extended with a virtual token representing the aggregated information. I consider this Regression problem as a Classification problem and used the output layer with a Softmax activation function.

When combining an EfficientNet encoder and a Swin-Transformer which both have been pre-trained on ImageNet individually. Training time is reduced because of the advantage of transfer learning.

The loss function used here is the Root Mean Square Error. And here is the formula for the loss function

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2},$$

$\hat{y}_i$  is the **predicted** value and  $y_i$  is the **original** value for each instance  $i$ .

After progress training with 3 models: EfficientNet-B7, single Swin-Transformer and Hybrid model (with tabular data and without tabular data), results received on training dataset and validation dataset:

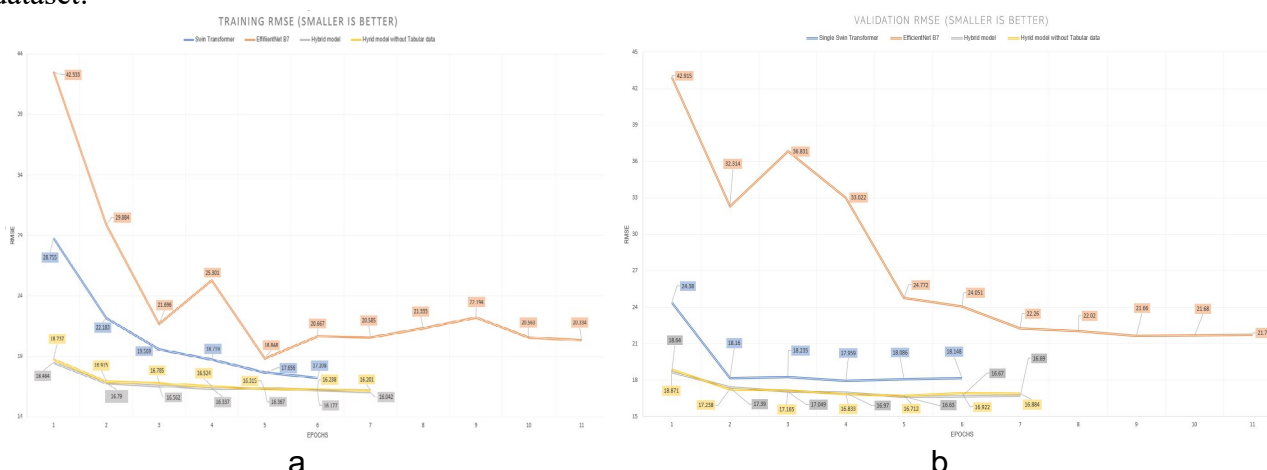


Fig. 8. Results on a) the training dataset; b) the validation dataset

The Hybrid model gives better results than the other two models, but the Swin-Transformer model gives faster training time. When adding the feature map of tabular data, the model gives no superior results, the score is slightly better. The early stopping criterion is the same for all models, used on the validation set after 2 epochs not improved with Adam optimization algorithm. The new Hybrid model has more complexity because it contains 2 blocks CNN and Swin-Transformer, so it is training a bit slower than single Swin-Transformer.

Table. Result on the test dataset

| Model                                | RMSE   |
|--------------------------------------|--------|
| EfficientNet-B7                      | 22,422 |
| Swin Transformer                     | 18,923 |
| Hybrid-EfficientNet-Swin Transformer | 17,342 |
| Hybrid model without Tabular data    | 17,601 |

We have the learning results from the models shown in the figure 7. Easily to see, the CNN model learns features from highly characteristic regions of animals such as eyes, nose, ears, and face shape. The new Hybrid model learns about features in an image more generally.



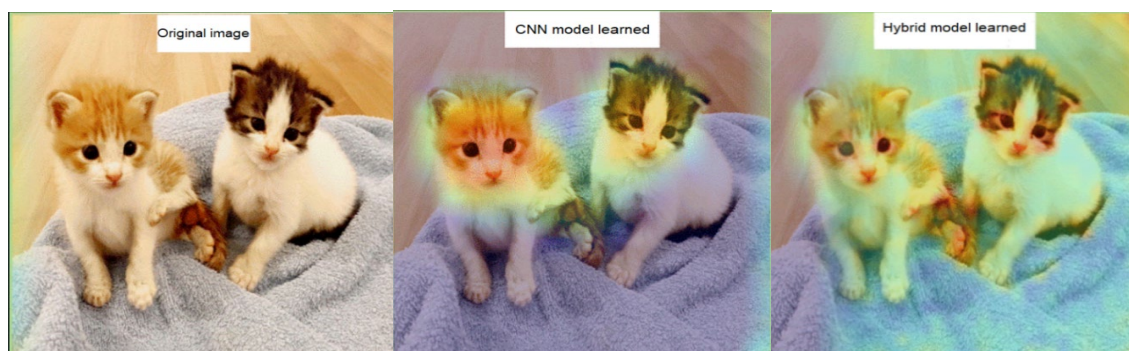


Fig. 9. Object characterization learned by 3 models

It focuses not only on areas with high salient features but also on parts with little information, such as legs, feathers, or feet. This leads to the initial conclusion that the Hybrid model gives a better performance in learning features from the image.

## References

1. Tan M., Le Q. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks //International conference on machine learning. – PMLR. – 2019. – Pp. 6105–6114.
2. Dosovitskiy, Alexey, et al. An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. – 2020. arXiv preprint arXiv: 2010.11929.
3. Liu Z. et al. Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2021. – Pp. 10012–10022.
4. Tan C. et al. A survey on deep transfer learning //International conference on artificial neural networks. – Springer, Cham. – 2018. – Pp. 270–279.
5. Pawpularity - Predict the popularity of shelter pet photos, Kaggle 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/c/petfinder-pawpularity-score> (дата обращения: 01.03.2022).

УДК 004.912

## APPLICATION OF STATISTICAL METHODS TO SOLVE THE PROBLEM OF ENRICHING ONTOLOGIES OF DEVELOPING SUBJECT AREAS

*Mashina E.A.<sup>1</sup>(student)*

*Scientific adviser – PhD Balakshin P.V.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Университет ИТМО*

*e-mail: mashina.katherina@gmail.com*

---

This article is devoted to the description of the method of enriching ontologies describing a developing field of knowledge characterized by unsteady terminology by formally analyzing a collection of texts related to the subject area of unsteady terminology, followed by the inclusion of newly identified concepts of them in the updated ontology of the subject area.

**Keywords:** the term, unsteady terminology, domain ontology, interval collection of texts, inverse document frequency, term frequency.

---

Recently, the procedures for accessing scientific and technical information have changed dramatically due to the emergence of systematized databases such as SCOPUS (scopus.com), ISI WEB Knowledge (isiknowledge.com), Zentralblatt (www.zentralblatt-math.org), Math-Net.ru (www.mathnet.ru), RSCI (elibrary.ru), etc., which contributes to the mutual exchange of information, the strengthening of competition between authors and, in general, the acceleration of the scientific and technical process.

This, in turn, makes it possible to constantly monitor a significant amount of newly emerging information to identify contemporary trends in the development of almost any specific field of knowledge for better ways to solve existing problems, as well as to search for elements of new progressive solutions.

The simplest solution to this problem seems to be the use of "advanced" methods of text processing in natural language, associated with automatic extraction of semantic information and based on in-depth analysis of the text as a whole, the scope of which includes the construction of semantic interpretation of words and constructions, as well as the establishment of "meaningful" semantic relationships between text fragments that are not limited to the size of one word or sentence [1].

Examples of such solutions can be called MyStem, AOT, LinkGrammar, and others that provide satisfactory results of automatic processing of copious amounts of textual information in "established" areas of knowledge.

However, when using such tools for automatic text processing in rapidly developing branches of knowledge on problems related to the consideration of innovative approaches or objects, the quality of work of such systems drops to unacceptable values due to the appearance of the so-called "unsteady terminology" [2, 3]. Such rapidly developing fields of knowledge include computer science, which constantly generates new entities that require their immediate epistemological comprehension and inclusion in existing knowledge structures [4].

The main problem of "unsteady terminology" boils down to the fact that the newly appeared term is not only used by the authors in different contexts but also can be interpreted in diverse ways. At the same time, the task is significantly complicated by the fact that in the newly emerging field of knowledge and activity, as a rule, there is still no well-established ontology of terms, which also significantly complicates the semantic analysis of the analyzed corpus of innovative texts.

---

Therefore, to create more productive methods of searching for the necessary information in innovative scientific and technical texts, a constant modification of the description of a specific subject area is required by integrating newly emerging terms into its structure [5].

Thus, the task is to create a method of formal analysis of a collection of texts related to the subject area of "unsteady terminology" with the subsequent inclusion of newly identified concepts of them in the updated ontology of the subject area.

Suppose we have a certain ontology of the subject area of knowledge About {}, describing concepts (terms), a certain subject area and there is a corpus of new documents K containing a set of previously unknown terms, related to the field of knowledge under consideration.

Then the task of modifying the ontology of the developing field of knowledge OModif by newly identified concepts is proposed to be conducted by consistently solving problems, among which it is necessary to distinguish:

- extraction of entities, which reduces to the definition of keywords, word forms, and word combinations that have signs of newly identified terms [6];
- definition of concepts, involving the extraction of objects semantically related to the newly identified term from the text under study [7];
- construction of relations and rules based on methods of semantic relations extraction [8];
- the extension of the ontology, which is a complex task, difficult to automate, especially given the small volumes of the corpus of the texts under consideration [9];
- quality control of the enriched ontology.

Each of the listed problems can be solved with sufficiently close results in several ways [10].

However, to increase the efficiency of the solution being created to create a method of formal analysis of a collection of texts related to the subject area of "unsteady terminology" with the subsequent inclusion of newly identified concepts in the updated ontology of the subject area, we will strive to create a homogeneous computational solution that allows us to improve the quality of the solution being created through the use of uniform assumptions and common computational structures [11] while taking into account that, that it is possible to use statistical methods at almost all the stages of ontology expansion listed above [10], let us take them as the basis of the mechanism being created.

The process of modifying domain ontologies will begin with determining the fact of appearance of a new term  $t$  in the developing domain of knowledge.

To do this, we will introduce the concept of an interval collection of KTi texts, by which we will understand text sources published over a recent time (for example, over the last month).

To reduce the "weight" of commonly used words contained in the analyzed texts, the metric of the appearance of a new entity (term) in the area under consideration for

Following [12], we will use the value of the inverse frequency of the IDF document (inverse document frequency), which is the logarithm of the inversion of the frequency with which the word in question (a new term of the subject area)  $t$  occurs in documents.

$$IDF = \lg \lg \frac{|D|}{D_i},$$

where  $D$  – is the total number of documents in the KTi interval collection,

$D_i$  – is the number of all documents in which the word (term)  $t$  occurs.

At the same time, if we define the threshold value of IDFbr as a metric corresponding to the materiality of the result obtained, then the truth of the inequality.

$$IDF_t < IDF_{br},$$

it will mean that in the subject area under consideration, described by the representative interval collection of KTi texts, a new essential term has appeared worthy of inclusion in the updated ontology, and we will assume that IDFbr is a marker determining the materiality of the appearance of stable semantic connections of the new term of the subject area  $t$  within the framework of the interval collection under consideration.

At the same time, attention should be paid to the fact that determining the threshold value of IDFbr, at which the newly identified term can be considered essential for the field of knowledge,

requires separate consideration since it is obvious that IDFbr turns out to be highly dependent on the degree of segmentation of the field of knowledge under consideration, as well as on the time interval selected during the accumulation of the analyzed interval collection of KTi texts.

Having defined the newly appeared domain term  $t$  in the way described above and having completed the stage of extracting entities, we proceed to the stage of defining concepts, which involves finding entities semantically related to the newly identified term.

To do this, we will first define the documents in the interval collection under study that most fully describe the new term discovered.

To this end, we will assume that the documents in which the new term  $t$  occurs most often are the most significant for determining the semantic properties of the discovered new term  $t$ .

Next, we determine the frequency of occurrence of the term  $t$   $TF$  (term frequency) in the document by the formula:

$$TF = \frac{C_{t,d}}{C_d},$$

where  $C_{t,d}$  – is how many times the term  $t$  occurs in the document  $d$  belonging to the analyzed collection,

$C_d$  – is the total number of words in the document  $d$ .

After that, we will evaluate the importance of the new term  $t$  in the context of a document that is part of the interval collection of KTi texts.

To do this, we will consider the assumption made earlier that the "semantic weight" of the identified term  $t$  is proportional to the frequency of use of this term in the document and inversely proportional to the frequency of its use in all documents of the KTi interval collection.

Thus, the final "semantic weight" of a newly defined term  $t$  in a specific document  $d$  relative to the entire interval collection of KTi texts can be calculated by the formula:

$$V_{t,d} = TF * IDF.$$

At the same time, the greater "semantic weight" in  $V_{t,d}$  will receive a specific term  $t$ , which manifests itself with high frequency within a specific document  $d$  and is used with low frequency in other documents of the interval collection of KTi texts. This is since the more often the term  $t$  occurs in a document, the better it reflects its content of the text (and therefore shows its semantic characteristics in the greatest way), on the other hand, the more documents the term occurs in, the less significant it is for identifying new meanings.

It should be noted that the metric  $V_{t,d}$ , used in the first approximation as the main parameter describing the "semantic weight" of a new term, evaluates the significance of a new term only in terms of the frequency of occurrence in the document, thereby not taking into account the order of the terms in the document and their syntactic role. This means that in the described method, the semantics of a particular document  $d$  is reduced to the lexical semantics of the terms included in it, and the compositional semantics of the text in question is not considered.

On the one hand, this increases the productivity and simplicity of the method, on the other hand, the simplification of the task can negatively affect the quality of intermediate results. In this regard, the penetration of errors associated with this simplification into the definitive version of the construction of the refined ontology will be further compensated by the procedures for the final verification of the enrichment results.

The next step of the described algorithm is to identify objects semantically related to the newly identified term.

It is proposed to conduct this procedure considering the assumption that the more often in the text under study terms occur next to each other at 3 – 5 words (such a "distance" may indicate the existence of a semantic connection between words), the more likely they are connected in the ontology of the subject area under consideration.

To identify the relationship of already established terms included in the subject ontology with the newly identified term  $t$ , during the processing of each document of the interval collection KTi (and containing the term  $t$ ) for each pair of terms (new and already included in the ontology), information on the frequency of their occurrence separately and together is collected for the collection

KTi. After that, the values of the selected communication measure are calculated. Then the studied pairs are ordered according to the calculated values of the metric used. In general, the higher the value of the specified metric, the stronger the semantic connection between the terms.

Since several the considered pairs of terms, accidentally being next to each other within the same document, may have no connection, to increase the correctness of this mechanism, it is necessary to establish a "cut-off threshold" that prevents the definition of a connection between rarely occurring pairs of terms. At the same time, such a cut-off threshold can be determined empirically when setting up a semantic connection search system.

As a similar measure in the proposed method, it is possible to use a universal measure of correspondence – the MI measure [13], which assesses the degree of dependence of the appearance of two words in a document on each other:

$$MI = \frac{f(t, t_i)N}{f(t)f(t_i)},$$

where  $N$  is the size of the interval collection of KTi in words,

$f(t)$  - is the frequency of occurrence of the new term  $t$ ,

$f(t_i)$  - frequency of occurrence of the term  $t_i$ , already available in the ontology of the subject area,

$f(t, t_i)$  is the frequency of joint occurrence of the terms  $t$  and  $t_i$  in one document.

It should be noted that the proposed statistical criteria are not fully able to consider all the semantic features of the extracted terms, since in scientific and technical texts of the expanded fields of knowledge there are often a large number of "authors" low-frequency terms or entities with non-standard structure, the connections of which often remain unrecognized.

However, in the first approximation, they can be excluded from consideration by correctly adjusting the threshold cut-off coefficient IDFbr (introduced into consideration in inequality (2)), at which the newly identified term can be considered essential for an expanding field of knowledge.

The next step in enriching the ontologies of a developing field of knowledge is the task of identifying and attributing semantic connections of newly identified terms, which at the first stage can be attributed to:

1. Synonymous relationships defining close or coincident entities.
2. Hierarchical relationships (relationships of the type "genus-species"), which characterize the possible classification of several objects of the subject area according to certain characteristics.
3. The "part-whole" relationship that defines the relationship between the entities of a composite object (curriculum - training course).
4. Cause-and-effect relationships, which sets the permissible limits of the influence of entities on each other.

An effective method of extracting such relations is a method based on lexical and syntactic templates [14]. However, it should be borne in mind that one of the problems in the automatic extraction of relations is that the same relations may have different spelling, which significantly reduces the quality of the final solution. At the same time, the further process of expanding the ontology of a developing subject area can be reduced to the expansion or restructuring of its system of concepts.

The simplest case of ontology expansion is the addition of a newly identified attribute to a certain concept. At the same time, it should be considered that the attribute added to a particular concept could already be present in concepts that are descendants of an attribute-extensible concept. At the same time, adding the newly identified concept to the modified ontology to the lower level of the hierarchy of concepts will not cause violations of the integrity of the system, since the new concept will automatically inherit the attributes and connections of the parents. If the newly identified concept is added to the hierarchy between the two "old" concepts, additional actions will be required to avoid duplication and name collisions.

In conclusion, it should be noted that the method described in this article for the formal analysis of an interval collection of texts related to the subject area of "unsteady terminology" with the subsequent inclusion of newly identified concepts in the updated ontology of the subject area is quite simple in computational implementation since it contains a solution homogeneous according to the

applied mathematical methods. At the same time, the proposed method can easily be applied to create automated analytical systems for monitoring developing subject areas to identify newly emerging results and trends.

## References

1. Jurafsky D., Martin J. *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics and Speech Recognition*. – 2008. – 1024 p.
2. Лейчик В.М. Несложившаяся терминология формирующейся области знаний и деятельности // Научно-техническая терминология. – 2003. – Вып. 1. – С. 13–16.
3. Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П. Междисциплинарность в системе интернет: представление предметных областей с неустоявшейся терминологией // Труды Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: экзафлопсное будущее», Абрау-Дюрсо, 19–24 сентября. – 2011. – С. 454–456.
4. Рыбакова А.С. Обзор современных исследований в области компьютерной терминологии // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) Серия: Филологические науки. – 2014. – №8. – С. 112–114.
5. Загоруйко Ю.А., Боровикова О.И. Технология построения онтологий для порталов научных знаний // Вестник НГУ, Серия: Информационные технологии. – 2007. – Т.5. – Вып.2. – С. 42–52.
6. Gattani A., Doan A., Lamba D.S., Garera N., Tiwari M., Chai X., Das S., Subramaniam S., Rajaraman A. and Harinarayan V. Entity extraction, linking, classification, and tagging for social media // Proc. VLDB Endow. – 2013. – Vol.6. – №11. – Pp. 1126–1137.
7. Buitelaar P., Cimiano P. and Magnini B. *Ontology learning from text: methods, evaluation and applications*. Journ. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2007. Vol. 123. 180 p.
8. Gupta R., Halevy A., Wang X., Whang S.E. and Wu F. Biperpedia: an ontology for search applications. Proc. VLDB Endow. – 2014. – Vol.7. – №7. – Pp. 505–516.
9. Petasis G., Karkaletsis V., Paliouras G., Krithara A. And Zavitsanos E. *Ontology population and enrichment: state of the art – knowledge-driven multimedia information extraction*. Springer. – 2011. – Pp. 134–166.
10. Николаев И.С., Митренина О.В., Ландо Т.М. *Прикладная и компьютерная лингвистика*. — М.: URSS. – 2016. – 320 с.
11. Hulth A. Improved Automatic Keyword Extraction Given More Linguistic Knowledge // EMNLP'03 Proc. 2003 Conf. Empir. Methods Nat. Lang. Process. – 2003. – №2000. – Pp. 216–223.
12. Jones K.S. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval // Journal of Documentation: MCB University: MCB University Press. – 2004. – Vol. 60. – №5. – Pp. 493—502.
13. Хохлова М.В. Сопоставительный анализ статистических мер на примере частеречных предпочтений сочетаемости существительных// Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии. – 2017. – Вып. 1. – С. 166–171.
14. Fader A., Soderland S. and Etzioni O. Identifying relations for open information extraction. Proc. Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing. – 2011. – Pp. 1535–1545.

УДК 004.4.41

## APPROACHES TO THE INITIAL STAGE OF SEMANTIC ANALYSIS OF LARGE INFORMATION ARRAYS OF SCIENTIFIC INFORMATION SOURCES

*Mashina E.A.<sup>1</sup>(student)*

*Scientific adviser – PhD Balakshin P.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Университет ИТМО*

*e-mail: mashina.katherina@gmail.com*

---

The present work is devoted to the consideration of the issue of conducting a preliminary assessment of the significance of a scientific text when conducting an information search. The paper describes a method for evaluating the type of information that this text contains, based on a semantic analysis of typical structural parts of a scientific article using key terms-markers and semantic templates.

**Keywords:** information search, semantic analysis, the structure of a scientific article, word form marker, semantic template.

---

The need to acquire new knowledge is always the main goal of almost any natural science research and, as a rule, requires pre-processing of a large number of scientific texts related to the in-depth study of subject facts, methodological support, and the general scientific environment of the problem being solved.

Moreover, in the first approximation, this preliminary processing of the available subject data surrounding the problem understudy in the first approximation can be reduced to structured information and bibliographic subject search.

The current level of development of search services, the universal openness of information resources, and a high degree of structuring of scientific data are today the three fundamental principles on which the high pace of modern scientific research is maintained.

However, as the experience of processing scientific sources in the so-called "breakthrough directions" has shown (the typical representative of which in the last two years are issues related, for example, to the COVID-19 pandemic), it is quite difficult to navigate a large number of diverse scientific publications published in the first (most breakthrough) months of any innovative research and to conduct their comparative assessment [1, 2].

There are several reasons for this.

Firstly, the newly emerged topic of the emergence of a new global threat has prompted a large number of scientists to simply express their opinion on such an urgent problem, sometimes artificially "tying" their research to it.

Secondly, a significant part of the work is descriptive, is reduced to the enumeration, and initial systematization of the data available at that time, which, in turn, leads to multiple duplications, and sometimes to its recursion.

Thirdly, a large amount of material contains a statement of hypotheses that have not passed the necessary checks.

At the same time, any start of work in a new topic of innovative research for the authors always requires, at the initial stage of work, pre-processing a sufficiently large amount of source bibliographic material on the topic both for a preliminary assessment of the prospects of developments and for determining the most promising areas of work.

However, automated processing of large volumes of information arrays of scientific information on the topic of innovation is often difficult due to the lack of a detailed reference

ontological model of the problem under consideration, which usually does not allow the full use of automatic methods of semantic analysis of texts. And this does not allow automatically ranking the entire information array of scientific texts according to their scientific significance.

It should also be noted here that the methods of comparative ranking of the scientific significance of a particular material, which is well applicable in scientific research, is based on the indices of absolute or relative citation of the authors of the work and its literary sources [3, 4] are not particularly applicable at the initial stage of research in a fairly new and "fashionable" subject area, since the marketing strategies of modern research teams directly force authors to demonstrate their presence in the field of research as soon as possible, and not to publish specific research results that can be used in further research.

In this regard, the authors of this work set the task of creating a universal algorithm for preliminary semantic filtering of large volumes of scientific texts in the initial absence of a reference model of an innovative subject area for some formal features.

It should be noted that due to the wide variety of existing types of scientific knowledge, to create a universal algorithm for semantic analysis of scientific texts, it is initially necessary to determine a set of some universal criteria for evaluating scientific texts that do not depend on the type, functional purpose, subject areas and directions of the research described in the texts.

The created universal algorithm for evaluating and comparing the significance of all scientific texts should reflect something most significant.

Therefore, it is proposed to build an assessment of the importance of scientific texts as an informational basis for future research, regardless of their specific subject content, based on the three most important parameters of the description of a scientific text:

1. The type of information that this text contains.
2. The novelty of the information contained in the text.
3. The scientific significance of this information.

It should be noted here that all three presented divisions according to the main evaluation criteria (type of information, its novelty, and its significance) have completely different principles of internal division into incoming entities and criteria of this division. Therefore, they must obey various methods of automatic division into subclasses.

At the first stage of the work, we will consider in more detail the semantic division of scientific texts by type of information. At the same time, we consider that of the entire volume of scientific information sources used, we will only further analyze publications in the form of:

- scientific articles in scientific journals, almanacs, and collections of scientific papers;
- materials of scientific conferences;
- abstracts of scientific conferences;

Since it is in these sufficient sources that, as a rule, the greatest amount of operational information about current research is contained.

It is obvious that at the initial stage of research, authors in third-party sources are not interested in actual data, but the knowledge accumulated in the field under study. Therefore, it is necessary to separate sources based on the processing of data into knowledge.

To do this, to create a universal method of semantic analysis, we will conduct the specified subdivision of all tests of scientific articles by the type of data contained in them. At the same time, all types of information contained in scientific texts can be divided into five main information classes:

1. Descriptive and registration works containing descriptions of individual phenomena, their properties, and relationships determined by observation or experience; abstract reviews containing aggregated statements of already published materials (Class C1) may also belong to this class.
2. Analytical reviews are characterized by a higher level of scientific processing (reinterpretation) of previously received information, which provides not only a description of phenomena and individual facts but also makes an initial analysis of relationships and interdependencies, as well as contains practical recommendations that usually do not require changes to previously developed concepts (Class C2).



3. Description of improvements to existing entities or development of new concepts recognized by patent specialists as objects of inventions and subject to copyright protection (Class C3).
4. Description of studies devoted to solving problematic issues or creating new methods (including experimental techniques) and devices (Class C4).
5. Scientific information containing a theoretical solution to certain problems based on which patterns, laws, or theories are built (class C5).

Such a division of a large number of scientific texts of the categories presented above is necessary for the correct use of various information at various stages of newly conducted scientific research.

Now, it is possible to define two types of basic approaches to the semantic analysis of information arrays:

- methods based on the use of machine learning systems [5],
- methods based on structural analysis of sources [6].

It is obvious that, with all the progressiveness and flexibility of approaches associated with the use of machine learning algorithms, it requires a large amount of pre-labeled data for conducting neural network pre-training procedures. Therefore, for the semantic analysis of innovative texts, the application of this approach is unlikely to lead to a stable result [7, 8].

In this regard, the most reasonable approach for the preliminary semantic analysis of scientific articles about belonging to one or another type of information content, the authors of this work see the structural analysis of the text of a scientific article developed by them based on essential word forms.

The essence of the developed method consists in conducting a consistent analysis of the essential parts of a scientific article for the presence of certain terms and word forms in them, semantically if the material belongs to a particular information type.

A scientific article is, as a rule, a well-structured set of textual data [9], consisting of six mandatory parts: title, keywords, abstract, introduction, main content, conclusion.

For each of these six structural parts of a scientific article (P1..P6), by preliminary analysis, sets of characteristic terms and word forms are selected that characterize the affiliation of the work to one or another of the five classes presented above (C1..C5).

Since the authors of the work set the task of creating a universal (that is, a subject-independent algorithm), only terms related only to epistemology, bibliography, and methodology of scientific research, including methods of extraction, isolation, generalization, and presentation of scientific results, were used as characteristic word forms.

As an information array of data for testing the proposed method, a test database of scientific texts was used, consisting of 8122 scientific articles on virology and computer science with a pre-known degree of generalization of the information described in them.

All articles were randomly divided into two equal groups. The first group of texts is used to highlight word forms-markers. The second group of texts was used to test the proposed analysis algorithm.

Each of the texts under consideration was automatically divided into 6 structural parts (P1..P6) according to the formal ones.

From the analysis of the first group of texts, based on a comparative analysis of the first group of texts, 30 mutually overlapping arrays of terms (P1C1..P6C5) containing 416 epistemological and methodological concepts characteristic of one or another part of scientific work, which allow with a high degree of probability to attribute it to one or another type of information class (C1..C5).

Based on the information obtained in this way, more than 75 typical semantic templates for the construction of scientific articles related to the classes of scientific texts described above were constructed.

To build templates, the methods of structural linguistic analysis of texts described in [6, 10], as well as some algorithms borrowed from the developed machine translation technology based on rules [11, 12] were used. Automated identification of characteristic terms and word forms was carried out using the technology of identifying keywords based on the technology of slimming and frequency

analysis [13]. At the same time, an ontological graph of semantic relations is constructed for each of the templates, characterizing the subordination relations between the "key marker terms" included in the template.

At the second stage of processing the first group of texts, for each of the parts of the text, a frequency analysis of the word forms that make up the fragment was performed to identify predefined "key marker terms" and "standard templates" that allow us to judge with a high degree of probability the semantic belonging of the text to one of the five types listed earlier.

At the third stage, for texts from the second group, a comparison was made of the set of "key terms-markers" obtained for a specific text of the text belonging to a particular "standard template" according to the algorithm shown in Figure 1.

It should be noted that the proposed algorithm provides not only for the classification of articles by the type of information contained in it but also for the possibility of creating new "standard templates" associated with the appearance of "key marker terms" in the sample under study that was not previously encountered. At the same time, the newly formed "standard template" goes through the approval procedure.

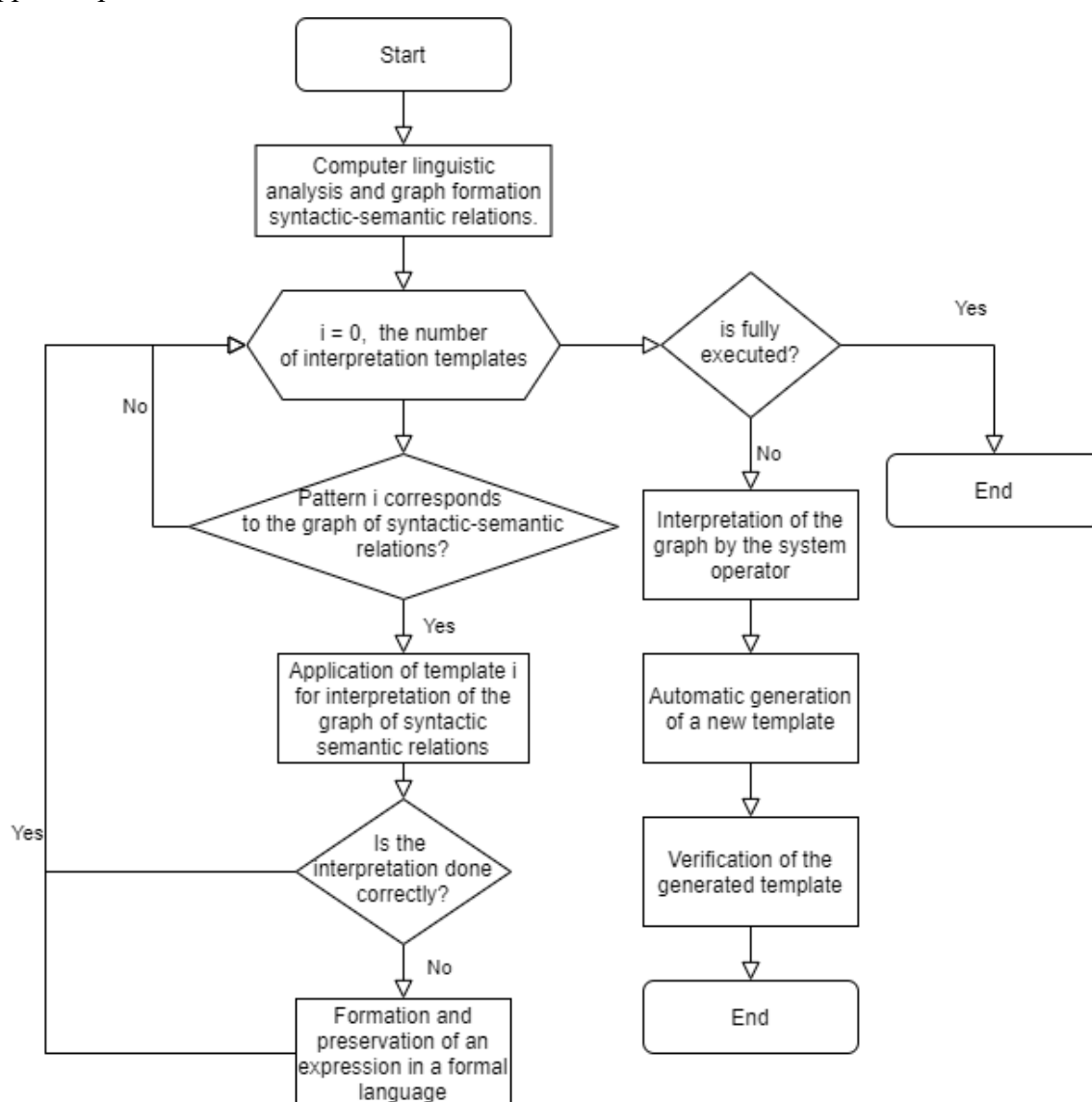


Fig. 1. The scheme of the comparison algorithm, considering the possibility of expanding several "standard templates"

Based on this, information can be obtained about the most accurate correspondence of the text under study to a set of typical templates characteristic of a particular type of information content of the material, about which the final judgment is made.

To check the universality of the work of the constructed algorithm for preliminary semantic analysis of the type of information contained in the article, and information array of scientific articles on soil science (356 texts) was used, which was used during the work on the creation of a method for determining the type of soil horizon by bioindication method [14]. At the same time, the obtained result showed high efficiency in determining the type of information contained in the article when using the method described above.

In conclusion, we note that the created method of preliminary semantic analysis of the type of scientific text is the first step in creating a universal methodology for semantic analysis of the scientific significance of information sources, which, according to the authors, will be useful at all stages of scientific research as a tool for analyzing arrays of bibliographic information provided by search engines.

## References

1. Costa R.V., Ramos A.P. Designing an AHP Methodology to Prioritize Critical Elements for Product Innovation: An intellectual capital perspective. *International Journal of Business Science and Applied Management*. – 2015. – Vol.10. – Iss.1. – Pp. 15–34.
2. Schmidt G.A., Girard T.D., Kress J.P., Morris P.E., Ouellette D.R., Alhazzani W. et al. Official executive summary of an American Thoracic Society/American College of Chest Physicians clinical practice guideline: liberation from mechanical ventilation in critically ill adults. *Am J Respir Crit Care Med*. – 2017. – Vol.195(1). – Pp. 115–119.
3. Rousseau R. Journal evaluation: Technical and practical issues // *Library Trends*. – 2002. – Vol.50. – No.3. – Pp. 418–439.
4. Glänzel W. Towards a model for diachronous and synchronous citation analyses // *Scientometrics*. – 2004. – Vol.60. – No.3. – Pp. 511–522.
5. Машина Е.А., Баркалов М.М. Возможности использования методов машинного обучения для анализа массивов фактографических данных, генерируемых при использовании пациенто-ориентированных телемедицинских систем // *Сборник трудов VIII конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-19 апреля 2019 г.)*. – 2019. – Т.3. – С. 260–263.
6. Машина Е.А. Main directions of implementation of the translation system Highly specialized medical content in patient-oriented telemedicine systems//*Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание*. – СПб: Университет ИТМО, 2021 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://kmu.itmo.ru/digests/article/5470> (дата обращения: 01.03.2022).
7. Popesu A.-M., Etzioni O. Extrating Produt Features and Opinions from reviews // *Natural Language Proessing and Text Mining / A. Rao, S.R. Poteet (eds.)*. – Springer. – 2007. – Pp. 9–28.
8. Priss U., Old L.J. Modelling Lexial Databases with Formal Conept Analysis // *J. Univer. Comput. Sci.* – 2004. – V.10. – No8. – Pp. 967–984.
9. Davis M. *Scientific Papers and Presentations*, 2nd Edition // Academic Press. – 2005. – 384 p.
10. Машина Е.А. Технологические особенности автоматической адаптации узкоспециализированных профессиональных текстов к понятийному ряду неквалифицированных пользователей // *Сборник трудов X Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 14–17 апреля 2021 г.)*. – 2021. – Т.1. – С. 124–128.
11. Машина Е.А., Наумова Н.А. Механизмы автоматизированной обработки по ключевым словам первичных обращений за медицинской помощью пациентов с нетипичными симптомами // *Сборник трудов X Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 14–17 апреля 2021 г.)*. – 2021. – Т.3. – С. 14–17.
12. Mashina E.A. Taking into account the peculiarities of converting highly specialized professional texts to a conceptual series that is understandable to unskilled users when choosing machine translation technologies implemented within a single language // *Сборник трудов X Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 14-17 апреля 2021 г.)*. – 2021. – Vol.1. – Pp. 358-36113.

13. Машина Е.А., Наумова Н.А. Подходы к автоматизированной обработке пользовательского запроса по ключевым словам при первичном обращении за медицинской помощью пациента с нетипичными симптомами // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2021 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://kmu.itmo.ru/digests/article/5471> - 2021 (дата обращения: 01.03.2022).
14. Машина Е.А., Сушенцова М.В. Подготовка данных для предобучения нейросети при определении состава пахотного горизонта автоматизированным методом фито-индикации // Сборник трудов X Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 14–17 апреля 2021 г.). – 2021. – Т.2. – С. 127–130.

УДК 004.912

## USING AN ONTOLOGICAL APPROACH TO FORM ROADMAPS FOR ADDITIONAL TRAINING OF NEWLY HIRED EMPLOYEES OF A COMPANY FOCUSED ON CREATING INNOVATIONS

*Mashina E.A.<sup>1</sup>(student)*

*Scientific adviser – PhD Balakshin P.V.<sup>1</sup>*

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

*e-mail: mashina.katherina@gmail.com*

---

This article is devoted to the issues of increasing the validity of additional training programs for newly hired employees of innovative companies. The paper describes an approach to creating an automated method for generating roadmaps of retraining, using cognitive maps of workplaces and job seekers based on an anthological approach to the analysis of educational competencies and professional requirements for an employee.

**Keywords:** roadmap, knowledge map, ontology, concept, educational program, business process.

---

It is known that for any company engaged in the development and production of high-tech innovative products in large volumes, there is a significant structural «mobility». It is expressed in a constant change in the types of tasks solved by employees of such enterprises and imposes additional requirements on employees' qualifications of [1]. Often, this leads to the case when finding an employee who fully meets the required qualification requirements turns out to be quite a serious problem [2]. In this regard, organizations that are actively engaged in the generation of innovations need to spend additional resources to prepare an employee with a certain set of "standard knowledge and competencies" for innovative activities that require additional skills [3].

To increase the efficiency of creating trajectories in necessary additional education of employees newly attracted to innovative companies, a formal mechanism should be developed. It allows identifying the existing difference in qualifications and offering an applicant or a company to create a roadmap for retraining a newly hired specialist.

Earlier [4], an innovative method was proposed for solving the problem of choosing a roadmap to retrain a specialist. The approach is based on comparing the cognitive map of the vacancy workplace and the applicant cognitive map, designed to increase the efficiency of including a new employee in the workflow.

At the same time, the cognitive maps of workplace and applicant are understood as specially organized knowledge maps, which are currently used in a wide range of specific implementations to solve knowledge management problems [5].

Among various approaches to the construction of educational cognitive maps, the ontological approach was chosen, since it is one of the most widely used current methodologies for managing heterogeneous corporate data [6] including:

- allocation of basic concepts (concepts) for the subject area under consideration;
- initial definitions of the number of levels of abstractions under consideration;
- distribution of previously defined concepts by levels;
- building links between concepts, expressed in a formal description of their relationships and interactions of basic concepts;
- exclusion of inaccuracies and contradictions.

By choosing the ontological approach as the basic method for the solution, the task of constructing additional training trajectories for newly hired employees based on a comparison of cognitive maps of workplaces and job seekers can be reduced to solving three separate subtasks:

- creation of a cognitive map of the workplace based on the isolation of necessary concepts, relationships, interactions, and other additional necessary elements of the ontology, which describes necessary professional competencies of an employee in a specific position in a company; it is produced based on isolation of necessary information from the general ontology of knowledge accumulated and used in the construction of the corporate information system of the enterprise;
- creation of a cognitive map of the applicant based on the generalization of their professional skills and competencies described in the ontologies of general and vocational training curricula completed earlier;
- definition of an employee's retraining program, necessary knowledge, and skills, based on the difference between the ontologies of the cognitive map of workplace and the applicant, creating a unique retraining program for a particular employee.

It is worth mentioning that creating summary cognitive maps describing both the vacancy and the applicant is often necessary to combine ontologies, associated, for example, with the fact that work is being done on several projects described by several subject ontologies at the workplace, or the applicant has several professional educations.

To solve the problem, we perform a semantic simplification of the tasks set, considering that all concepts included in the sets of ontologies are used to create cognitive maps of workplaces and job seekers can consist only of uniquely defined elements that do not allow multiple interpretations and the presence of synonymous series, meaning the existence of incomplete correspondence. At the same time, the basic restriction on ontologies created during research is that they are all organized exclusively in the form of trees or forests of root graphs, which essentially prohibits the creation of cyclic graphs, that is, prohibits the presence of vertices that are the parents of one of their ancestors.

The specified restrictions on the type of ontologies only by trees provide manipulations with these ontologies entirely using operations on small sets of root vertices. Moreover, the application of these restrictions on the construction of ontologies is natural and very productive in the cases when the final ontology is designed as a conceptual extension of a higher-level ontology [7].

All the above allows to build cognitive maps of the first approximation using for the most part only the operation of combining ontologies (margining), which generates a third, combining information from the first two ontologies.

Before describing the operations of combining the constructed ontologies, we note that the entire variety of ontologies can be represented as:

$$O = (C, R, A),$$

where  $O$  is the ontology under consideration,  $C$  is the set of concepts that make it up,  $R$  is the set of relations between concepts,  $A$  is the set of laws and axioms describing the principles of the existence of concepts.

Moreover, according to the depth of semantic description and elaboration of the description of structures and concepts [8], all ontologies can be divided into:

- weighty (Heavy-weighted), in which  $O = (C, R, A)$ ;
- light (Light-weighted), in which  $O = (C, R)$ .

Obviously, the ontologies we are considering for constructing cognitive maps belong to the class of «light ontologies», then the operation of combining Light-weighted ontologies can be reduced to their merging. The merging of ontologies and to form the resulting ontology can be implemented as:

$$O_{1+2} = O_1 \cup O_2,$$

where  $O_1 \cup O_2 = (C_1 \cup C_2, R_1 \cup R_2)$ .

Notably, the specified merge is always computable, but the result may contain contradictions that require a final check for consistency, after which the merger process can be considered completed.

At the same time, the creation of an applicant's cognitive map is performed by the described merging of ontologies (merging) to form a new consistent ontology of role competencies, which includes both the terms of all training courses completed by an applicant, used by several contexts (which are identified by using the ontology intersection operation), and other terms from the connected contexts that are not shared.

In modern literature, the topic of using ontologies to describe the educational process of a university for engineering specialties is considered in sufficient detail [9]. However, without further clarification of the concepts up to the level of specific terms used in the programmer's work, most of them cannot be used as source material for building cognitive educational maps of applicants.

In this regard, for the construction of cognitive maps of applicants, the lowest level of subject terms contained in the curricula of specialization are assumed to be used as concepts. At the same time, it is obvious that the use of additional clarifying information about the content of academic disciplines contained in curricula can significantly expand the functionality of the created subject ontology, bringing it to a form that allows its further use for solving a wide range of applied problems. The study of the repeatability of information about the same concepts in different training courses is worthy of a separate serious study, the implementation of which was not the purpose of this work.

The ontology of competence requirements for each workplace, which underlies the creation of a cognitive map of the workplace, is created based on other information sources. Ontologies of workplace competence are built based on combining qualification requirements determined by combining processes described by ontologies of business processes, in which an employee is involved in this workplace.

The information necessary to build a cognitive map of workplace, which the applicant expects, can be isolated in a certain way from the corporate information system of an enterprise, and it can be contained among other things in the following sections of the corporate information system of the enterprise.

- job descriptions defining the scope of their duties at the enterprise, from which, based on the analysis, it is possible to build an anthology of business activities performed at a specific workplace;
- subject ontologies of information technologies that a programmer works with at their workplace;
- subject ontologies of projects in implementation of which a specific employee participates.

At the same time, to seriously simplify the further analysis, the specified ontology should be created using concepts terms and concepts already obtained in the educational anthology, used to create an applicant's cognitive map or concepts similar in level of disclosure to them (if the concept has not been encountered in the educational ontology).

The next stage of the work is the stage of comparing the obtained ontologies created as a basis for further generation of cognitive maps of jobs and job seekers.

Since, the ontologies we consider for constructing cognitive maps belong to the class of "light ontologies", they can be compared by a simple method of semantic matching [10], which determines those nodes in two structures (in our case, in ontologies) that semantically correspond to each other.

Currently, a fairly large number of specialized tools have been developed for the implementation of such procedures. The most common is the S-Match framework, which result is the determination of several correspondences among the analyzed concepts that are part of both ontologies.

It should be noted that a mismatched set of concepts of cognitive maps of workplace and applicant (determined by the XOR operation) on the part of the workplace. In this case, the initial data for adjusting the educational program for the applicant, and on the part of the educational institution that trained the specialist can be a signal about a possible need to adjust training programs that do not meet the existing requirements of employers. However, the effective implementation of such an adjustment is justified only after collecting a large amount of such data and requires additional research.

The next step in creating roadmaps for retraining employees in the workplace is to build educational trajectories of newly hired employees based on the revealed difference in their cognitive maps and cognitive maps of their workplaces.

The source material for this is a set of competence concepts, on their basis a roadmap for their further education is generated and can be implemented in two different ways:

- firstly, by selecting the necessary one or more refresher courses from the educational sets of services presented on the market;
- secondly, by creating new specialized training courses designed to eliminate the competence gap for a specific applicant and a specific workplace.

At first glance, the first way is more expedient and cost-effective. However, the analysis of the educational services market shows that when choosing educational services aimed at further education of an employee of their "open list of courses" presented on the market, as a rule, they receive either incomplete "overlap" in terms of requirements or a strong redundancy of the acquired knowledge. This can often lead to a decrease in the economic efficiency of such additional training.

When choosing the second way, it seems necessary at the first stage of developing a roadmap to bypass the most general education and subject ontology from the root to determine the links existing between the identified set of mismatched concepts; then the creation of an individual training roadmap for a newly hired employee becomes possible.

Summing up the results presented in this article, we can highlight the following:

- the work carried out demonstrated the possibility of creating an automated system for creating roadmaps for retraining newly hired employees;
- the development and approbation of the methodology for creating such roadmaps based on the ontological approach to the analysis of the educational level of the applicant and the requirements of a particular workplace has been carried out on concrete examples;
- the ways of further work aimed at simplifying the adaptation of newly hired employees of innovative companies to new working conditions, including those involving the use of predictive educational trajectories, are formulated.

## References

1. Гилев А.А. Современные тенденции развития корпоративного образования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т.12. – №3(3). – С. 600–602.
2. Минзов А.С. Высшее профессиональное и корпоративное образование: парадигма взаимного влияния: Пособие для профессорско-преподавательского состава / Под ред. Л.М. Кунбутаева. М.: Издат. дом МЭИ. – 2008. – 146 с.
3. Борщева Ю.А. Инвестиции в обучение персонала в структуре человеческого капитала: теоретический аспект // Вестник ПАГС. – 2011. – № 28. – С. 166–171.
4. Взаимодействие с вузами и когнитивные карты: как подготовить специалистов к работе в технологической компании. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/biocad/blog/589131/> (дата обращения: 22.02.2022).
5. Бурцев А.Ю. Использование карт знаний в управлении знаниями при процессном подходе. // М.: МЭСИБ Экономика, Статистика и Информатика. – 2013. – №3. – С. 169–173.
6. Онтологическое моделирование предприятий: методы и технологии : монография; [отв. ред. С. В. Горшков]; предисл. С. В. Горшкова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2019. – 236 с.
7. Тузовский А.Ф. Метод объединения онтологий предметных областей знаний. //Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т.309. – №7. – С. 138–141.
8. Studer R., Benjamins, R. Fensel D. Knowledge Engineering: Principles and methods // Data and knowledge engineering. – 1998. – №25. – Pp. 161–197.
9. Бахвалов С.В., Берестенева О.Г., Марухина О.В. Применение онтологического моделирования в задачах организации учебного процесса вуза // Онтология проектирования. – 2015. – Т.5. – №4(18). – С. 387–398.
10. Anand R., McGrath R., Campbell R., Mickunas M. Use of Ontologies in a Pervasive Computing Environment // Knowledge Engineering Review. – 2004. – V.18. – №3. – Pp. 209–220.



УДК 351

## USE OF STATISTICAL DATA OF PHYSICAL ACTIVITY FOR ANALYSIS AND ADJUSTMENT OF DEVELOPMENT, LIFE OF CHILDREN AND ADULTS

*Nurdzhanov S.F.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – PhD in Economics Silakova L.V.<sup>1</sup>*

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

*e-mail: valeriaabramzon@yandex.ru*

---

The paper considers the possibilities of using statistical data from wearable devices and gadgets to obtain objective data at the presence of deviations in the normal distribution. The survey of parents on the possibility of obtaining information about children's physical activity was performed and its results were analyzed. Proposed is a method for applying modern technologies and digital data in a rapid response to deviations in human statistical data.

**Keywords:** statistical data, device, parents, children, physical activity, psychoemotionality, depression, bullying.

---

These days, it seems quite difficult to combine family life and professional employment. The fast rhythm of life leads to the problem of communication lack between children and their parents, which may result in negative consequences. The mass character acquired by this problem creates a number of challenges with children and adolescents, such as: a complication of the course of adolescence, namely, a protracted crisis of dependence or independence of a teenager according to L.Vygotsky, the emergence of groups with the suicide romanticization among children and adolescents, cyberbullying, positive dynamics of some people with depression and minors with psycho-emotional problems. According to the WHO data of November 2021, at least one in seven people aged 10-19 has mental disorders, where depression accounts for 13% [1]. We are already facing the consequences of all the above mentioned issues: adults with an unstable emotional state or with psychological problems requiring psychotherapeutic sessions, according to the data from the methodological manuals of E.Arbatskaya. «Diagnostics of identifying problems in parent-child relationships» and L.Rybakova «Children at risk: features of development, psychological and pedagogical technologies for working with children at risk».

Lack of communication most often accompanies signals, which can be separated into initial, lite stages [2]:

- The child often does not feel well;
- The child has low self-esteem;
- The child is not in a hurry to go home after school;
- The child does not perceive adults as leaders;
- Manifestation of aggression.

There are more serious consequences: children are afraid to tell their parents about their problems.

Between 80% and 100% of children will never tell their parents about rape [3]. For example, during a lecture at the «School of Conscious Parenthood Ursa Major» for children from 10 to 12 years old, 21 out of 21 respondents said that they would not tell their parents about this, supporting this idea with the following: «They will shout at me», «Mother will cry, I don't want to upset my parents», «They will tell me that it's my own fault, «They won't believe me», and «We never talked to them

about this topic». These phrases confirm that parents do not always have the opportunity to devote enough time to communicate with their children, as well as to prevent or solve problems they apparently have not encountered.

Hypothesis: the solution to this problem can be wearable devices, such as bracelets and smart watches, that are now quite popular. Human physical activity data form statistical series that create trends and correlations. Any situation that subsequently creates changes in the distribution, or stands out, can signal that an event has occurred in a person's life that has brought significant changes in their usual life pace.

Objective: to confirm the relevance of the lack of time for parents to communicate with children and their awareness in the children's life, and to analyze the specialists' psychotherapeutic experience in open sources.

According to the results of the parents' survey in the secondary school in Moscow, the following data was obtained: 26.9% are busy and cannot spend more than an hour communicating with a child (it should be noted that there were respondents who, due to the workload, could not devote ten minutes to the survey); only 17.3% of people are satisfied with the work of the medical office; almost 50% feel lack of information about the physical activity of a child and 17.3% of the rest rarely receive it; almost 50% of respondents need professional help when communicating with children and 13% consider this possibility. The survey results has demonstrated that the problem is relevant for those who completed this survey.

Almost every sports bracelet and smart watch keeps statistics of the user's biological rhythms. Sample data record the quality of sleep, heart rate, oxygen saturation of the body, and stress level. The human body is always in balance between physiological and psycho-emotional health; therefore, changes in any result in disbalance [4]. For example, any positive emotion increases the efficiency of the nervous system, improves sleep, stabilizes the emotional state, promotes the production of hormones of joy (endorphins), and has positive effect on the endocrine profile. According to Freud's psychodynamic theory of personality interaction, any traumatic situations in a person are always forced into the unconscious. This mechanism helps a person to forget about situations that traumatized their state. However, this problem is most often revealed in dreaming and neurotic symptoms and requires such a solution as energy discharge [5].

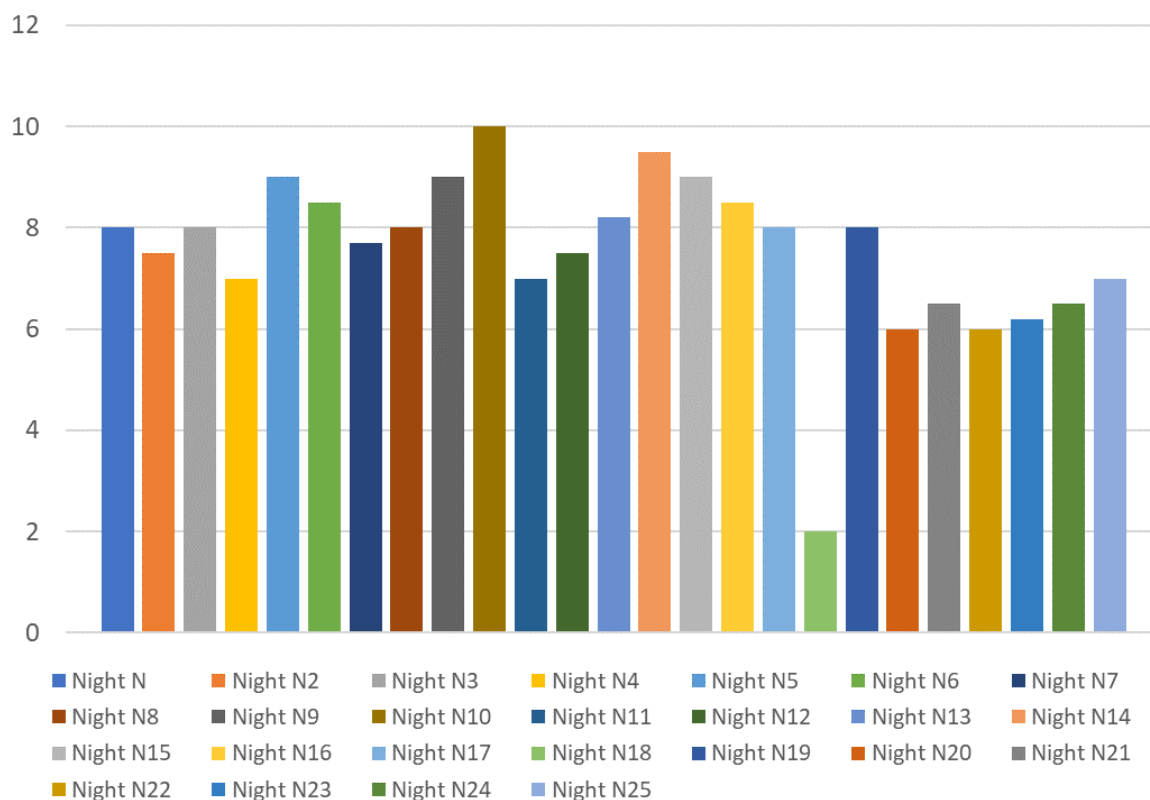


Figure. An example of visualizing sleep statistics

An example is the voiced experience suggested by psychotherapist I.Semizorova. A teenage girl has had restless sleep, nighttime nausea and vomiting for one year. The examination and analysis made by the doctors did not reveal anything, and the final diagnosis was an allergy to an unidentified allergen. However, after the sessions, the psychotherapist revealed that the girl had been sexually abused, which was followed by the above symptoms. If parents had seen statistical data on the quality of the child's sleep, then they would have been able to know after which day the problems with sleep began and further identify what exactly had happened before the first restless sleep and the subsequent failure in the statistical series. Figure 1 illustrates a clear example, when was the first signal of the event (night 16).

As a result, the research confirms the problems and consequences of communication lack between children and parents, reveals the relationship between the psycho-emotional state with statistical data obtained from wearable bracelets, and examines international data and analysis of the children's psycho-emotional problems.

Currently, the technology development entails the formation of a large amount of data and the possibility for its use. Statistical data on a person's vital activity can not only be helpful for athletes and people who have decided to lead a healthy lifestyle, but also record the data on changes in children's lives. Fixing the data and its breaking trends and patterns can serve as a tool for medical professionals to accurately determine the chronology of events and for human rights bodies, where obtaining the objective data is important. The results of this work can be used to create a digital product, which purpose will be to help parents in the upbringing of children.

## References

1. Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, Institute of health Metrics and Evaluation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/adolescent-mental-health> (дата обращения: 01.02.2022).
2. Рыбакова Л.А. Бабынина Т.Ф. Дети группы риска: особенности развития, психолого-педагогические технологии работы с детьми группы риска: Учебное пособие. – Казань «Бриг». – 2015. – 200 с.
3. Finkelhor D. & Browne A. The traumatic impact of child sexual abuse: a conceptualization // American journal of orthopsychiatry. – 2018. – V.55. – Pp. 530–541.
4. Ткаченко О.А. Эмоции и их влияние на здоровье. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/bmcqj> (дата обращения: 01.02.2022).
5. Лютова С.Н. Основы психологии и коммуникативной компетентности. Курс лекций. – Москва, Московский государственный институт международных отношений (университет) МИД России. – 2007. – 305 с.

УДК 338.46

## PROSPECTS FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN PHYSICAL WORKS OF ART SALES: ANALYSIS OF RUSSIAN ART MARKET

*Timchenko A.Yu.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – PhD in Economics Silakova L.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ITMO University

*e-mail: aliktimchenko@gmail.com*

*The work was done within the framework of the research project №618280 «Methods of designing and developing innovative and entrepreneurial systems in the context of changing trends, challenges and business models».*

---

In this paper, the existing artificial intelligence technologies for the sale of paintings on the global art market were considered, and the buyers' market was analyzed. Based on the analysis of the Russian and global markets for online sale of art, the technology and key categories of buyers for launching a market place in Russia were formulated.

**Keywords:** art-market, artwork, paintings, artificial intelligence, database.

---

The art market is divided into two main segments: the primary market for contemporary art, where paintings are sold for the first time, and the secondary market, which implies the resale of art objects. The contemporary art segment accounted for 15% of the global fine art auction turnover in 2019 and is the main driver of its growth: for over 20 years the growth was 2100% [1]. At the same time, the increase of the society welfare and state support of culture allow more creativity not only for professionals, but also for ordinary people considering art as a hobby.

With the growth of globalization, as well as the development of technology and the Internet, there is an increasing number of online platforms for buying works of art worldwide, which are gradually replacing offline fairs and auctions. These platforms have become intermediaries connecting buyers with artists and sales advisors.

However, in Russia, the average official salary of artists is 28,303 rubles [2], and it is still customary to sell paintings at offline fairs and galleries. The lack of generalized information on the existing Russian online art market requires a more detailed study.

Thus, the main objective of this paper is to analyze the art market and determine the possibility of using innovative technological solutions in the development of the artwork marketplace to increase sales and artists' income.

Based on official statistics, more than 1,500 artists graduate in Russia every year [3]. There are Russian art academies known all over the world: The Repin Academy of Fine Arts, Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design, Moscow State Academic Art Institute named after V. I. Surikov, and The Ilya Glazunov Russian Academy of Painting, Sculpture and Architecture, as well as a large number of smaller state universities and private schools offering majors in painting. Thus, if we consider people from 22 years old (average age of graduates) to 35 years old as young artists, the number of official graduates qualified as an artist-painter is at least 19,500 people.

With the development of online education, free courses, and the opportunity to self-study the art of painting, the number of artists without education is difficult to count. However, the number of queries from the Yandex search engine for the phrase "Artist's Courses" was 4,608 impressions per month, as of December 2021 [4].

As of December 2021, the number of paintings offered on the Avito resource is more than 235,000 works.

It is impossible to calculate the average speed of painting a picture, as unlike the production of goods, "inspiration", skill and time to create an idea should be considered. As a result of the analysis of "time to paint a picture" queries in Google, production can take from two hours to several months [5].

The analysis of main online platforms for artists from Russia to sell their works is presented in Table.

Table. Comparative table of main parameters of online platforms

|                                    | <b>avito.ru</b>   | <b>livemaster.ru</b> | <b>bizar.art</b>                     | <b>saatchiart.com</b>                                                                    | <b>artsy.net</b>                                                                         |
|------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| The threshold of entry for artists | No (registration) | No (registration)    | No (registration and portfolio link) | Documents uploading for registration (passport or driving documents). Curator selection. | Documents uploading for registration (passport or driving documents). Curator selection. |
| Number of paintings                | 235 000           | 148 925              | 2 607                                | 2 333 637                                                                                | No info                                                                                  |
| Minimum cost                       | 30 rub            | 1 rub                | 2 200 rub                            | \$ 135                                                                                   | \$ 250                                                                                   |
| View in Room                       | No                | No                   | No                                   | Yes                                                                                      | Yes                                                                                      |
| Recommendation System              | No                | No                   | Curators                             | No                                                                                       | No                                                                                       |
| Platform                           | Web+App           | Web+App              | Web                                  | Web+App                                                                                  | Web+App                                                                                  |

Russian market faces the following main problems of online art trade platforms:

- lack of control over the real cost of artworks;
- lack of verification of the seller's documents;
- insufficiently developed technical equipment for the process of choosing and buying a painting for the buyer (lack of a recommender system with the help of a curator or artificial intelligence, the ability to try on a painting in your interior).

These problems make it difficult to increase the number of transactions due to the lack of buyer confidence and the technically difficult process of choosing a picture.

The market of potential buyers of paintings by young artists will be divided into four key audiences:

- art lovers;
- interior designers;
- new settlers (people who just bought or rent their new apartments);
- tourists;
- other people, not included in previous categories.

As a result of research from five categories of potential buyers of paintings from young artists, it was decided to focus on two categories: interior designers and new settlers, as featuring a common element, namely a new apartment or a new interior design.

For these categories of buyers and artists, the average cost of paintings will be: 5 000 – 20 000 rubles.

These days, the existing online resources do not provide artificial intelligence (AI) technology for selecting paintings based on interior design. Development of such technology will increase the sales in paintings to interior designers and new settlers subject to wide assortment, accurate recommendations, and low cost of the proposed artworks.

Technology operation method:

Loaded into the service:

- a database of photographs of real interiors with paintings (these photographs must first be collected by professional designers);
- a database of paintings for sale uploaded by artists.

User:

- uploads a photo or a design project of a room to the service;
- indicates the place where you want to offer options for paintings;
- estimated maximum diameter.

Service:

- analyzes the geometry of the room, furniture and objects located in the interior and the color scheme;
- finds a similar palette in the database of photographs of existing interiors with paintings;
- looking for similar paintings from those offered for sale in the service;
- offers several options by embedding a photo of a suitable painting into an interior photo uploaded by the user to the service.

The user selects the proposed option and buys a painting or offers it to an interior designer.

The study has demonstrated a better understanding of the existing AI and machine learning technologies in digital art and security. The technologies to increase sales of paintings considering relevance of the artwork to the existing design and its visual components, such as color, shape and technique, were analyzed. The result of the present study is the development of the technology to simplify recommendations for online purchase of paintings applying the methods presented.

## References

1. Gurova O. Contemporary art market 2000–2020: Artprice review in the midst of a pandemic // Artguide 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://artguide.com/posts/2147> (дата обращения: 10.12.2021).
2. Trud.com 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russia.trud.com/salary/692/5275.html> (дата обращения: 10.12.2021).
3. Statistical compendium Indicator of education // High School of Economics 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hse.ru/data/2021/07/15/1418937988/102021.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).
4. Why do we need art in our homes? // Artwork Archive 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.artworkarchive.com/blog/we-need-art-in-our-homes-here-s-why> (дата обращения: 10.12.2021).
5. Word statistics // Yandex 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wordstat.yandex.ru/#!/?words=%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D1%8B%20%D1%85%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B6%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0> (дата обращения: 20.12.2021).

УДК 504.062.2

## OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FOR DAILY AND PLANT-BASED DRINKS IN THE CONTEXT OF ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

*Shevchenko V.V.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – PhD Pavlova A.S.<sup>1</sup>*

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

*e-mail: vlada.shevchenko.98@mail.ru*

*The work was done within the theme research work NIR №620144 «Development of functional food products for healthy aging based on secondary products of milk processing».*

---

The article considers the trend of the modern world - the consumption of standard and plant-based drinks, changing positions in the market and the reflection of such trends in the pursuit of sustainable development. The relevance of this problem is due to the need to understand the impact of the consumption of such drinks on the environment and human health. If it is necessary to eliminate the false positioning of goods, which contributes to the development of unfair competition and leads to distrust of consumers. The authors carried out a comparative analysis, on the basis of which they proposed recommendations on the consumption of beverages and ways to achieve sustainable development goals.

**Keywords:** Sustainable Development Goals, plant-based food, healthy nutrition, Life Cycle Assessment.

---

The Sustainable Development Goals (SDGs) have been one of the driving forces behind increasing the availability of alternative foods. The growing interest of people in different types of nutrition and the improvement of their health is accompanied by a growing trend towards more conscious consumption of the resources available on the planet. This is the reason for the growth in the production of planet-based food analogs.

The population is growing, and at the same time there is a growing awareness of environmental issues and the need for sustainable development. All this was the result of an increase not only in the number of people who identify themselves as vegan or vegetarian, but in general, changes in their attitude towards food consumed.

First, the reason for the emergence of the Sustainable Development Goals at the international level is associated with the fact that nature reserves are not unlimited and in the future humanity will face a shortage of resources. Therefore, sustainable consumption is so important these days.

Climate change is an urgent problem today. Food accounts for more than a quarter (26%) of global greenhouse gas emissions [1]. Food production has resulted in half of the world's habitable land (free of ice and deserts) used for agriculture. 70% of global freshwater withdrawals are used for agriculture [2]. Consuming plant-based foods will reduce several factors: CO<sub>2</sub> emissions, water consumption, loss of biodiversity and this could change land use systems.

Consciousness of consumption is interesting not only for individuals, but also for large companies and states. That is why today's trend is the transition to more environmentally friendly packaging, recycling of various types of waste, ESG, calculation of the carbon footprint, etc.

One of the most popular alternatives for daily food is plant-based drinks. Comparative Analysis of dairy milk and plant-based alternatives can be viewed in terms of Health effect and Environmental impacts. The health effect is considered for one of the Sustainable Development Goals - Ensuring healthy lifestyles and promoting well-being for all at all ages.

Impact on human health was decided to evaluate by comparing the content of nutrients. Nutritional data for milk and milk alternatives was sourced from USDA Food Composition Databases [3]. The following table compares the nutritional value of 1 cup (239 milliliters (ml) or 244 grams (g)) of cow's, almond, oat, soy and rice milk in grams (g), milligrams (mg), or Micrograms ( $\mu\text{g}$ ) (Table).

Table. A Comparison of the Nutritional Composition of Cow's Milk and Plant-Based alternatives per 1 cup

|                                                                | Whole milk<br>(cow's<br>milk) | Almond<br>drink,<br>unsweetened | Oat drink | Soy drink | Rice<br>drink | Coconut<br>drink |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|---------------|------------------|
| Energy (kcal)                                                  | 146                           | 36.6                            | 120       | 105       | 115           | 75,6             |
| Protein (g)                                                    | 8                             | 0.976                           | 3         | 6.34      | 0.683         | 0.512            |
| Carbohydrates (g)                                              | 11.4                          | 3.2                             | 16        | 12        | 22.4          | 5.08             |
| Total lipid (fat) (g)                                          | 7.81                          | 2.34                            | 4.99      | 3.59      | 2.37          | 7.12             |
| Sugars (g)                                                     | 11.7                          | 1.98                            | 7.01      | 8.91      | 12.9          | 6.1              |
| Calcium (mg)                                                   | 300                           | 449                             | 350       | 300       | 288           | 459              |
| Vitamin A ( $\mu\text{g}$ )                                    | 78.1                          | 220                             | -         | 134       | 154           | 154              |
| Vitamin D ( $\text{D}_2$ +<br>$\text{D}_3$ ) ( $\mu\text{g}$ ) | 2.68                          | 2.44                            | -         | 2.68      | 2.44          | 2.44             |

*date of publication of information: 10/30/2020*

It is important to note that the nutrient profile of each brand of plant-based milk will differ. Some beverages are flavored and may contain more sugar and salt than other brands. Some manufacturers also add calcium, vitamin D, vitamin B<sub>12</sub>, or other nutrients.

As shown by comparative table 1, cow's milk has the highest energy value. Almond milk has the lowest calorie content. It should be noted that the results may vary depending on the fat content of the milk in question. In our case, cow's milk was considered with a fat content of 3.5% or 3.8%. Cow's milk was also the leader in protein content with 8 grams, while coconut milk ranked last in protein content with 0.512 grams.

The fat content of milk can be varied for both cow's milk and its alternatives.

All alternatives except rice milk contain more calcium than cow's milk, soy milk contains 300 mg like cow's milk. Cow's milk contains calcium naturally when calcium is added to the alternatives. Therefore, plant-based drinks cannot be considered the nutritional equivalents of cow's milk. According to doctors' recommendations, one glass of cow's milk (239 milliliters) is almost a third of a child's standard daily diet.

To assess environmental impacts, many factors such as greenhouse gas (GHG) emissions, water use, land use, chemical runoff and soil degradation need to be considered at every stage of production, from growing raw materials to processing and transportation. The most appropriate method for assessing the impact of all factors is Life Cycle Assessment. Life cycle assessment in Russia is carried out in accordance with the standards GOST R ISO 14040-2010 and GOST R ISO 14044-2007, and in Europe - ISO 14040 and ISO 14044.

In 2018, the Swedish University of Agricultural Sciences conducted a large comparative analysis of various LCA studies. In most cases, cow's milk has the greatest impact on the environment. This fact is confirmed by another LCA study, which was carried out in Switzerland in 2013. The authors considered 7 categories: chilling, disposal, distribution, packaging, processing, agriculture and transport. The results showed that cow's milk has the greatest environmental impact in the agriculture category.

The non-profit organization The Good Food Institute conducted a comparative analysis between conventional animal meat and plant-based meat according to four criteria: Land use, Climate change, Water pollution and Antibiotic resistance. In all four cases, plant-based meat had more benefits than Conventional animal meat.

At the same time, a complete transition to plant-based food can negatively affect human health, regardless of how such a diet can be "developed" [4, 5]. First, a person may face a lack of key nutrients



(vitamins A, B<sub>3,6,12</sub>, choline, zinc, iron and selenium). Children, people of advancing age and pregnant women are confirmed to be at highest risk. It is believed that nutritional deficiencies can be replenished by supplementation, but intraindividual differences in nutrient metabolism (Brenna, 2002; Burdge, 2006; Stover and Caudill, 2008; Tang, 2010) can also make it impossible to stick to a plant-based diet.

Thus, the most appropriate model for healthy eating is the “flexitarian approach”, which implies the inclusion of plant-based food in a person's diet. Following this dietary pattern will help to improve human health and reduce the environment impact. It will also meet Global Food Loss and Waste target 12.3 to halve agricultural losses and food waste by 2030. Agricultural activities will have less negative impact on the environment. Also, optimizing land use will preserve biodiversity. All of this will be key to achieving the Sustainable Development Goals and the Paris Agreement.

## References

1. Poore J., Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers // *Science*. – 2018. – T.360. – №6392. – С. 987–992.
2. Gustavsson J. et al. Global food losses and food waste. – 2011. – 37 p.
3. USDA. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Nutrient Database for Standard Reference Release 10/30/2020. Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/> (дата обращения: 24.01.2022).
4. Van Vliet S., Kronberg S.L., Provenza F.D. Plant-based meats, human health, and climate change // *Frontiers in sustainable food systems*. – 2020. – С. 128.
5. Van Vliet S. et al. A metabolomics comparison of plant-based meat and grass-fed meat indicates large nutritional differences despite comparable Nutrition Facts panels // *Scientific reports*. – 2021. – T.11. – №1. – С. 1–13.

УДК 504.03

## FAVOURABLE ECOLOGICAL ENVIRONMENT AS ONE OF THE MANY FACTORS IN THE ANALYSIS OF LIFE SATISFACTION AMONG STUDENTS AND EMPLOYEES OF ITMO UNIVERSITY

*Fedyanina A.<sup>1</sup> (student), Savoskula V.A.<sup>1</sup> (senior tutor), Ermochenko A.I.<sup>1</sup> (student)*

*Scientific adviser – senior tutor Savoskula V.A.<sup>1</sup>*

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

*e-mail: anastaaa10@mail.ru*

*The work was done within the framework of the research project №620144 «Development of functional food products for healthy aging based on secondary products of milk processing».*

---

The purpose of the study is to analyze the well-being and life satisfaction of students and staff of ITMO University. A multifactorial survey was compiled based on the methodology of E.V. Balatsky and the concepts of Tom Rath and Jim Harter. A generalized index of satisfaction was identified, the contribution for each category of life activity, satisfaction with life activity factors, and the main dependencies were determined. Based on the data obtained, an analysis was made for the level of well-being of students and staff of ITMO University. The issue of improving well-being and satisfaction with life in the environment of ITMO University requires further study.

**Keywords:** well-being, satisfaction index, life satisfaction, life quality assessment, ecology, health.

---

The coronavirus pandemic has caused environmental, economic, and social crises for humanity [1]. Numerous nationwide lockdowns have further highlighted the importance of people's well-being. Human well-being is a combination of the mental, physical, emotional, and economic health of people. This is the basis of social stability. To study the quality of life at ITMO University, we conducted a study of life satisfaction of students and employees of ITMO University based on the method of assessing the well-being of people.

A multivariate well-being survey at ITMO University is based on the methodology of E.V. Balatsky «Assessment of the generalized life satisfaction index» [2]. Modernizing the concept of well-being, proposed by Tom Rath and Jim Harter in 2010 [3], the factors of satisfaction were divided into 6 categories of life activity: health, ecology, career, finance, social and community relations. Respondents assessed their own satisfaction with various life factors and the level of importance of the categories of these factors.

The value of the generalized life satisfaction index of students and staff of ITMO University was 54.9%. Satisfaction is in the «zone of uncertainty». If the indicator is more than 50%, then the population is rather satisfied with their life; if less than 50% - most likely not satisfied with life. When the generalized life satisfaction index exceeds 60%, it will be possible to speak of a clear prevalence of a positive trend. Leading positions contribute to the generalized index in such a way that if the index value is less (greater) than 50%, then this means, in general, dissatisfaction (satisfaction) with the factor; if below 40% - indicates obvious dissatisfaction; if more than 60% - it indicates a clear satisfaction with the factor. Accordingly, «unfavorable» factors form a group with values of less than 40%, and "favorable" factors - with values of more than 60%; other factors are considered more or less neutral. Among the «unfavorable» factors are environmental problems of the habitat (33.7%), as well as the existence of public and political freedom in the country (31%). «Prosperous» factors include such factors as harmonious relations with family members, mutual love and respect, the

presence of family support, and mutual understanding (78.6%); availability of comfortable housing, clothing, food, etc. (69.1%); the possibility of self-expression at work/study (67.2%). In general, the prospect of increasing satisfaction with life factors is in favor of a successful development of events: out of 25 factors, only 9 have values below 50%.

If we consider the satisfaction of women and the satisfaction of men separately, we will find that the distribution of categories according to the level of importance in women and men is similar, which tells us about the similarity of values. But for 9 out of 25 factors, men noted greater satisfaction than women. Moreover, most of these factors are associated with the category of «social ties».

Analyzing age differences, it was found that after the age of 25, satisfaction with many factors in the category «Health» decreases sharply. But there are similar trends for all ages, which are that the «Health» category is always «quite important» for respondents, and the «Environment» category becomes more and more important with age. Dividing the respondents by social status, it was found that the results of satisfaction with vital activity factors correlate with the result for «age», where low satisfaction was also noted among people over 25 years old.

Investigating the dependence of people's well-being on the distance of their place of residence from green spaces (parks, alleys, etc.), it was found that satisfaction with some factors decreases depending on how far green spaces are from the respondents' place of residence. These factors include: «good health», «presence of a good ecology of the habitat», «presence of effective informal social contacts», «social stability, confidence in the future». This tells us about the dependence of people's satisfaction on green spaces and nature in general. For all respondents living at a distance of < 100 – 2000 m to green spaces of the category «Health», «Ecology», «Career», «Finance» has the status of «quite important». But it is important to note that for respondents living at a distance of > 2000 m from green spaces, the categories «Social connections» and «Public connections» also acquire the status of «quite important».

This study is the starting (initial) point in the study of the well-being of students and staff of ITMO University. It is necessary to continue to study the well-being of ITMO University students and staff at a deeper level, as well as explore the «nature heals» hypothesis in order to further develop a methodology for improving the well-being and life satisfaction of ITMO University students and staff.

## References

1. Экономика и экономическая политика в условиях пандемии / Под ред. д-р экон. наук Кудрина А.Л. – М.: Издательство Института Гайдара. – 2021. – 339 с.
2. Балацкий Е.В. Факторы удовлетворенности жизнью: измерение и интегральные показатели // Мониторинг общественного мнения. – 2005. – №4(76). – С. 42–52.
3. James K. Harter, Jim Harter and Tom Rath Wellbeing: The Five Essential Elements. – Gallup Press. – 2010. – 240 p.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                      |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>ПИЩЕВЫЕ БИОТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИЯ,<br/>НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА,<br/>ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>                                                                              | <b>5</b> |
| Абрамзон В.В., Мануйлов А.Н.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА,<br>ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ОТХОДОВ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ФОРЕЛИ, В СОСТАВЕ<br>ИНЪЕКЦИОННЫХ СМЕСЕЙ.....                    | 6        |
| Алексеев Е.В.<br>СТРУКТУРА И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ ВОЛОКОННО-<br>АРМИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ .....                                                                                        | 10       |
| Алексеева О.С.<br>РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ СУХИХ КОРМОВ С ПОВЫШЕННОЙ<br>БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТЬЮ ДЛЯ НЕПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ .....                                                                        | 14       |
| Асадов М.А.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОФЛОРЫ СЕМЯН ЛЬНА.....                                                                                                                                               | 18       |
| Баранов К.Н., Дубовик А.Ю., Орлова А.О., Колесова Е.П.<br>ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ AIS/TiO <sub>2</sub> и AIS/ZnS/TiO <sub>2</sub> .....                                                   | 21       |
| Барановская Д.А., Яковченко Н.В.<br>АДАПТОГЕНЫ – ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА.....                                                                                                             | 26       |
| Барбанэль П.Ф., Агаханянц П.Ф.<br>АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ<br>ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ .....                                                                     | 29       |
| Басковцева А.С., Кыздарбек У., Баракова Н.В.<br>ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЖМЫХА МОРКОВИ В ТЕХНОЛОГИИ<br>СУХИХ ПОРОШКОВ.....                                                                         | 33       |
| Бельшева Д.А., Савоскула В.А.<br>ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОФЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ .....                                                                                                                    | 36       |
| Богданова П.А., Юльметова Р.Ф.<br>РАЗРАБОТКА БИЗНЕС-ПЛАНА ПРОЕКТА ПО ВНЕДРЕНИЮ НАИЛУЧШЕЙ<br>ДОСТУПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО УТИЛИЗАЦИИ МЕЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ<br>ВОДОЭМУЛЬСИОННЫХ КРАСОК ООО «ТИККУРИЛА»..... | 39       |
| Васильева М.О., Николаев Е.М., Молодкина Н.Р.<br>АНАЛИЗ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ<br>БИОРАЗЛАГАЕМОГО МАТЕРИАЛА .....                                                                | 42       |
| Волкович М.И.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ НА ТЕПЛОВЫЕ<br>ПОТОКИ В ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРАХ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ<br>РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА .....                                           | 45       |
| Гаврецкая А.В., Шестель А.А.<br>ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ МИНЕРАЛ-КОЛЛАГЕНОВЫХ ПРОДУКТОВ,<br>ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ОТХОДОВ РЕСТОРАННОГО БИЗНЕСА .....                                                                   | 49       |
| Галашова О.И., Сергиенко О.И.<br>ВЫБОР НАИЛУЧШЕЙ ДОСТУПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ<br>ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ.....                                                                                    | 52       |

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Гиматдинова А.Г., Молодкина Н.Р.<br>АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ.....                                                                                                   | 56  |
| Глинская М.А., Баракова Н.В.<br>ПРИМЕНЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СЕНСОРНОГО<br>ПРОФИЛЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ГОРОХА ЖЕЛТОГО.....                                                   | 60  |
| Гнатенко К.В., Твердая А.В., Орипова А.А., Сергиенко О.И.<br>ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ НЕПРИЯТНО ПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ<br>ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА .....                                     | 65  |
| Демченко К.Д.<br>СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО<br>ОСВЕЩЕНИЯ ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ НА ПРИМЕРЕ<br>САНКТ-ПЕТЕРБУРГА .....                                        | 70  |
| Динкелакер Н.Ф.Й., Аминов Н.С.О., Динкелакер Н.В., Агаханянц П.Ф.<br>ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ<br>ПРОЦЕССОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ.....      | 74  |
| Ерёменко А.А., Савоскула В.А.<br>МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕПЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО<br>СИМБИОЗА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ .....                                                   | 82  |
| Ермоченко А.И., Савоскула В.А., Федянина А.<br>ВЫЯВЛЕНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСВЕЩЕНИЯ<br>ЧЕРЕЗ ПРОВЕДЕНИЕ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ<br>НОВОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ..... | 85  |
| Жустерова П.К., Кузнецова К.Г., Лоскутова А.С., Прокошева А.В., Молодкина Н.Р.<br>ВЫРАЩИВАНИЕ КОЛОНИИ ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ НА ПИЩЕВЫХ<br>ОТХОДАХ: СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТОВ.....          | 88  |
| Золотарева Д.В., Баракова Н.В.<br>ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ<br>ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ВОСПОЛНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ЛИКОПИНА<br>И ВИТАМИНА В <sub>12</sub> .....           | 90  |
| Иконникова А.Ю., Баранов А.Ю.<br>МАЛОТОННАЖНЫЙ ОЖИЖИТЕЛЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА.....                                                                                                                    | 93  |
| Исаева С.А., Ушаева И.У., Джамалдинова Б.А.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ.....                                                                                       | 98  |
| Ишутина Е.О., Подледнева Л.В., Кустикова М.А.<br>АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЙ И ХРАНЕНИЯ<br>ДИОКСИДА УГЛЕРОДА (СО <sub>2</sub> ) И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ .....        | 101 |
| Кайсина В.В.<br>ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ВОДОРОДНОЙ<br>ЭНЕРГЕТИКИ .....                                                                                                      | 105 |
| Калошина О.О., Сергиенко О.И., Юльметова Р.Ф.<br>ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ БИЗНЕС-ПЛАНА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ<br>ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ НАИЛУЧШИХ<br>ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....    | 107 |
| Калошина О.О., Юльметова Р.Ф.<br>УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....                                                                                                                  | 111 |

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Карсакова Е.О., Молодкина Н.Р., Забелина А.В.<br>ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГРУНТА, ПОЛУЧЕННОГО<br>МЕТОДОМ КОМПОСТИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ .....             | 113 |
| Кийски В.Д., Яковченко Н.В.<br>ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТА АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ<br>(ARONIA MELANOCARPA) .....                                                                        | 118 |
| Колодийчук П.А., Пилипенко Н.В.<br>НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ<br>ТЕПЛООБМЕНА ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.....                                   | 120 |
| Коломийцева А., Захарова В.Ю.<br>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТЕПЛОВЫМ ПОТОКАМ<br>ПРИ АККУМУЛИРОВАНИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ.....                                                             | 123 |
| Королёв А.А., Свиридов Д.К., Воронов В.А.<br>АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ХРАНЕНИИ<br>СПГ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ХРАНИЛИЩЕ.....                                                    | 126 |
| Крылова И.В., Баракова Н.В., Самоделкин Е.А.<br>МЕХАНИЧЕСКОЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ШРОТА ПОДСОЛНЕЧНИКА<br>И СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФРАКЦИИ.....                                  | 131 |
| Кузнецова А.П., Дунаева А.Е., Молодкина Н.Р.<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ШТУРМА ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ .....                                                                             | 135 |
| Кузьмина Д.К., Яковченко Н.В.<br>РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИЕТА – ПЛЮСЫ И МИНУСЫ. ПОЧЕМУ<br>ЕЁ СТОИТ ПОПРОБОВАТЬ?.....                                                                             | 139 |
| Кузьмина Д.К., Морозова О.В.<br>РАЗРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНОГО ЗАМОРОЖЕННОГО ДЕСЕРТА.....                                                                                                    | 143 |
| Кулакова А.А., Виноградов А.В., Куприна Е.Э., Ишевский А.Л.<br>РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШОКОЛАДНО-<br>ОРЕХОВЫХ ПАСТ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТУРАЛЬНЫХ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ..... | 147 |
| Кунцова М.Н., Маньшин Д.В., Меледина Т.В.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ АВТОЛИЗА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫХОД<br>И УГЛЕВОДНЫЙ СОСТАВ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК.....                                | 153 |
| Курицына А.А., Иванова В.А.<br>АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРОЖЖЕВОГО<br>БЕТА-ГЛЮКАНА .....                                                                             | 156 |
| Лебедянцева Е.А., Агаханянц П.Ф.<br>ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СБОРА: ПРАКТИЧЕСКИЙ КЕЙС .....                                                                                      | 158 |
| Лизогубова А.А., Баракова Н.В.<br>ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ПРОЦЕССЕ ЗАМАЧИВАНИЯ<br>ГОЛОЗЕРНОГО ОВСА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОВСЯНОГО<br>МОЛОКА .....                          | 161 |
| Лисина Е.И., Баракова Н.В.<br>ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ МАЛЬТОДЕКСТРИНОВ<br>И ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ.....                                                                            | 164 |
| Лоскутова А.С., Кузнецова К.Г., Жустерова П.К., Прокошева А.В., Молодкина Н.Р.<br>ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ<br>ИЗ ЛИЧИНКИ МУХ HERMETIA ILLUCENS .....   | 167 |

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Мальгинова Н.А.<br>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ<br>ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ГАЗА .....                                                                                     | 171 |
| Мануйлов А.Н., Куприна Е.Э.<br>АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ГРАНУЛЯЦИИ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ<br>МИНЕРАЛЬНОГО ПРЕЦИПИТАТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ОТХОДОВ РЫБ<br>СЕМЕЙСТВА ЛОСОСЕВЫХ .....                           | 174 |
| Маркова А.И., Монзуль Н.А., Павлова А.С.<br>УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:<br>ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И СТРАТЕГИЯ 2022 .....                                                         | 178 |
| Мартыненко К.В., Баланов П.Е.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СЕНСОРНЫХ СВОЙСТВ<br>ВЕГЕТАТИВНЫХ ЧАСТЕЙ РАСТЕНИЙ РОДА РОЗОВЫЕ (ROSACEAE)<br>И СМОРОДИНА (RIBES).....                        | 182 |
| Матышина В.В., Аль-Ясари А., Баракова Н.В.<br>АПТАСЕНСОРЫ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ .....                                                                                     | 186 |
| Миниахметова А.В., Сергиенко О.И., Бараненко Д.А., Ильина В.С.<br>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ<br>ИНГРЕДИЕНТОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ СМЕСЕЙ .....                                | 192 |
| Миниахметова А.В., Сергиенко О.И.<br>ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ<br>АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА .....                                                                      | 194 |
| Молодых А.П., Николаев Е.Н., Молодкина Н.Р.<br>ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ<br>И КОМПОСТИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ .....                                                     | 197 |
| Наумова А.В.<br>ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ<br>ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ<br>ДЛЯ ОЧИСТКИ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ПРОМЫСЛА ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ..... | 201 |
| Николаев Е.М., Молодкина Н.Р.<br>АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ<br>ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ.....                                                                             | 204 |
| Новиченко А.А., Иванова В.А.<br>СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ <i>KLUYVEROMYCES MARXIANUS</i><br>И <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> В ХЛЕБОПЕЧЕНИИ.....                                               | 207 |
| Нечитайло А.В., Пасечный Д.С., Баракова Н.В.<br>ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ И СТЕПЕНИ ДЕФРОСТАЦИИ<br>ЯГОД ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ НА ВЫХОД СОКА.....                                             | 212 |
| Походня Е.И., Динкелакер Н.Ф.Й., Аминов Н.С.О., Динкелакер Н.В.<br>ПРИМЕНЕНИЕ СЕНСОРНЫХ ДАТЧИКОВ LIBELLUM ДЛЯ МОНИТОРИНГА<br>НЕГАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ .....    | 216 |
| Рахманова К.Р.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА МИЦЕЛИЯ ГРИБА <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i> ПУТЕМ<br>ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ.....                                                                         | 221 |
| Сатоев Р.К., Лазарев В.Л.<br>ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ<br>КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ В ПОКРАСОЧНОМ ЦЕХЕ .....                                                               | 225 |

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Середенко Е.С., Баранов А.Ю.<br>ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ<br>ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЕРВУАРА ХРАНЕНИЯ СПГ .....                                                        | 228 |
| Суворов А.А.<br>ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ АНИЗОТРОПИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОДНОСТЕННЫХ<br>УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК СО СТРУКТУРОЙ СВЁРТКА/РУЛОНА .....                                                                     | 233 |
| Ткачева М.М., Кременевская М.И., Щербаков А.В.<br>ПРИМЕНЕНИЕ ЭНДОФИТНЫХ КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ<br>В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ .....                                                                          | 238 |
| Тонкова К.В., Забелина А.В.<br>ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ<br>ПРИ СЖИГАНИИ СВАЛОЧНОГО ГАЗА НА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ .....                                                        | 241 |
| Туганова Р.С., Юльметова Р.Ф.<br>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ<br>РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В ВУЗАХ .....                                                          | 244 |
| Фахртдинова С.З., Хамзина А.М., Карпова Н.Г., Кустикова М.А.<br>РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗАТОРА ФРЕОНОВ .....                                                                       | 247 |
| Фахртдинова С.З., Кустиков Ю.А.<br>АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ<br>ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ .....                                                                         | 251 |
| Федянина А., Савоскула В.А., Ермоченко А.И.<br>БЛАГОПРИЯТНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА КАК ОДИН ИЗ МНОЖЕСТВА<br>ФАКТОРОВ АНАЛИЗА УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ЖИЗНЬЮ СТУДЕНТОВ<br>И СОТРУДНИКОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО ..... | 255 |
| Хамзина А.М., Карпова Н.Г., Фахртдинова С.З., Кустикова М.А.<br>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ<br>И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПЕКТРА .....                                                      | 259 |
| Хохол Е.А., Дидиков А.Е.<br>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК<br>В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ .....                                                                                         | 264 |
| Чаплина А.А., Иванова В.А.<br>ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА ДРОЖЖЕВОГО БЕТА-ГЛЮКАНА<br>В ТЕХНОЛОГИИ ЗЕФИРА .....                                                                                              | 270 |
| Челомбиткин М.А., Баракова Н.В.<br>ОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОТЕОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ<br>ДЛЯ ГИДРОЛИЗА БЕЛКОВ ДО КОРОТКИХ ПЕПТИДОВ .....                                                                      | 274 |
| Шанин В.А., Каршева К., Резниченко Р., Алексеев Г.В.<br>ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА<br>ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ ПЕРО-ПУХОВЫХ ОТХОДОВ .....                                         | 277 |
| Шеин В.М., Никитин А.А.<br>ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ<br>ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ .....                                                                     | 280 |
| Юницын К.А.<br>РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП БРОЖЕНИЯ ПИВА .....                                                                                                                        | 285 |
| Яценко В.А., Яковченко Н.В.<br>ВЗАИМОСВЯЗЬ ПИТАНИЯ И МИКРОБИОТЫ КИШЕЧНИКА ПАЦИЕНТОВ<br>С COVID-19 .....                                                                                                | 289 |



|                                                                                                                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>                                                                                                                                                                 | <b>292</b> |
| Ermochenko A.I., Fedyanina A., Savoskula V.A.<br>RESEARCHING RELEVANCE OF ENVIRONMENTAL EDUCATION THROUGH<br>MARKET RESEARCH TO DEVELOP A NEW DIGITAL PLATFORM .....                                          | 293        |
| Le Trong Minh, Krylova A.A.<br>CHARACTERIZATION AND SCORING “SPECIAL SCORES” OF ANIMALS<br>FROM IMAGES AND TABULAR DATA: BOOSTING THE PERFORMANCE<br>WITH VISION TRANSFORMER AND TRANSFER LEARNING .....      | 296        |
| Mashina E.A., Balakshin P.V.<br>APPLICATION OF STATISTICAL METHODS TO SOLVE THE PROBLEM<br>OF ENRICHING ONTOLOGIES OF DEVELOPING SUBJECT AREAS .....                                                          | 301        |
| Mashina E.A., Balakshin P.V.<br>APPROACHES TO THE INITIAL STAGE OF SEMANTIC ANALYSIS<br>OF LARGE INFORMATION ARRAYS OF SCIENTIFIC INFORMATION SOURCES .....                                                   | 306        |
| Mashina E.A., Balakshin P.V.<br>USING AN ONTOLOGICAL APPROACH TO FORM ROADMAPS FOR ADDITIONAL<br>TRAINING OF NEWLY HIRED EMPLOYEES OF A COMPANY FOCUSED<br>ON CREATING INNOVATIONS.....                       | 312        |
| Nurdzhanov S.F.<br>USE OF STATISTICAL DATA OF PHYSICAL ACTIVITY FOR ANALYSIS<br>AND ADJUSTMENT OF DEVELOPMENT, LIFE OF CHILDREN AND ADULTS.....                                                               | 316        |
| Timchenko A.Yu.<br>PROSPECTS FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN PHYSICAL<br>WORKS OF ART SALES: ANALYSIS OF RUSSIAN ART MARKET.....                                                                  | 319        |
| Shevchenko V.V., Pavlova A.S.<br>OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FOR DAILY AND PLANT-BASED DRINKS<br>IN THE CONTEXT OF ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS .....                                             | 322        |
| Fedyanina A., Savoskula V.A., Ermochenko A.I.<br>FAVOURABLE ECOLOGICAL ENVIRONMENT AS ONE OF THE MANY FACTORS<br>IN THE ANALYSIS OF LIFE SATISFACTION AMONG STUDENTS<br>AND EMPLOYEES OF ITMO UNIVERSITY..... | 325        |

**Альманах научных работ  
молодых ученых  
Университета ИТМО  
Том 1**

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Дизайн обложки

Вёрстка

Подписано к печати 22.07.2022

Заказ № 4674 от 22.07.2022

Тираж 100 экз.

Печатается в авторской редакции

Н.Ф. Гусарова

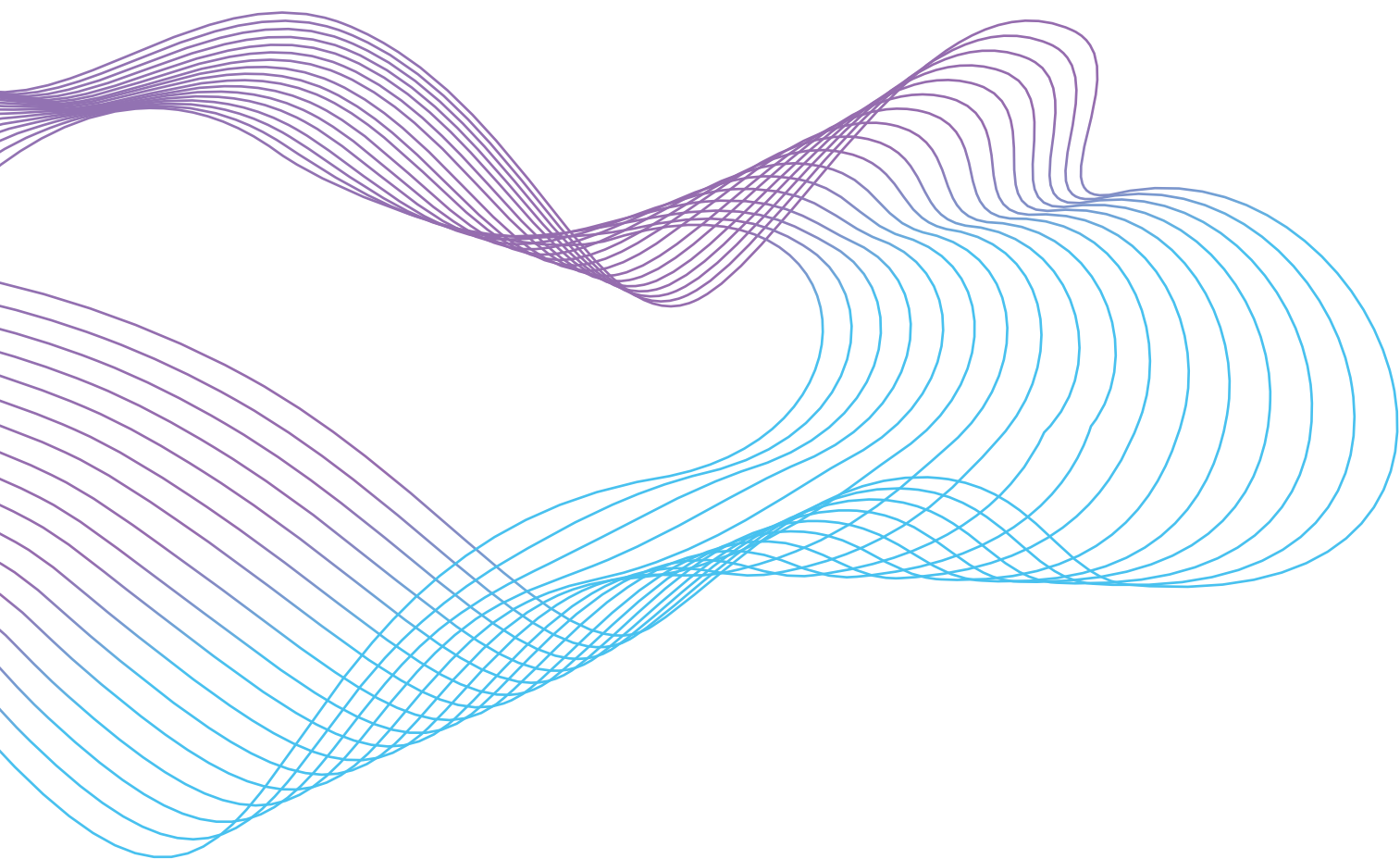
Н.Ю. Комаровская

К.Д. Бутылкина

---

Отпечатано: Учреждение «Университетские коммуникации»

199034, Санкт-Петербург, В.О., Биржевая линия, 16



ISBN 978-5-7577-0670-2



9 785757 706702

**Редакционно-издательский отдел  
Университета ИТМО**

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49