



Министерство образования  
Республики Беларусь



Учреждение образования  
«Белорусский государственный  
технологический университет»

# СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

І РЕСПУБЛИКАНСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«БУДУЩЕЕ ЧЕРЕЗ ИССЛЕДОВАНИЯ»

29 января 2026 года

Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский государственный технологический университет

I РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

29 января 2026 г.

**БУДУЩЕЕ ЧЕРЕЗ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Сборник материалов*

Минск, БГТУ  
2026

УДК 001(063)

ББК 72я431

Б91

**Оргкомитет конференции:**

В. Л. Флейшер (*председатель*), А. Д. Подсосонная (*зам. председателя*),

М. В. Дяденко, Л. О. Иващенко, А. С. Самсонова,

Г. С. Маршалова, А. А. Масехнович, М. С. Мохорт,

Н. В. Попеня, А. М. Французова,

С. В. Хваленя, Е. А. Шульга

Б91      **Будущее через исследования : сб. материалов I Респ. конф. молодых ученых, г. Минск, 29 января 2026 г. [Электронный ресурс] / Бел. гос. технол. ун-т. — Минск : БГТУ, 2026. — 154 с.**

ISBN 978-985-897-329-2.

В сборнике представлены материалы I Республиканской конференции молодых ученых, организованной Белорусским государственным технологическим университетом, посвященной актуальным вопросам развития современной науки и техники. В статьях отражены результаты теоретических и экспериментальных исследований молодых исследователей, аспирантов и магистрантов в области химических и биотехнологий, экологии и рационального природопользования, информационных технологий и систем, физико-математических наук и других приоритетных направлений.

Издание предназначено для научных работников, преподавателей вузов, студентов и специалистов, интересующихся современными научными достижениями, стремящихся к междисциплинарному обмену опытом и внедрению инновационных решений в науку и производство.

**УДК 001(063)**

**ББК 72я431**

**ISBN 978-985-897-329-2**

© Белорусский государственный  
технологический университет, 2026

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ .....</b>	<b>6</b>
Будяну И. С. Влияние средств химизации на липополитическую активность в проростках озимого рапса ( <i>BRASSICA NAPUS L.</i> ) в лабораторных условиях.....	6
Зернов Я. Г., Резниченко Т. В., Храмов Е. В., Шурыгин А. В. Наноструктурированный оксид цинка, допированный европием: фотолюминесцентные и синхротронные исследования .....	12
Карп А. А., Стребко С. А. Исследование кинетики реакции окисления аскорбиновой кислоты для целей количественного анализа .....	16
Кучинский П. В. Влияние на урожайность растений некоторых параметров искусственной питательной среды на основе смеси ионитов, насыщенных биогенными элементами .....	22
Молош Я. К. Мониторинг содержания нитратов в кабачках и продуктах их переработки .....	25
Резниченко Т. В., Зернов Я. Г., Шичалин О. О. Синтетический магнитный биокомпозит на основе силиката кальция для направленной доставки 5-фторурацила .....	30
Рогач А. А., Ламоткин С. А. Комплексная переработка биомассы хвойных растений .....	32
Сербиков Ю. А. Экспериментальные доменные печи. Международный опыт .....	37
Федоренко Н. Ю., Белоусова О. Л., Кудряшова Ю. С., Волкова С. В., Кирсанова С. Р. Влияния условий синтеза на физико-химические свойства материалов на основе диоксида циркония .....	42
<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ .....</b>	<b>46</b>
Афанасенко К. А., Ларченко Н. А., Майорова Е. А. Событийно-токенная U-образная архитектура на основе селективных state-space блоков для детекции и классификации событий в 1D-сигналах .....	46

<b>Белоусова Е. С., Мальцев В. Л., Мартинкевич Д. М., Яниславский К. О.</b> Маршрутизатор с функциями анализа сетевого трафика.....	52
<b>Езепенко Р. О.</b> Исследование проблемы информационной разобщенности данных предприятий: онтологический подход к построению единого семантического пространства .....	58
<b>Комаров М. А.</b> Определение коррозии углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах.....	63
<b>Комаров М. А.</b> Способ переработки отходов мембранныго опреснения воды на синтетический дигидрат сульфата кальция ....	66
<b>Корников Р. И.</b> Цифровая трансформация охраны труда и законодательство Республики Беларусь: вызовы и пути адаптации.....	69
<b>Кудрявцева А. В., Шутько Н. П.</b> CSS Houdini: анализ практического применения и барьеров внедрения в современной веб-разработке.....	74
<b>Лазарева Ю. А., Скудняков Ю. А.</b> Мобильное приложение для диагностики заболеваний кожи человека на основе использования спектрального анализа и аналитической модели.....	77
<b>Лис Д. А., Шутько Н. П.</b> Адаптация веб-форм для людей с ограниченными возможностями.....	81
<b>Потис П. М., Линкевич А. Д.</b> Исследование применения глицерина в качестве пластификатора в технологии получения декоративных бумажных пленок.....	85
<b>Пропольский Д. Э., Колобако А. А., Комаров М. А.</b> Выщелачивание соединений железа для получения фильтрующего материала с модифицированным покрытием для станций обезжелезивания .....	88
<b>Пьяе П. А.</b> Полимерные детали корпусов лазерных головок и методика их проектирования.....	91
<b>Семерикова М. Е., Наумова Т. В.</b> Методика комплексной оценки утилизируемости авиационной техники по критерию экологичности .....	97

<b>Соколович М. Г., Гуменный Н. А., Махмудов А. К., Ларченко Н. А. Оценка устойчивости CNN-классификатора голосовых команд к акустическим искажениям на основе анализа спектральных признаков .....</b>	101
<b>Старостенков Я. Н. Разработка мобильной ветро-солнечной энергетической установки для автономного энергоснабжения объектов в Республике Беларусь .....</b>	107
<b>Сувханов Д. Д. Разработка «умного дома» на основе протокола MQTT на базе модуля ESP32 .....</b>	111
<b>Хваленя С. В. Стратегии цифровой трансформации и адаптации контента печатных СМИ Республики Беларусь .....</b>	114
<b>Шаблинский Д. А. Генерация и верификация учебного контента по дисциплине «Программирование сетевых приложений» с использованием больших языковых моделей.....</b>	118
<b>Шимчук А. А. Методы определения содержания фурана в пищевых продуктах .....</b>	121
<b>Шимчук А. А. Фуран в консервированной овощной продукции .....</b>	126
<b>Шульга Е. А., Шумчена К. Д., Толкач И. В. Интерпретация данных дистанционного зондирования с использованием методов искусственного интеллекта .....</b>	130
<b>Шульга Е. А., Шумчена К. Д., Толкач И. В. Использование беспилотных летательных технологий для лесопатологического мониторинга лесов.....</b>	135
<b>Юнчик К. Г. Методы анонимизации персональных данных пользователей библиотек с использованием алгоритмов машинного обучения .....</b>	140
<b>ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ.....</b>	144
<b>Головин Е. Д., Шамына А. А., Капшай В. Н. Генерация суммарной частоты в поверхностном слое сфероидальной частицы в приближении Вентцеля–Крамерса–Брилюэна .....</b>	144
<b>Степаненко Н. В. Оценка эффективности воздушно- аккумулирующих станций .....</b>	149

# Секция ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 57.044:577.152.7:581.143:633.853.494

## **ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ НА ЛИПОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В ПРОРОСТКАХ ОЗИМОГО РАПСА (*BRASSICA NAPUS L.*) В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Будяну И. С.*

студент, УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

**Введение.** Озимый рапс (*Brassica napus L.*) является ведущей масличной культурой в мире, имеющей критическое значение для производства растительного масла, биотоплива и высокобелковых кормов. Его высокая продуктивность в значительной степени зависит от эффективности прорастания семян, процесса, инициируемого и поддерживаемого активной мобилизацией запасных липидов. Ключевую роль в этом процессе играет группа ферментов липаз (КФ 3.1.1.3), катализирующих гидролиз триацилглицеридов до глицерина и свободных жирных кислот, которые затем используются в качестве источника энергии и углерода в глиоксилатном цикле и  $\beta$ -окислении [1]. Активность липазного комплекса служит тонким индикатором метаболического статуса проростка и может быть чувствительной мишенью для агрохимикатов [2].

В современном интенсивном земледелии предпосевная обработка семян фунгицидами и стимуляторами роста стала стандартной практикой. Триазольные фунгициды, такие как «Скарлет» (тебукона-

зол и тритиконазол), широко применяются для контроля почвенных патогенов благодаря их системному действию и высокой эффективности [3]. Однако их липофильная природа и механизм действия, направленный на ингибирование биосинтеза стеролов (C14 - деметилаза цитохрома P450), потенциально могут влиять на нецелевые ферментативные системы растений, в частности на мембраносвязанные липазы, выступая в роли ингибиторов [3]. В свою очередь, регуляторы роста, например, «Атоник Плюс», содержащие нитрофеноляты и производное пиридина, предназначены для усиления общей метаболической активности и стрессоустойчивости растений через активацию дыхания и энергетического обмена [4]. Их влияние на липидный метаболизм на ферментативном уровне изучено недостаточно.

**Основная часть.** Целью данной работы являлся анализ потенциального влияния комплексной обработки фунгицидом «Скарлет» и регулятором роста «Атоник Плюс» на суммарную липолитическую активность в проростках озимого рапса.

В качестве объекта исследования использовали семена озимого рапса сорта «Империал», включённого в Государственный реестр сортов Республики Беларусь. Сорт характеризуется высокой зимостойкостью и значительным потенциалом урожайности [5]. Для исследования применяли два коммерческих препарата, разрешённых к применению на территории Республики Беларусь: фунгицид «Скарлет» и регулятор роста «Атоник Плюс» [6].

Фунгицид «Скарлет» содержит два действующих вещества триазольного класса: тебуконазол (125 г/л) и тритиконазол (100 г/л) [6]. С химической точки зрения, молекулы этих соединений представляют собой производные 1,2,4 - триазола, содержащие ароматические хлорзамещённые кольца и третичный спиртовый фрагмент. Наличие гетероцикла с атомами азота и хлора в ароматической системе придаёт молекулам выраженную липофильность и устойчивость к биодеградации. Механизм фунгицидного действия основан на ингибировании цитохром P450-зависимой C14-деметилазы, ключевого фермента синтеза эргостерина в грибах. Высокое средство к липидным фазам предполагает возможность их накопления в липидных каплях (олеосомах) проростков, где может происходить физическое блокирование интерфейса активации мембраносвязанных липаз или аллостерическое ингибирование за счёт взаимодействия азота триазольного кольца с функциональными группами фермента [3].

Стимулятор роста «Атоник Плюс» представляет собой комбинацию н-оксида 2,6 - диметилпиридина (50 г/кг), калиевой соли орто-нитрофенола (30 г/кг) и калиевой соли пара-нитрофенола (30 г/кг) [6]. Ключевыми с точки зрения биохимической активности являются нитрофеноляты. Нитрогруппа является сильным электроноакцептором, что приводит к делокализации электронной плотности в фенолятном анионе. Такие молекулы способны участвовать в окислительно-восстановительных реакциях, потенциально выступая в роли шунтов в дыхательной цепи, что может приводить к временному увеличению синтеза АТФ. Пиридин-N-оксид может выступать лигандом для металлокомплексов ферментов. Химизм действия препарата основан на неспецифической активации энергетического метаболизма, что может опосредованно стимулировать синтез ферментов, включая липазы [4].

Для исследования влияния комплексной обработки фунгицидом «Скарлет» и регулятором роста «Атоник Плюс» на суммарную липолитическую активность в проростках рапса были определены шесть вариантов обработки (представлены в таблице 1). Допустимые уровни применения препаратов установлены в соответствии с официальными рекомендациями [6].

Для лабораторного проращивания использовали стерильные пластиковые пищевые контейнеры. На их дно помещали два слоя стерильной фильтровальной бумаги. В каждый контейнер высевали навеску семян массой 20 г. Фильтровальную бумагу равномерно увлажняли 10 мл соответствующего рабочего раствора препарата или дистиллированной водой (контроль). Обработку семян фунгицидом «Скарлет» проводили в первый день закладки опыта. Регулятор роста «Атоник Плюс» вносили на вторые сутки эксперимента, аккуратно добавляя необходимое количество раствора на подложку. Контейнеры накрывали пищевой пленкой с перфорацией для газообмена. Проращивание вели в условиях естественного освещения при температуре  $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Определение липолитической активности проводили на 3-и сутки эксперимента, отбирая проростки со сходной морфологией.

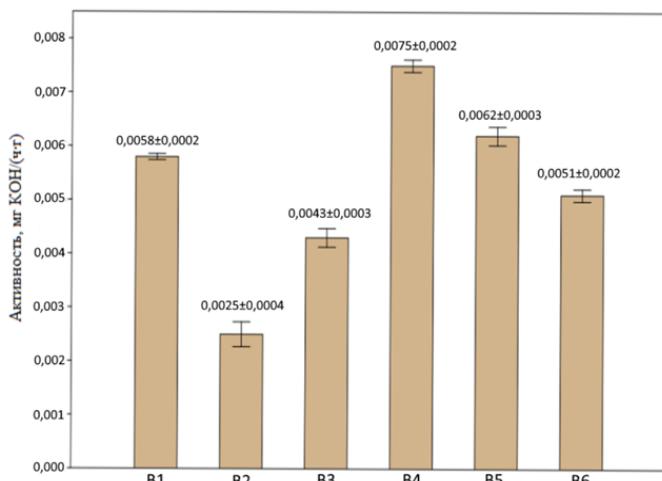
Липолитическую активность определяли титrimетрическим методом [7], основанным на измерении количества жирных кислот, высвобождаемых при гидролизе триацилглицеридов рапсового масла. Ферментативный экстракт получали гомогенизацией проростков в фосфатном буфере ( $\text{pH } 7,4$ ). После инкубации образовавшиеся кислоты оттитровывали 0,05 М раствором КОН.

Статистическую обработку экспериментально полученных данных проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе «Past 4.03». Результаты исследования, представленные в таблице 1, демонстрируют статистически значимые изменения липолитической активности под влиянием исследуемых средств химизации. Визуальное представление варьирования данных, подтверждающее статистическую достоверность выявленных различий, приведено на диаграмме размаха (рисунок 1).

**Таблица 1** – Данные липолитической активности в проростках

Вариант опыта	Обработка	Активность фермента, мг KOH/(ч·г)	F-критерий	p (относительно B1)
B1	Контроль (вода)	0,0058 ± 0,0002	F (5, 18) = 87,47 p < 0,001	–
B2	«Скарлет» (1 ДУ)	0,0025 ± 0,0004		< 0,001
B3	«Скарлет» (2 ДУ)	0,0043 ± 0,0003		< 0,001
B4	«Атоник Плюс»	0,0075 ± 0,0002		< 0,01
B5	«Скарлет» (1 ДУ) + «Атоник Плюс»	0,0062 ± 0,0003		> 0,05 (н.д.)
B6	«Скарлет» (2 ДУ) + «Атоник Плюс»	0,0051 ± 0,0002		< 0,05

Примечание: p > 0,05 (н.д.) означает, что разница в липолитической активности между B5 и контролем (B1) статистически не значима.



**Рисунок 1** – Диаграмма размаха варьирования показателей липолитической активности в проростках озимого рапса в условиях лабораторного эксперимента

Активность ферментов липаз в контрольной группе проростков (В1) была на уровне  $0,0058 \pm 0,0002$  мг КОН/(ч·г). Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил статистически значимое различие с контролем всех вариантов обработок ( $F(5, 18) = 87,47$ ,  $p < 0,001$ ). Обработка фунгицидом «Скарлет» в дозе 1ДУ (В2) вызвала сильное ингибирование, снизив активность более чем в два раза – до  $0,0025 \pm 0,0004$  мг КОН/(ч·г) относительно контроля. Увеличение дозы фунгицида (В3) привело к достоверному частичному восстановлению активности до  $0,0043 \pm 0,0003$  мг КОН/(ч·г), хотя это значение оставалось ниже контрольного. В противоположность этому, обработка «Атоник Плюс» (В4) показала выраженный стимулирующий эффект, повысив активность до максимального в опыте уровня  $0,0075 \pm 0,0002$  мг КОН/(ч·г) ( $p < 0,01$ ). В комбинированных вариантах обработки (В5, В6) наблюдали снижение суммарного ингибирующего эффекта. Так, в варианте В5 («Скарлет» 1ДУ + «Атоник Плюс») активность липаз ( $0,0062 \pm 0,0003$  мг КОН/(ч·г)) статистически не отличалась от контроля ( $p > 0,05$ ), что свидетельствует о полной нейтрализации ингибирующего действия фунгицида. В варианте В6 с двойной дозой фунгицида активность составила  $0,0051 \pm 0,0002$  мг КОН/(ч·г), что было достоверно ниже контроля ( $p < 0,05$ ), но выше, чем при действии одного фунгицида в сопоставимой дозе (В3). Таким образом, регулятор роста нивелировал ингибирующий эффект фунгицида, возвращая активность липаз к уровню, близкому к контрольному.

Обсуждение полученных результатов в контексте литературных данных позволяет предположить следующие механизмы взаимодействия агрохимикатов с липазным комплексом озимого рапса. Сильное ингибирование, зафиксированное для варианта В2, коррелирует с известными данными о липофильности триазолов. Химическая природа тебуконазола и тритиконазола обусловливает их накопление в липидных структурах [3], где они могут нарушать целостность липидного монослоя олеосом или непосредственно взаимодействовать с гидрофобными участками липаз, выступая в роли неконкурентных ингибиторов [2, 3]. Эффект частичного восстановления активности при высокой дозе (В3) может быть интерпретирован в рамках явления гормезиса, когда слабый стресс активирует защитные и компенсаторные системы клетки [2].

Стимулирующий эффект «Атоник Плюс» (В4) может быть объяснён редокс-свойствами нитрофенолятов, их способностью активи-

ровать митохондриальное дыхание и синтез АТФ, косвенно усиливая биосинтетические процессы, включая синтез ферментов [4]. Взаимное ослабление эффектов в комбинированных обработках фунгицидом «Скарлет» и стимулятором роста «Атоник Плюс» (В5, В6) является ключевым результатом. Он предполагает, что метаболическая активация, индуцируемая стимулятором роста, может ускорять процессы детоксикации фунгицида (например, через систему цитохрома Р450 и последующую глюкозидацию) или поддерживать работу АТФ-зависимых систем reparации мембран, тем самым защищая функциональность липаз [2, 3]. Данная гипотеза находит поддержку в исследованиях, показывающих общие закономерности влияния ксенобиотиков на ферментные системы растений [2].

**Заключение.** На основании проведённого эксперимента можно сделать следующие теоретические выводы:

1. Триазольные фунгициды, в силу своей липофильной природы, являются потенциальными ингибиторами липазной активности в прорастающих семенах рапса, что согласуется с данными об их побочных эффектах на нецелевые ферменты;
2. Регуляторы роста на основе нитрофенолятов могут оказывать противоположное, стимулирующее действие на липидный катаболизм, вероятно, через активацию энергетического метаболизма;
3. Совместное применение данных классов препаратов может приводить к взаимодействию, выражющемуся во взаимном ослаблении эффектов, что свидетельствует о необходимости тщательного подбора совместимых баковых смесей для предпосевной обработки семян с учётом возможных биохимических конфликтов;
4. Полученные данные и методология могут служить основой для планирования дальнейших детальных *in vivo* исследований по оценке фитотоксичности и физиологической совместимости агрехимикатов на молекулярно-биохимическом уровне, с использованием липополитической активности в качестве чувствительного биохимического маркера.

#### **Список использованных источников**

1. Жуйкова, Т. В., Колесниченко, М. В. Физиолого-биохимические аспекты прорастания семян масличных культур (на примере рапса) / Т. В. Жуйкова, М. В. Колесниченко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 4(67). – С. 45–52.
2. Власюк, П. А., Кривобок, Н. М. Влияние ксенобиотиков на активность ферментных систем проростков сельскохозяйственных культур / П. А. Власюк, Н. М. Кривобок // Физиология и биохимия культурных растений. – 2016. – Т. 48, № 3. – С. 210–218.

3. Мелехова, О. П., Егорова, Е. И., Телегина, Т. А. Триазольные фунгициды: механизм действия, резистентность и побочные эффекты на растения / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. А. Телегина // Агрохимия. – 2020. – № 8. – С. 86–96.
4. Петров, В. С., Сидорова, Л. В. Регуляторы роста растений на основе нитрофенолятов: механизм физиологического действия и эффективность применения / В. С. Петров, Л. В. Сидорова // Плодородие. – 2019. – № 5(110). – С. 34–38.
5. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений // Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Минск, 2025. – URL: <http://sorttest.by/registry.php> (дата обращения: 10.12.2025).
6. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь // Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений. – Минск, 2025. – URL: <https://ggiskzr.by/reestr-szr/> (дата обращения: 10.12.2025).
7. Новиков, Н. Н. Лабораторный практикум по биохимии растений : учеб. пособие / Н. Н. Новиков, Т. В. Таразанова. – М. : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. – 97 с.

УДК 661.847.22, 54.057

## **НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ ОКСИД ЦИНКА, ДОПИРОВАННЫЙ ЕВРОПИЕМ: ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И СИНХРОТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Зернов Я. Г.*

лаборант-исследователь, ДВФУ

*Резниченко Т. В.*

лаборант-исследователь, ДВФУ

*Храмов Е. В.*

научный сотрудник, к.х.н., НИЦ «Курчатовский Институт»

*Шурыгин А. В.*

заведующий молодежной лабораторией структурного материаловедения,  
к. ф.-м. н., ДВФУ

**Введение.** Перспективы применения наноструктурированного оксида цинка, допированного ионами европия, являются многообещающими в области оптоэлектроники, фотокатализа и создания новых люминесцентных материалов. Полупроводник ZnO служит эффективной матрицей для внедрения редкоземельных ионов европия, что позволяет объединить преимущества квантово-размерных эффектов наночастиц с характерной, узкополосной люминесценцией ионов Eu<sup>3+</sup>.

Ключевым условием для проявления таких гибридных фотолюминесцентных свойств является эффективный непрямой (сенсибилизованный) перенос энергии от возбуждённой полупроводниковой матрицы к 4f-уровням ионов европия. Именно этот процесс определя-

ет интенсивность свечения активатора. На его эффективность решающее влияние оказывает дефектная структура материала. Дефекты кристаллической решётки ZnO, такие как вакансии кислорода или цинка, могут выступать в роли промежуточных центров, сенсибилизирующих люминесценцию: Центры поглощают энергию возбуждения и передают её на ионы Eu<sup>3+</sup>, конкурируя при этом с каналами релаксации.

**Основная часть.** Для синтеза оксида цинка, допированного частицами Eu, использовали ZnCl<sub>2</sub> и Eu(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. Соли растворяли в воде и покапельно добавляли раствор 25% NH<sub>4</sub>OH при постоянном нагревании. Осажденных гидроксиды растворяли в ледяной уксусной кислоте и выпаривали до образования осадка, состоящего из смеси ацетатов Zn и Eu. Полученный осадок сушили в вытяжном шкафу при 70°C в течение суток и отжигали в муфельной печи при 600°C с выдержкой 2 часа. В ходе синтеза был получен чистый и додопированный 3% масс. Eu оксид цинка.

На рисунке 1 представлены рентгенограммы чистого оксида цинка и додопированного оксидом европия. Пики ZnO полностью совпадают с набором пиков из базы данных, а прекурсорных и примесных пиков не наблюдается, что говорит о чистоте полученной фазы и корректности синтеза. Добавка оксида европия (III) не смешивает пики основной фазы, следовательно химического взаимодействия между оксидами во время синтеза не происходит.

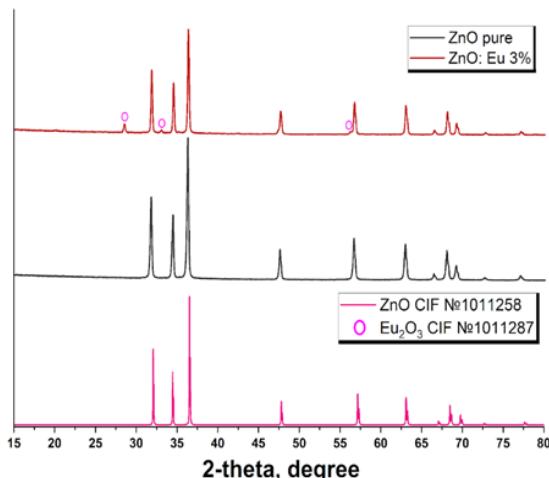
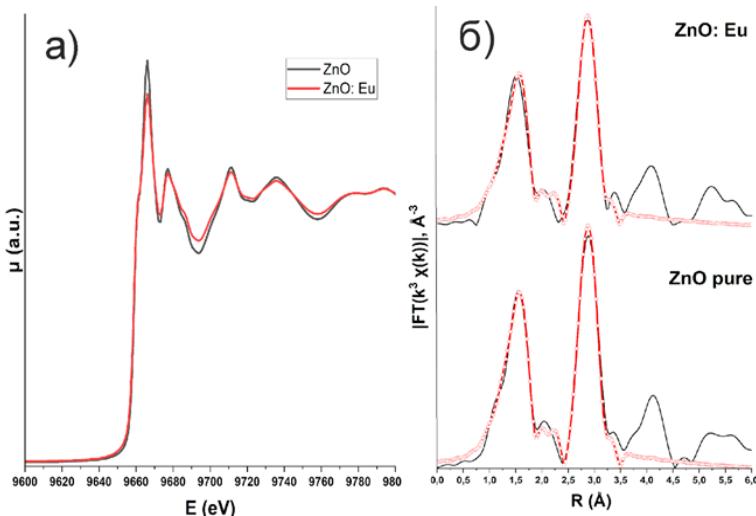


Рисунок 1 – Дифрактограммы ZnO и ZnO:Eu

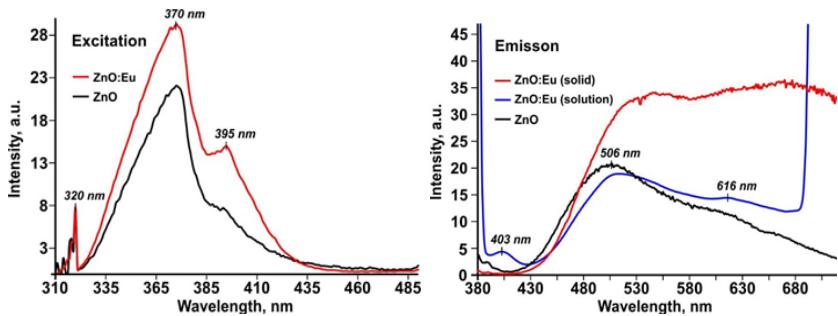
Образцы исследовались методом XAS-спектроскопии на К-краю поглощения Zn (9659 эВ) в режиме пропускания. На рисунке 2 (а) представлены спектры чистого и дopedированного оксида цинка в области XANES. Образцы имеют сходное локальное окружение и Zn находится в оксидной фазе.



**Рисунок 2** – Спектры XANES и Фурье-трансформанты EXAFS для ZnO и ZnO:Eu

Фурье-трансформанты EXAFS-спектров имеют 2 выраженных интенсивных пика для всех образцов (рис. 2, б). Интенсивный пик на  $R\sim 1.5 \text{ \AA}$  может соответствовать координации «металл-кислород». Второй более интенсивный пик при  $R\sim 3.0 \text{ \AA}$  может относиться к координационной сфере «металл-металл».

Моделирование EXAFS спектров осуществлялась от 1 до  $3.5 \text{ \AA}$  при  $k_w = 2, 3$  в диапазоне волновых чисел от 2 до  $13.5 \text{ \AA}^{-1}$ . Первая координационная сфера «металл-кислород» точно описывается 2 путями рассеяния фотоэлектрона на атомах O с КЧ равным 3. Вторая координационная «металл-металл» описывается 2 путями рассеяния Zn-Zn с объемными КЧ равными 6. Однако при добавлении частиц Eu КЧ в координации Zn-Zn снижается до 1.87. Таким образом, малые значения КЧ указывают на нанодисперсность оксида. Это связано с тем, что в наночастицах большинство атомов находятся вблизи поверхности, где их локальное координационное окружение неполно.



**Рисунок 3 – Оптические спектры возбуждения (справа) и эмиссии (слева) ZnO:Eu в твердой фазе и растворе этанола**

Фотолюминесцентные спектры были получены для твердых образцов с энергией возбуждения 365 нм. На рисунке 3 спектр эмиссии представляет собой широкую полосу от 400 до 800 нм с двумя выраженнымми максимумами.

Спектры возбуждения, зарегистрированные для линии люминесценции 613 нм, демонстрируют ключевое различие между ZnO и ZnO:Eu. Чистый ZnO характеризуется широкой полосой возбуждения в УФ-области с максимумом около 375 нм, что соответствует собственным межзонным переходам в образце. В спектре возбуждения ZnO:Eu, наряду с этой полосой, появляется набор узких линий в видимой области, которые являются характерными для внутрицентровых 4f-4f переходов ионов Eu<sup>3+</sup>.

На рисунке 3 (слева) изображены спектры фотолюминесценции, полученные при возбуждении излучением с длиной волны 375 нм. Спектр чистого ZnO показывает интенсивную широкую полосу в зелено-жёлтой области (максимум ~565 нм), традиционно связываемую с рекомбинацией через дефектные состояния, например, через кислородные вакансии. При добавлении европия данная полоса оказывается существенно подавленной. В спектрах образцов ZnO:Eu (как в твёрдой фазе, так и в растворе этанола) доминируют узкие линии, соответствующие переходам с уровня 5d иона Eu<sup>3+</sup> на нижележащие f-уровни.

**Заключение.** Проведенные исследования демонстрируют, что синтезированный нанокомпозит ZnO:Eu представляет собой перспективный гибридный материал, в котором сочетаются наноструктурированная полупроводниковая матрица и редкоземельный

активатор. Установленные корреляции между структурной нанодисперсности, выявленной синхротронными методами, и эффективностью сенсибилизированной фотолюминесценции открывают пути для целенаправленного конструирования подобных систем с заданными оптическими характеристиками для применения в оптоэлектронике, биосенсорах и люминофорах.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZNS-2024-0013).

УДК 543.2:544.4:547.475.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

*Карп А. А., Стребко С. А.*

учащ. ГУО «Ордена Трудового Красного Знамени гимназия № 50 г. Минска»

*Науч. рук. учитель химии Акулич Ю. В.*

ГУО «Ордена Трудового Красного Знамени гимназия № 50 г. Минска»

*Консульт. доцент каф. АХ Подтероб А. П.*

Белорусский государственный университет

Аскорбиновая кислота — водорастворимый витамин, он участвует в синтезе коллагена, укрепляет иммунитет и поддерживает здоровье сосудов. Витамин С является антиоксидантом, легко отдает электроны, чтобы нейтрализовать нестабильные свободные радикалы, стабилизирует цвет соков и напитков. В настоящее время для обнаружения аскорбиновой кислоты используют высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ), а также спектрофотометрические и флуориметрические методы.

Актуален поиск и использование общедоступной, точной и быстрой методики анализа не только для промышленности, но и для учебных заведений. Разработка и проверка методик, которые можно использовать в условиях обычного кабинета химии, дает нам шанс повысить качество практической деятельности и сделать исследования (научные работы) более доступными.

**Предмет исследования:** Количество определение аскорбиновой кислоты кинетическим методом.

**Цель работы:** Определение концентрации аскорбиновой кислоты в различных объектах визуальным и спектрофотометрическим методами на основе кинетики

**Задачи:** 1. Провести критический анализ литературных источников по теме исследования и систематизировать существующие методы анализа аскорбиновой кислоты.

2. Исследовать возможность визуального определения аскорбиновой кислоты с использованием окрашенного комплекса, образованного ионами Fe(+3) и сульфосалициловой кислотой.

3. Разработать кинетический метод количественного определения аскорбиновой кислоты в различных объектах.

4. Определить содержание аскорбиновой кислоты в различных объектах по разработанной методике.

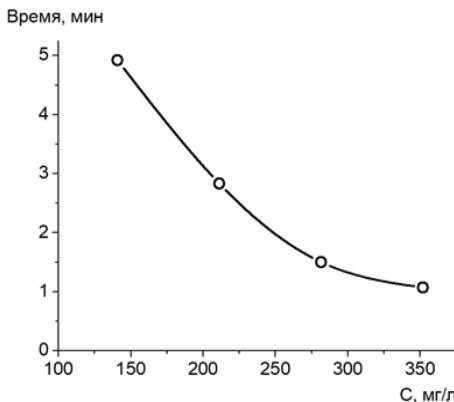
5. Разработать рекомендации по практическому использованию предложенной методики.

**Гипотеза:** Исходя из известного факта, что аскорбиновая кислота окисляется ионами Fe(+3), предложено вместо ионов Fe(+3) использовать в данной реакции окрашенный комплекс, образованный ионами Fe(+3) и сульфосалициловой кислотой. В процессе оксилительно-восстановительной реакции окрашенный комплекс должен разрушаться, а раствор обесцвечиваться. Скорость реакции будет возрастать с увеличением концентрации аскорбиновой кислоты. Таким образом, гипотеза заключается в возможности разработки кинетической методики количественного определения аскорбиновой кислоты. Контроль за протеканием реакции можно проводить визуальным, а также спектрофотометрическим методом.

**Методы исследования:** Изучение и анализ литературных источников, визуальный и спектрофотометрический методы.

**Практическая часть.** Цель практической части: Определение концентрации аскорбиновой кислоты визуальным и спектрофотометрическим методом в различных объектах.

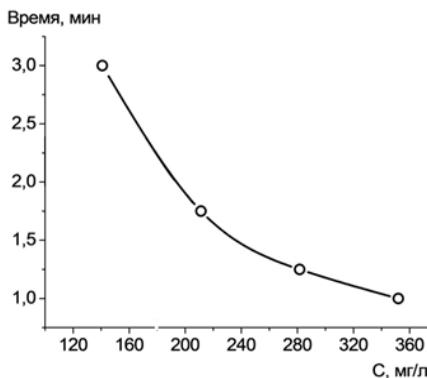
**Опыт 1:** Построение калибровочной зависимости времени обесцвечивания раствора от концентрации аскорбиновой кислоты путём визуального фиксирования момента полного исчезновения окраски комплекса железа(III) с сульфосалициловой кислотой.



**Рисунок 1** – Зависимость времени протекания реакции от начальной концентрации аскорбиновой кислоты в реакционной смеси

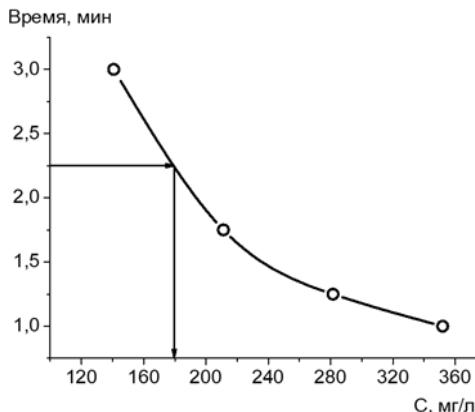
**Вывод для опыта 1:** Визуальный метод является удобным, недолгим, однако не очень точным методом определения концентрации растворов. Окислительный комплекс на основе ионов Fe(+3) и сульфосалициловой кислоты способен за короткий промежуток времени окислять сильные восстановители, такие как аскорбиновая кислота. В результате фиолетовый раствор обесцвечивается.

**Опыт 2:** То же, что в опыте 1, но время окончания реакции (обесцвечивания) определялось не на глаз, а по показаниям спектрофотометра (падение оптической плотности до нуля при длине волн 510 нм).



**Рисунок 2** – Зависимость времени протекания реакции от начальной концентрации аскорбиновой кислоты в реакционной смеси

**Опыт 3:** Практическое применение построенной калибровочной зависимости: измерение времени реакции для анализируемого раствора с неизвестной концентрацией аскорбиновой кислоты и расчёт этой концентрации по графику.



**Рисунок 3** – Зависимость времени протекания реакции от начальной концентрации аскорбиновой кислоты в реакционной смеси, где стрелками обозначена концентрация рабочего раствора

**Опыт 4:** Количественный анализ реального объекта — порошка аскорбиновой кислоты. Через калибровочную кривую определяли массу действующего вещества в навеске лекарственного средства.

**Вывод для опыта 4:** Этот опыт позволяет заключить, что лекарственное средство «Аскорбиновая кислота (витамин С). Порошок для приготовления раствора для приёма внутрь» представляет собой практически 100 % аскорбиновую кислоту.

**Таблица 1.** Сравнение кинетического метода и титрования

	Титрование	Кинетический
Принцип	Реакция окисления $C_6H_8O_6$ до дегидро-аскорбиновой кислоты ( $C_6H_6O_6$ ) с помощью титрантов (йод, йодат калия, 2,6-дихлорфеноллиндофенол).	<b>Визуальный этап:</b> Интенсивность полученной окраски визуально сравнивают со шкалой стандартных растворов. <b>Спектрофотометрический этап:</b> Интенсивность окраски измеряют на приборе при длине волны ~510 нм. Концентрацию рассчитывают по графику.

	Титрование	Кинетический
Что входит в расходы	Покупка штативов бюреток, пипеток, мерных колб и реактивов.	Покупка реактивов (соли $\text{Fe}^{3+}$ , сульфосалициловая кислота), колб, цилиндров, спектрофотометр.
Максимальное время анализа	5–15 мин.	После построения калибровочной кривой — 5 минут.
Точность	<b>Недостаточно</b> точный. Визуальное определение конечной точки — субъективное суждение, зависит от человека.	<b>Визуальный этап:</b> Низкая. из-за субъективности визуальной оценки. Погрешность может достигать 15–25%. <b>Спектрофотометрический этап:</b> Высокая. Благодаря объективности инструментального измерения. Погрешность обычно не превышает 2–5%
Доступность	Легко воспроизводится в школьной лаборатории, если проводить реакции, которые делятся непродолжительный промежуток времени.	Визуальная часть может быть выполнена в любой школьной лаборатории без сложного оборудования. А использование спектрофотометра усложняет данный процесс. Метод больше подходит для научных работ и вузов.

**Практическая значимость.** Разработана новая методика определения аскорбиновой кислоты, основанную на кинетике. Методика – это последовательность операций. Методик определения аскорбиновой кислоты очень много, но вопрос разработки новых методик остаётся всегда актуальным. Новые методики используют современные приборы и достижения в аналитической химии. А старые методики уходят в прошлое. Так, например, уже не используется методика титрования аскорбиновой кислоты с применением хлорного железа, хотя в своё время, примерно сто лет назад, на неё был получен патент. Но тогда не было приборов как сейчас, например, спектрофотометров. Всё устаревает. На смену старого приходит новое.

Использована оптическая плотность не сама по себе, а как средство слежения за скоростью реакции окисления аскорбиновой кислоты окрашенным комплексом. В этом и есть новизна. Если же просто измерить оптическую плотность и сделать расчёты по уравнению Бугера-Ламберта-Бера, то таких методик много. Новизна методики в том, что она основана на сочетании кинетики и спектрофотометрии.

**Заключение к сравнению.** Методы титрования остаются незаменимыми для обучения основам химического анализа, так как они наглядны, просты в исполнении и не требуют сложного оборудования.

Однако кинетический метод превосходит их по точности, надежности и скорости проведения измерений. Хотя первая затрата на покупку оборудования достаточно высокая, сам анализ является бюджетным. Так как прибор будет служить долгие годы.

Этот метод позволяет перейти от школьных опытов к настоящей научной работе, формируя у учащихся знания и умения в области физико-химических методов анализа. Для учебных занятий и знакомства с основами химических реакций логично использовать титрование. Для более глубокой исследовательской работы, требующей точных результатов, кинетический метод — отличный выбор. Наличие в школе или университете спектрофотометра открывает двери в научную деятельность по химии, биологии и физике.

### **Выводы:**

1. Разработана новая методика количественного определения аскорбиновой кислоты, основанная на зависимости времени протекания реакции от концентрации аскорбиновой кислоты в растворе, применена в анализе лекарственного средства «Аскорбиновая кислота (витамин С). Порошок для приготовления раствора для приема внутрь». Установлено, что лекарственное средство представляет собой чистый порошок аскорбиновой кислоты.

2. Методика отличается быстротой выполнения (по сравнению с титрованием), доступностью с дешевизной растворов и небольшими погрешностями (2–3%).

3. Методика рекомендуется для контроля качества лекарственных средств, содержащих аскорбиновую кислоту, но не содержащих красители.

4. Рекомендуется использовать модернизированную методику для контроля качества лекарственных средств, содержащих аскорбиновую кислоту, но не содержащих красители.

**Заключение.** Важно отметить следующие положительные аспекты, которые мы подчеркнули при проведении анализа наличия аскорбиновой кислоты, согласно предложенному методу: экономическая и физическая доступность реагентов, быстрота реакции, а вследствие и определения аскорбиновой кислоты, а также то, что используемые реагенты и продукты реакции не представляют опасности для окружающей среды.

К недостаткам можно отнести то, что метод исследован не полностью и некоторые вопросы, затронутые в методике, требуют дальнейшего изучения.

## *Список использованной литературы*

1. Беликов, В. Г. Фармацевтическая химия. В 2 ч: Учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп./ В. Г. Беликов. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 624 с.
2. Горбачев, В. В. Витамины, микро- и макроэлементы. Справочник./ В. В. Горбачев, В. Н. Горбачева. – Минск: Книжный дом; Интерпресссервис, 2002. – 544 с.
3. Государственная фармакопея СССР: Вып. 2, 11-е изд. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье / Министерство здравоохранения СССР. – М.: Медицина, 1989. – 400 с.
4. Колотилова, А. И. Витамины (химия, биохимия и физиологическая роль) / А. И. Колотилова, Е. П. Глушанков. – Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1976. – 248 с.
5. Мелентьева, Г. А. Фармацевтическая химия / Г. А. Мелентьева, Л. А. Антонова. – М.: Медицина, 1985. – 480 с.
6. Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения витамина С: ГОСТ 24556-89. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. – 11 с.
7. Ахмедова, Р. И. Спектрофотометрическое определение аскорбиновой кислоты в лекарственных формах / Р. И. Ахмедова, Х. А. Мирзаева // Universum: Химия и биология – 2016. – Т. 30, № 12. – С. 29–31.
8. Девис, М. Витамин С: Химия и биохимия: Пер. с. англ./ М. Девис, Дж. Остин, Д. Патридж. – М.: Мир, 1999. – 176 с.
9. SU 1352361 A1. Способ определения аскорбиновой кислоты / Компанцев В. А., Писарев В. В., Щербак С. Н. – 4039067/28-04. Заявл.16.12.1985. Опубл. 15.11.1987 // Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий.
10. SU 1626150 A1. Способ определения аскорбиновой кислоты / Сичко А. И., Скребцова Н. А. – 4621042/04. Заявл.16.12.1988. Опубл. 07.02.1991 // Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий.
11. Приказ МИНДРАВА России // от 20.07.2023 // номера 377. Издания: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания // Раздел: 1.2.1.2. Хроматографические методы анализа // ОФС.1.2.1.2.0005.
12. Магин, Д. В. Фотохемилюминесценция как метод изучения антиоксидантной активности в биологических системах. Математическое моделирование / Д. В. Магин, Д. Ю. Измайлов, И. Н. Попов, Г. Левин, Ю. А. Владимиров // Вопросы медицины, 2000, т. 46. – № 4. – С. 419–425.

УДК 66.081.63:631.8

## **ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙНОСТЬ РАСТЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ИОНИТОВ, НАСЫЩЕННЫХ БИОГЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

*Кучинский П. В.*

ГУО «Ордена Трудового Красного Знамени гимназия № 50 г. Минска»

**Введение.** Ионообменные субстраты — это искусственные питательные среды на основе анионитов [1] и катионитов [1], способные аккумулировать биогенные элементы и постепенно высвобождать их в доступной для растений форме. Такие субстраты обе-

спечивают сбалансированное питание, предотвращают вымывание элементов при поливе и снижают необходимость внесения минеральных удобрений.

**Актуальность** исследования обусловлена снижением плодородия дерново-подзолистых почв Беларуси, рисками деградации почв при интенсивном применении удобрений, а также ростом интереса к экологически безопасным технологиям растениеводства, особенно в условиях закрытого грунта.

**Цель работы** — определить влияние концентрации и состава ионитного субстрата на рост и урожайность растений.

**Гипотеза** — добавление ионитного субстрата в песок создаёт более эффективную и контролируемую питательную среду по сравнению с традиционными почвенными смесями.

**Методика исследования.** В работе использовались анионит ЭДЭ-10П [1] и катионит КУ-2Н [1]. Анионит переводился в OH<sup>-</sup>-форму солевым методом с применением раствора NaOH с последующей многократной промывкой и контролем качества (рН-метрия и кондуктометрия). Далее готовилась смесь анионита и катионита с добавлением макро- и микроэлементов (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo и др.).

В качестве тест-культуры выбрана *Brassica rapa subspecies pekinensis* (капуста пекинская, сорт «Шанхай») — скороспелое и чувствительное к условиям питания растение.

Были подготовлены восемь типов почвенных композиций:

- смеси песка с ионитным субстратом в концентрациях 1, 3, 5 и 10% (V1–V4);
- смесь субстрата с клиноптилолитом;
- контрольные варианты: торф, песок и дерново-подзолистая почва.

Растения выращивались в одинаковых условиях освещения, температуры и влажности. Измерялись показатели всхожести, динамики роста, длины ростков, сырой и сухой фитомассы. Результаты обрабатывались статистически.

**Результаты.** Установлено, что добавление ионитного субстрата значительно улучшает рост растений по сравнению с природными почвами. На песчаной почве без субстратов рост быстро прекращался, несмотря на относительно высокую начальную динамику. Наилучшие результаты показала композиция V4 (10% ионитного

**субстрата**), где средние значения роста и фитомассы были сопоставимы или превышали показатели контрольной группы. При снижении концентрации субстрата (V1–V3) наблюдался устойчивый, но менее выраженный рост. Торфяная и дерново-подзолистая почвы обеспечивали значительно меньшую урожайность, что указывает на их ограниченное плодородие без дополнительного обогащения. Рост растений и накопление фитомассы оказались прямо пропорциональны содержанию ионитного субстрата в почвенной смеси, что подтверждает эффективность контролируемого ионного питания.

**Выводы и заключение.** Ионитные субстраты на основе анионита и катионита существенно повышают продуктивность растений *Brassica rapa* subspecies *pekinensis*. Оптимальной признана композиция с содержанием 10% субстрата в песчаной почве. Полученные результаты подтверждают перспективность ионообменных питательных сред как экологически безопасной альтернативы традиционным удобрениям и почвам, а также целесообразность дальнейших исследований в области оптимизации состава, оценки долгосрочного воздействия и адаптации к климатическим изменениям.

- Ионитные субстраты обеспечивают контролируемое и сбалансированное питание растений.
- Добавление ионитного субстрата значительно повышает рост и урожайность по сравнению с природными почвами.
- Рост и фитомасса растений прямо пропорциональны концентрации субстрата в почвенной смеси.
- Оптимальной признана композиция с 10% ионитного субстрата (V4).
- Песок без добавок и торфяная почва показали наименьшую эффективность.
- Ионитные субстраты перспективны для устойчивого земледелия и закрытого грунта.
- Технология позволяет снизить вымывание элементов питания и потребность в удобрениях.
- Направления дальнейших исследований: оптимизация состава, экологическое безопасное применение, экономическая эффективность.

#### **Список использованных источников**

1. Солдатов В. С. Теория и практика ионного обмена: современные аспекты. / Национальная академия наук Беларусь, Институт физико-органической химии. Беларуская наука, 2013. – 200 с.

ка, Минск, 2020. 599 стр., <https://library.bntu.by/books/soldatov-v-s-teoriya-i-praktika-ionnogo-obmena-sovremennoye-aspekyt/> УДК 541.183.

2. С. Ю. Косандрович, О. В. Ионова, В. С. Солдатов. Композитные ионитные субстраты на основе полимерного ионита и природного клиноптиолита / Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук, 2017, №4, С. 7-14 [https://vestichem.belnauka.by/jour/article/view/282?locale=ru\\_RU](https://vestichem.belnauka.by/jour/article/view/282?locale=ru_RU) УДК 544.723.

3. В. С. Солдатов, С. Ю. Косандрович, О. В. Ионова. Получение ионообменных субстратов для растений / Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук, 2017, №1. С. 7-13 [https://vestichem.belnauka.by/jour/article/view/232?locale=ru\\_RU](https://vestichem.belnauka.by/jour/article/view/232?locale=ru_RU) УДК 544.723:631.8.

4. Л. Н. Шаченкова, А. П. Езубец, Н. В. Вонсович. Ионообменные субстраты биона с новыми анионообменными компонентами / Почвоведение и агрохимия №2(73), 2024. С. 105-117. <https://share.google/AwdftKvpmp5jg5Wsl> УДК 631.8:544.723.

5. Горшкова Е. И., Салпагарова И. А., Трофимов С. Я. Ионный обмен и адсорбция в почвах. Учебное пособие / Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова. Издательство КДУ, 2008 г. 98 стр. <https://www.geokniga.org/books/3458> УДК 631.41.

УДК 664.8:543.062

## МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТОВ В КАБАЧКАХ И ПРОДУКТАХ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

*Молоц Я. К.*

магистрант кафедры физико-химических методов и обеспечения качества, БГТУ

*Наук. рук. доц., канд. тех. наук Шачек Т. М.*

**Введение.** Нитраты – это соли азотной кислоты, необходимые для роста живого организма. Всем овощам и фруктам нитраты необходимы как пища для созревания и роста.

Нитраты, которые накапливаются в овощах преимущественно из-за интенсивного использования азотных удобрений, могут содержаться в сырье в количествах, превышающих установленные нормативы – ТР ТС 021/2011, что наносит вред здоровью человека. Кабачки как популярный овощ, выращиваемый как в открытом грунте, так и в теплицах, и используемый для промышленной переработки, часто характеризуются повышенным содержанием нитратов, особенно в ранние сроки созревания и при несоблюдении агротехнических приемов [1–7].

В продуктах переработки кабачков, содержание нитратов может сохраняться или даже увеличиваться относительно исходного уровня в сырье ввиду особенностей технологической обработки, например, при производстве икры из кабачков [8]. Это повышает риски несоответствия готовой продукции по рассматриваемому

ксенобиотику. Таким образом, мониторинг нитратов становится важным элементом обеспечения качества и безопасности консервированной продукции из растительного сырья, особенно ввиду увеличения товарооборотами между различными странами.

**Основная часть.** Целью исследования был мониторинг содержания нитратов в кабачках и продуктах их переработки, реализуемых на территории Республики Беларусь. Объектами исследования являлись: кабачки свежие, разных ботанических сортов: Белокачанный кустовой, Грибовские, Цукини, Красавец, Цукеша, F1, выращенные в личном хозяйстве, Брестской и Минской областях (образцы 1–6), икра из кабачков, изготовленная по СТБ 39-95, ГОСТ 2654–2013 и ТНПА производителя (образцы 7–13) и консервы на овощной основе для детского питания для детей раннего возраста из кабачков – по СТБ 2051–2010 и ТНПА производителя (образцы 14–20).

Предмет исследования – содержание нитратов (мг/кг), определение массовой доли нитратов проводили по ГОСТ 34570–2019. Сущность метода определения нитратов основана на извлечении нитратов из пробы экстрагирующим раствором алюмокалиевых квасцов, с последующим измерением молярной концентрации нитратов в полученном экстракте с помощью ионоселективного электрода. На крутизну электродной функции влияет ионная сила раствора, влияние которой устраняют добавлением буферного раствора алюмокалиевых квасцов (1%). Неизвестную концентрацию нитратов в пробе рассчитывают по градуировочной зависимости с последующим пересчетом результата в мг/кг (п. 10 ГОСТ 34570–2019).

Исследования проводили в октябре–декабре 2025 года в испытательной лаборатории по контролю качества пищевых продуктов БГТУ.

Проверку приемлемости результатов измерений массовой доли нитрат-ионов, полученных в условиях повторяемости (два параллельных определения,  $n = 2$ ), проводили с учетом требований ГОСТ ИСО 5725-6. Результаты измерений считали приемлемыми при условии:

$$X_1 - X_2 \leq 0,01 \times r_{\text{отн}} \times X_{\text{сред}},$$

где  $X_1, X_2$  – результаты параллельных измерений массовой доли нитратов, мг/кг;

$X_{\text{сред}}$  – среднеарифметическое значение результатов параллельных измерений массовой доли нитратов, мг/кг;

$r_{\text{отн}}$  – предел повторяемости (таблица 3, ГОСТ 34570), %.

Промежуточные результаты, полученные при проведении экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – промежуточные результаты и проверка приемлемости

Номер образца	Результаты параллельных измерений		Выполнение условий приемлемости	
	$X_1$ , (мг/кг)	$X_2$ ,(мг/кг)	Данные для проверки	Результат (+/-)
1	2	3	4	5
<b>Кабачки</b>				
1	118,00	127,00	$9,00 \leq 18,38$	+
2	96,00	108,00	$12,00 \leq 15,30$	
3	59,30	66,60	$7,30 \leq 9,44$	
4	Меньше 30	Меньше 30	$0 \leq 4,46$	
5	63,60	56,70	$7,10 \leq 9,02$	
6	89,90	85,00	$4,90 \leq 12,58$	
<b>Икра из кабачков</b>				
7	87,76	91,90	$4,14 \leq 13,47$	+
8	73,77	65,75	$8,02 \leq 10,46$	
9	Меньше 30	Меньше 30	$1,35 \leq 2,18$	
10	Меньше 30	Меньше 30	$0,70 \leq 1,13$	
11	Меньше 30	Меньше 30	$0,92 \leq 1,49$	
12	Меньше 30	Меньше 30	$0,45 \leq 2,89$	
13	33,38	33,38	$0 \leq 5,00$	
<b>Консервы на овощной основе для детского питания для детей раннего возраста из кабачков</b>				
14	284,39	271,59	$12,80 \leq 41,69$	+
15	297,79	326,52	$28,73 \leq 46,83$	
16	Меньше 30	Меньше 30	$0,06 \leq 0,40$	
17	Меньше 30	Меньше 30	$0,06 \leq 0,38$	
18	Меньше 30	Меньше 30	$0,12 \leq 0,39$	
19	Меньше 30	Меньше 30	$0 \leq 0,35$	
20	Меньше 30	Меньше 30	$0,01 \leq 0,55$	

Из данных, представленных в таблице 1, видно, при проведении измерений массовой доли нитрат-ионов в кабачках и продуктах их переработки в рамках данной работы условие по выполнению критерия приемлемости в условиях повторяемости выполнялось для всех исследуемых образцов.

Результаты обработки экспериментальных данных по определению содержания массовой доли нитратов в кабачках свежих

различных ботанических сортов, а также в продуктах переработки кабачков – икре из кабачков и консервах на овощной основе для детского питания для детей раннего возраста из кабачков, реализуемых в торговых объектах г. Минска, представлены в таблице 2.

Из данных, представленных в таблице видно, что содержания нитратов (мг/кг), в изученных образцах, находилось в диапазоне концентраций от 30 до 312,2 мг/кг. При исследованиях уровня содержания ксенобиотика в кабачках свежих белорусской зоны произрастания и икры из кабачков, реализуемой на территории Республики Беларусь, в 100% случаев содержание нитратов находилось в допустимом – до 400 мг/кг, согласно ТР ТС 021/2011, диапазоне – 30–122,50 мг/кг. В то же время в исследуемых образцах консервов на овощной основе для детского питания для детей раннего возраста из кабачков содержание нитратов колебалось в пределах – от 30 до 312,20 мг/кг и в 28,6% образцов превышало установленный в ТР ТС 021/2011 норматив – 200 мг/кг.

**Заключение.** Результаты исследований, полученные при определении массовой доли нитратов в кабачках свежих и продуктах их переработки, позволяют сделать следующие выводы:

– содержание нитратов в кабачках свежих разных ботанических сортов, выращенных с соблюдением одинаковых агротехнических приемов, изменялось от 29,70 до 122,50 мг/кг и не превышало ПДК;

**Таблица 2** – Уровень нитратов в кабачках продуктах их переработки

Наименование группы продукции	Содержание нитратов в исследуемых образцах, мг/кг							Норматив по ТР ТС 021/2011 мг/кг
	1	2	3	4	5	6	7	
Кабачки свежие	122,50± 22,05	102,00± 18,36	62,95± 11,33	29,70± 5,35	60,15± 10,83	87,45± 15,74	–	400
Икра из кабачков	89,83± 16,17	69,76± 12,56	14,59± 2,63	7,56± 1,36	9,97± 1,79	19,32± 3,48	33,38± 6,00	400
Консервы на овощной основе для детского питания для детей раннего возраста из кабачков	277,99± 50,04	312,20± 56,20	2,63± 0,47	2,56± 0,46	2,59± 0,47	2,31± 0,42	3,65± 0,68	200

– исследуемые образцы икры из кабачков, среди которых были представлены производители из Республики Беларусь и Российской Федерации также имели допустимый уровень рассматриваемого показателя безопасности – не более 400 мг/кг;

–  $\frac{1}{3}$  часть образцов продуктов переработки кабачков для детского питания содержали нитраты в количествах, превышающих имеющийся норматив – 200 мг/кг.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости постоянного мониторинга данного показателя безопасности в продуктах переработки кабачков и разработки дополнительных технологических мероприятий, направленных на снижение уровня нитратов в готовой продукции.

#### Список использованных источников

1. «Дядя Ваня» под запретом: в кабачковой икре обнаружено превышение нитратов [Электронный ресурс] // Брагін. – 2025. – Режим доступа: <https://www.bragin.by/2025/06/dyadya-vanya-pod-zapretom-v-kabachkovoj-ikre-obnaruzheno-prevyshenie-nitratov/>. – Дата доступа: 22.12.2025.

2. Икра из кабачков: избыток нитратов в каждой второй банке [Электронный ресурс] // Общественный контроль. – 2025. – Режим доступа: <http://petkach.spb.ru/expertizy/144-2025-g/2584-ikra-iz-kabachkov-izbytok-nitratov-v-kazhdoj-vtoroj-banke>. – Дата доступа: 22.12.2025.

3. Токсичные угощения: в консервах с кабачковой икрой нашли превышение нормы нитратов [Электронный ресурс] // Деловой Петербург. – 2024. – Режим доступа: <https://www.dp.ru/a/2024/12/02/toksichnie-ugoshchenija-v-konservah>. – Дата доступа: 22.12.2025.

4. Токсичные угощения: в консервах с кабачковой икрой нашли превышение нормы нитратов [Электронный ресурс] // МОИГ. – Режим доступа: <https://moig.by/news/191-ostorozhno-opasnye-nitratty>. – Дата доступа: 22.12.2025.

5. Госстандарт запретил продажу кабачковой икры «Дядя Ваня» из-за превышения нитратов [Электронный ресурс] // Млын.бай. – 2025. – Режим доступа: <https://mlyn.by/30062025/gosstandart-zapretil-prodazhu-kabachkovoj-ikry-dyadya-vanya-iz-za-prevysheniya-nitratov/>. – Дата доступа: 22.12.2025.

6. В икре, выпущенной в Могилевской области, превышено содержание нитратов [Электронный ресурс] // Новости Бобруйска – Коммерческий курьер. – 2024. – Режим доступа: <https://komkur.info/v-ikre-vypushchennoj-v-mogilevskoj-oblasti-prevysheno-soderzhanie-nitratov>. – Дата доступа: 22.12.2025.

7. Делаем икру [Электронный ресурс] // Блог АФ-К. – Режим доступа: <https://blog.af-k.ru/delaem-ikru/>. – Дата доступа: 22.12.2025.

8. Тимофеева, В. Н. Технология консервирования фруктов и овощей / В. Н. Тимофеева. – Минск: Вышэйшая школа, 2021. – 303 с.

## СИНТЕТИЧЕСКИЙ МАГНИТНЫЙ БИОКОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТА КАЛЬЦИЯ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ ДОСТАВКИ 5-ФТОРУРАЦИЛА

*Резниченко Т. В.*

лаборант-исследователь, ДВФУ

*Зернов Я. Г.*

лаборант-исследователь, ДВФУ

*Шичалин О. О.*

научный сотрудник, к.х.н., ДВФУ

**Введение.** Рак остаётся одной из ведущих причин смертности, что стимулирует поиск новых терапевтических подходов, в том числе систем направленной доставки противоопухолевых препаратов[1]. 5 фторурацил (5 ФУ) — широко применяемый химиотерапевтический агент для лечения колоректального рака, рака молочной железы и других злокачественных новообразований, однако его использование ограничено высокой токсичностью, низкой селективностью и быстрым выведением из организма[2].

Ключевой задачей данной работы является разработка эффективной системы доставки 5 ФУ, которая снизит токсичность, повысит терапевтическую эффективность и обеспечит контролируемое высвобождение препарата в зоне опухоли. Среди стратегий доставки исследуются липосомы, полимерные наночастицы, дендримеры и неорганические носители; особый интерес представляют неорганические композиты и нанокомпозиты.

Магнитные наночастицы оксида железа ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) позволяют направлять носитель к целевому органу и могут усиливать противоопухолевую активность 5 ФУ за счёт ионов железа, высвобождаемых при биодеградации [3]. Силикат кальция (волластонит) обладает высокой биосовместимостью, пористой структурой и способностью к деградации *in vivo*, что делает его перспективным носителем. Однако природный волластонит имеет гетерогенный состав, что может влиять на его адсорбционную способность и биосовместимость[4].

Цель данного исследования — изучить физико химические и сорбционные свойства синтетического волластонита, полученного методом гидротермального синтеза, как химически чистого носителя для доставки 5 ФУ. Дополнительно исследовалась функциона-

лизация волластонита магнитными наночастицами для управления носителем и повышения точности таргетинга. Научная новизна заключается в получении данных о формировании функционализированного биокерамического композита с заданной структурой и регулируемыми свойствами биорезорбции, а также в изучении сорбционно десорбционных характеристик системы носителя. Результаты могут стать основой для разработки новых систем доставки химиотерапевтических агентов с улучшенными фармакологическими свойствами.

**Основная часть.** Одной из важнейших характеристик сорбентов является их общая удельная площадь поверхности и распределение пор по размерам, что существенно влияет на сорбционную емкость материала. Низкотемпературная изотерма сорбции-десорбции азота для образцов, полученных после гидротермальной обработки при 90, 130, 150, 180 °C, в большей степени соответствует типу II по классификации IUPAC. Этот тип изотермы характерен для неполупористых или макропористых материалов корпускулярной структуры, в которой форма и размер пор неоднородны (рис. 4а–д). Изотерма имеет незначительный гистерезис сорбции, что также позволяет отнести ее к типу IV. Это указывает на наличие небольшого количества микро- и мезопор. Структурные параметры полученных образцов представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Суммарный объем пор определенного размера магнитных композитных образцов, полученных при температурах 90, 130, 150, 180 °C

Образец	$V_{\text{micro}}$ , см <sup>3</sup> /г (t-метод)	$V_{\text{total}}$ , см <sup>3</sup> /г ( $P/P_0 = 0,92 - 0,93$ )	SBET, м <sup>2</sup> /г
CaSiO <sub>3</sub> ·Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (90 °C)	4.207	28.35	39.15
CaSiO <sub>3</sub> ·Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (130 °C)	5.726	37.62	46.44
CaSiO <sub>3</sub> ·Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (150 °C)	6.437	33.85	45.82
CaSiO <sub>3</sub> ·Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (180 °C)	4.691	49.02	59.33

**Заключение.** Максимальное значение удельной поверхности 59,33 м<sup>2</sup>/г достигается для образца, полученного при температуре гидротермальной обработки 180 °C. У других образцов, приготовленных при температурах обработки 90, 130 и 150 °C, удельная поверхность значительно ниже и составляет 39,15; 46,44 и 45,82 м<sup>2</sup>/г соответственно. Таким образом, повышение температуры гидротермальной обработки приводит к увеличению как удельной поверхности

сти, так и общего количества нанопор из-за повторной высокотемпературной рекристаллизации материала.

Хотя общий объем пор возрастает пропорционально увеличению температуры гидротермальной обработки, суммарный объем микропор увеличивается вплоть до температуры обработки 150 °C (4,207; 5,726; 6,437 см<sup>3</sup>/г для температур обработки 90, 130 и 150 °C соответственно), а затем значительно снижается, что связано с образованием кристаллической фазы. В то же время распределение по размерам и соотношение объемов остальных пор имеют одинаковый характер для всех представленных материалов.

#### **Список использованных источников**

1. Bray, F. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries / F. Bray, M. Laversanne, H. Sung, J. Ferlay, R. L. Siegel, I. Soerjomataram, A. Jemal // CA Cancer J Clin. – 2024. – Vol. 74. – P. 229–263.
2. Yoshihara, K. Inferring tumour purity and stromal and immune cell admixture from expression data / K. Yoshihara, M. Shahmoradgoli, E. Martínez, R. Vegesna, H. Kim, W. Torres-Garcia, V. Treviño, H. Shen, P. W. Laird, D. A. Levine, S. L. Carter, G. Getz, K. Stemke-Hale, G. B. Mills, R. G. W. Verhaak // Nat Commun – 2013. – Vol. 4. – P. 2612.
3. Amini-Fazl, M. S. 5 Fluorouracil loaded chitosan/polyacrylic acid / Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanocomposite hydrogel as a potential anticancer drug delivery system / M.S. Amini-Fazl, R. Mohammadi, K. Kheiri // Int J Biol Macromol – 2019. – Vol. 132. – P. 506–513.
4. Papunov, E. K. Reactive Spark Plasma Synthesis of Porous Bioceramic Wollastonite / E. K. Papunov, O. O. Shichalin, I. Yu. Buravlev, A. S. Portnyagin, A. A. Belov, V. Yu. Maiorov, Yu. E. Skurikhina, E. B. Merkulov, V. O. Glavinskaya, A. D. Nomerovskii, A. V. Golub, N. P. Shapkin // Russian Journal of Inorganic Chemistry – 2020. – Vol. 65. – P. 263–270.

УДК 665.5.06+674.87

## **КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА БИОМАССЫ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ**

*Рогач А. А.*

аспирант 2-го года обучения

*Ламоткин С. А.*

к.х.н., доцент, зав. каф. ФХМиОК

**Введение.** Беларусь располагает значительной сырьевой базой для развития лесоперерабатывающей промышленности. Комплексное использование лесных ресурсов предусматривает использование всей биомассы дерева, переработку древесных отходов, образующихся в процессе заготовки древесины и переработки ее на лесозаготовительных предприятиях. Биомасса дерева состоит из

разнообразных по строению и потребительским свойствам компонентов: стволовая древесина – 55 %; кора – 15 %; ветви, вершины, хвоя – 16 %; корни – 11 %; пни – 3 % [1].

К древесной зелени относится специфический вид лесного сырья, в составе которого преобладают живые клетки хвои, молодых побегов и коры. Как известно, в живых растительных клетках содержатся белки, углеводы, витамины, ферменты, желтые и зеленые пигменты, стерины, микроэлементы и другие вещества, которые необходимы для обеспечения жизнедеятельности растений, животных и человека. В составе древесной зелени хвойных пород около 80 % приходится на хвою. В составе хвои обнаружено до 35 компонентов, относящихся к нескольким группам соединений: монотерпеновым и сесквитерпеновым углеводородам, кислородосодержащим и другим соединениям, из них основная доля (60 %) приходится на монотерпеновые углеводороды [2].

Цель работы – Разработать технологию комплексной переработки биомассы хвойных растений и получения экстрактов хвойных растений, а так же создать новые виды продукции на их основе.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ литературных источников по методам экстрагирования древесной зелени хвойных растений.
2. Выбор и апробация способов получения экстрактов древесной зелени хвойных растений.
3. Экспериментальные исследования условий и способов экстрагирования древесной зелени хвойных растений
4. Получение и исследование экстрактов хвойных растений.
5. Разработка образца косметической продукции с добавлением экстрактов древесной зелени хвойных растений.

**Основная часть.** Одним из наиболее перспективных и актуальных направлений использования древесной зелени является безотходная химическая переработка с получением биологически активных веществ (БАВ) кормового и лечебно-профилактического назначения.

В контексте глобальной тенденции к устойчивому развитию, рациональному использованию природных ресурсов и импортозамещению, разработка эффективных технологий переработки древесной зелени елей приобретает особую актуальность.

- Терпеноиды: Моно-, ди- и сесквитерпены, такие как пинен, камfen, лимонен, борнеол, которые обуславливают характерный хвойный аромат и обладают антимикробными, противовоспалительными и антиоксидантными свойствами.
- Фенольные соединения: Флавоноиды, лигнаны, танины, фенолокислоты. Эти вещества известны своими мощными антиоксидантными, противовоспалительными, противоопухолевыми и адаптогенными свойствами.
- Хлорофилл и его производные: Обладают детоксицирующими, регенерирующими и противовоспалительными свойствами.
- Каротиноиды:  $\beta$ -каротин, лютеин, ксантофиллы – предшественники витамина А, мощные антиоксиданты.
- Витамины: Аскорбиновая кислота (витамин С), витамины группы В, витамин Е.
- Минеральные вещества: Макро- и микроэлементы, необходимые для жизнедеятельности организма.
- Полисахариды: Обладают иммуномодулирующими и пре-биотическими свойствами.

Комплексная переработка древесной зелени хвои предполагает многостадийный подход, позволяющий максимально полно извлечь различные фракции БАВ, используя при этом минимальное количество растворителей и энергии [3]. Целью является не только получение высококачественных экстрактов, но и минимизация отходов и снижение воздействия на окружающую среду.

Процесс комплексной переработки древесной зелени хвойных растений включает:

1. Сбор и подготовка сырья: Сбор древесной зелени (предпочтительно в зимний период, когда концентрация БАВ максимальна), очистка от посторонних примесей, сушка и измельчение.

2. Последовательная экстракция: Применение различных методов экстракции для последовательного извлечения фракций с разными свойствами:

- Первая стадия (гидродистилляция или СКФ-экстракция CO<sub>2</sub>): Извлечение эфирных масел и других липофильных соединений.
- Вторая стадия (спиртовая или водно-спиртовая экстракция, возможно, с использованием УЗ или СВЧ): Извлечение флавоноидов, фенолокислот, смолистых веществ.
- Третья стадия (водная или ферментативная экстракция): Извлечение полисахаридов, водорастворимых витаминов и минералов.

3. Очистка и концентрирование экстрактов: Удаление растворителя, отделение примесей, концентрирование до необходимой формы (жидкие экстракты, сухие порошки, пасты).

4. Модификация и стабилизация: При необходимости – химическая или энзиматическая модификация, капсулирование, микронаполнение для повышения стабильности, биодоступности и придания заданных функциональных свойств.

Выбор метода экстракции критически важен для получения экстрактов с заданным составом и качеством. Ниже приведены основные методы, применяемые для древесной зелени хвойных растений:

#### 1. Традиционные методы:

- Мацерация и перколяция: Просты в исполнении, требуют низких капитальных затрат, но отличаются длительностью процесса и большим расходом растворителей. Хорошо подходят для получения водных и спиртовых настоев [4].

- Рефлюкс-экстракция (Сокслет): Обеспечивает высокую степень извлечения, автоматизирована, экономична по растворителю. Недостаток – длительное воздействие высокой температуры, что может привести к деградации термоочувствительных соединений.

- Гидродистилляция: Классический метод получения эфирных масел, но может приводить к гидролизу и термическому разложению некоторых компонентов.

#### 2. Современные (интенсифицированные) методы:

- Сверхкритическая флюидная экстракция (СКФ-экстракция): Использование  $\text{CO}_2$  в сверхкритическом состоянии. Экологически безопасен, позволяет регулировать селективность экстракции изменением давления и температуры, обеспечивает высокую чистоту продукта. Идеален для термолабильных и липофильных соединений. Высокие капитальные затраты.

- Микроволновая экстракция (СВЧ-экстракция): Интенсивный нагрев растворителя микроволновым излучением. Значительно сокращает время экстракции, снижает расход растворителя, увеличивает выход. Необходим контроль температуры для предотвращения деградации.

- Ультразвуковая экстракция (УЗ-экстракция): Использование кавитационных эффектов ультразвука. Разрушает клеточные стенки, ускоряет массоперенос. Эффективна, но требует оптимизации параметров для предотвращения деградации.

- Экстракция под давлением: Экстракция при повышенной температуре и давлении. Ускоряет процесс, снижает расход растворителя, повышает выход. Высокие капитальные затраты, риск деградации термолабильных соединений.

Полученные экстракты древесной зелени елей находят широкое применение:

- В косметической промышленности: В качестве активных ингредиентов в кремах, сыворотках, шампунях, масках, пенах для ванны. Обладают антиоксидантными, противовоспалительными, регенерирующими, противомикробными, тонизирующими свойствами.
- В фармацевтике: В составе БАДов, фитопрепаратов с адаптогенным, иммуномодулирующим, противопростудным действием.
- В пищевой промышленности: В качестве натуральных ароматизаторов, консервантов, антиоксидантных добавок.
- В ветеринарии: Для создания кормовых добавок и лечебных препаратов.
- В ароматерапии: Эфирные масла ели используются для ингаляций, массажа, ванн.

**Заключение.** Таким образом, комплексная переработка древесной зелени елей – это перспективное направление, позволяющее превратить отходы лесозаготовительной промышленности в ценные ресурсы. Разработка и внедрение эффективных, «зеленых» технологий получения хвойных экстрактов открывает широкие возможности для создания инновационной, импортозамещающей продукции в косметической, фармацевтической и других отраслях. Дальнейшие исследования в области оптимизации методов экстракции, углубленного изучения химического состава и биологической активности экстрактов, а также разработки новых форм и продуктов на их основе, являются ключевыми для реализации этого потенциала. Такой подход способствует не только экономическому развитию, но и укреплению экологической безопасности и рациональному природопользованию.

#### Список использованных источников

1. Левин, Э. Д. Переработка древесной зелени / Э. Д. Левин, С. М. Репях. – М.: Лесная промышленность, 1984.
2. Скриган, А. И. Процессы превращения древесины и ее химическая переработка / А. И. Скриган; под ред. А. Д. Алексеева. – Минск: Наука и техника, 1981. – 208 с.
3. Ягодин, В. И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени / В. И. Ягодин ; под ред. Ю. И. Холькина. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 223 с.

4. Шанина, Е. В. Переработка древесной зелени сосны обыкновенной с использованием водно-этанольных смесей: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.21.03 / Е. В. Шанина; Сибирский государственный технологический университет. – Красноярск, 2004. – 20 с.

УДК 669.02/.09:669.85/.86.018

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

*Сербиков Ю. А.*

Промышленные испытания по оценке многих перспективных направлений развития доменного производства связаны с длительной подготовкой к эксперименту, крупными затратами и значительными трудностями. Расчетно-теоретические и лабораторные исследования не исключают необходимости таких испытаний, а лишь предопределяют условия их проведения. Поэтому для предварительной оценки экономической эффективности применения перспективных мероприятий в ряде стран сооружаются специальные экспериментальные доменные печи небольшого объема.

**Ключевые слова:** экспериментальная доменная печь, профиль опытной печи, аэродинамические свойства шихтовых материалов, активный вес столба шихты, низкошахтная печь.

**Введение.** В СССР первая промышленно – экспериментальная доменная печь спроектирована Уралгипромезом и построена в 1962 г. Нижне – Тагильским металлургическим комбинатом им. В. И. Ленина по техническому заданию и при научном руководстве Уральского научно – исследовательского института черных металлов.

Комплекс опытной доменной печи включает систему подготовки сырых материалов; непосредственно доменную печь с литейным двором; блок воздухонагревателей; систему трубопроводов для подачи воздуха, газа, кислорода, воды, пара, мазута; контрольно-измерительную аппаратуру и систему автоматики.

Первоначальный профиль опытной печи был запроектирован на полезный объем 4,86 м<sup>3</sup> подобно профилю типовой доменной печи объемом 1386 м<sup>3</sup>, лишь с некоторыми отступлениями в размерах высоты горна и колошника и диаметра большого конуса, обусловленными требованиями эксплуатации. В дальнейшем после первой кампании работы во время ремонта профиль печи был изменен с увеличением полезного объема до 5,98 м<sup>3</sup> за счет толщины кладки.

Кожух печи был изготовлен из металлических листов толщиной 12 мм (0,012 м) методом сварки. С двух сторон на се-

горизонтах по высоте были установлены исследовательские площадки и штуцеры. Воздух подавался из трубопроводов холодного и горячего дутья промышленной доменной печи объемом 1242 м<sup>3</sup> через четыре воздушные фурмы диаметром 60 мм (0,06 м). Для выпуска чугуна и шлака было предусмотрено по одной лётке. Огнеупорная футеровка была выполнена из шамотного кирпича. Лещадь, горн, заплечики и распар были футерованы впритык к кожуху. Кладка печи охлаждалась через кожух двухъярусной наружной поливкой воды.

Колошниковое устройство, согласно проекту, включало в себя: засыпной аппарат с большим конусом диаметром 575 мм (0,575 м), крепление конуса к штанге жесткое, ход конуса 185 мм (0,185 м); распределитель шихты с малым конусом диаметром 500 мм (0,5 м) и приводом вращения на шесть станций, крепление конуса к штанге жесткое, ход конуса 160 м (0,160 м); пневматические цилиндры маневрирования конусами с электрическими дистрибуторами (рабочее давление в цилиндрах 4 атм. или 0,39 МН/м<sup>2</sup>) и максимальное усилие на штангах конусов 730 кг (7158,8 н); атмосферный клапан диаметром 159 мм (0,159 м) с электроприводом для выравнивания давления в межконусном пространстве перед опусканием малого конуса, выравнивание давления при опускании большого конуса происходит путем подачи в межконусное пространство пара; зондовое устройство, обеспечивающее автоматический контроль уровня засыпи в печи в двух точках; лебедки шомполов на верхней площадке блока воздухонагревателей.

На литейном дворе были расположены желоба для выпуска чугуна и шлака, шлаковая чаша емкостью 0,68 м<sup>3</sup> и 36 чугунных изложниц. Продукты плавки транспортировались тельфером грузоподъемностью 2 т.

Были предусмотрены контрольно-измерительные приборы и устройства позволяющие достаточно полно контролировать и поддерживать на заданном уровне технологические показатели доменной плавки: количество подаваемого в печь воздуха, образующегося колошникового газа, расход воды и пара, доменного газа и воздуха, поступающих на горелки воздухонагревателей, кислорода, сжатого воздуха, жидкого, твердого и углемазутного топлива; давление дутья, коксового газа, воды, сжатого воздуха и жидкого топлива; температуру дутья, жидкого топлива, коксового газа, ко-

лошникового газа, дыма воздухонагревателей и кладки в разных точках по высоте печи; влажность дутья, колошникового и коксово-газов. Было предусмотрено автоматическое регулирование для расхода дутья, кислорода и коксового газа, давления колошникового газа, температуры дутья и куполов воздухонагревателей.

В случае падения давления дутья в воздухопроводе промышленной доменной печи опытная печь автоматически отключалась от магистралей кислорода, доменного и коксового газов с одновременной подачей в воздухопровод компрессорного воздуха, а в газопровод коксового газа – пара. Система автоматики предусматривала также немедленное отключение подачи доменного газа на инжекционную горелку при затухании факела в камере горения воздухонагревателей.

**Материалы и методы исследования.** Перед задувкой опытной печи были проведены исследования активного веса и аэродинамической характеристики шихтовых материалов; после освоения работы печи исследовано влияние степени форсировки на показатели плавки.

Активный вес столба шихтовых материалов измеряли в горне доменной печи посредством специальной взвешивающей площадки с тремя опорами на гидравлических домкратах. Загружаемые в печь материалы взвешивали с помощью весовой воронки.

Положение уровня материалов в печи фиксировалось мерными шомполами. По мере загрузки печи активный вес столба шихты возрастал только до определенного значения.

**Результаты и обсуждение.** С увеличением высоты слоя наращивание активного веса уменьшалось и на определенном расстоянии от уровня фурм становилось равным нулю. Были также проведены опыты на смеси кокса фракции 25 – 40 мм (0,025–0,040 м). Повышение рудной нагрузки с 2,0 до 2,8 т/т (Мг/Мг) кокса сопровождалось увеличением активного веса столба шихты. Во всех опытах величина активного веса для экспериментальной доменной печи не превышала 13% от общего веса загруженных материалов. Потери напора в слое шихтовых материалов определяли путем замера статического давления воздуха на семи горизонтах по высоте печи. В таблице 1 приведены показатели изменения активного веса столба шихты по высоте опытной доменной печи.

**Таблица 1 – Изменение активного веса столба шихты по высоте опытной доменной печи**

Расстояние от уровня фурм, мм	Кокс фракции 25 – 40 мм и агломерат фракции 10 – 25 мм							
	Рудная нагрузка 2,0 т (Мг) агломерата/т (Мг) кокса				Рудная нагрузка 2,8 т (Мг) агломерата/т (Мг) кокса			
	Q, кг	P <sub>a</sub> , кг	$\frac{P_a}{Q}, \%$	$\frac{\Delta P_a}{\Delta h}, \text{кг/м}$	Q, кг	P <sub>a</sub> , кг	$\frac{P_a}{Q}, \%$	$\frac{\Delta P_a}{\Delta h}, \text{кг/м}$
0	0	0	—	—	0	0	—	—
500	750	253	33,8	506	800	304	38,0	608
1000	1550	413	26,6	320	1650	425	25,7	242
1500	2350	484	20,6	142	2450	497	20,3	148
2000	3000	518	17,2	68	3200	541	16,9	88
2500	3500	541	15,4	46	3800	571	15,0	62
3000	3950	553	14,0	24	4250	586	13,8	30
3250	4200	553	13,2	0	4450	591	13,3	20

С увеличением количества дутья статическое давление воздуха возрастает на всех горизонтах. При продувке воздухом слоя материалов различной крупности установлено резкое возрастание аэродинамического сопротивления при размерах кусков менее 6–7 мм (0,006 – 0,007 м), что подтверждает положение о необходимости отсея от агломерата мелких фракций.

С целью выяснения влияния повышенного давления газа на колошнике на потери напора в слое были проведены опыты на агломерате фракции < 10 мм (–0,010 м).

Количество дутья в течение опыта поддерживалось постоянным: 62–64 м<sup>3</sup>/мин (1,03–1,02 м<sup>3</sup>/сек).

В таблице 2 приводятся некоторые достигнутые технико-экономические показатели опытных доменных печей в СССР и за рубежом. В Швеции для экспериментальной оценки влияния качества сырьевых материалов на технико-экономические показатели доменной плавки в 1997 году на металлургическом заводе в Яума (Фирма LKAB) построили опытную доменную печь, оборудованную установкой для вдувания ПУТ, мазута, извести и системой контроля и мониторинга параметров плавки, включающей три зонда (на уровне фурм, в шахте и в заплечиках) для отбора проб шихтовых материалов и газа из печей и измерения температуры. Печь имеет рабочий объем 8,2 м<sup>3</sup>, диаметр горна 1,2 м, высоту от уровня засыпи до уровня фурм 6 м, 3 воздушных фурмы, 2 воздухонагревателя с шаровой насадкой, скраповую систему нагрузки с конусным загрузочным устройством и подвижными колошниковые плитами. Производительность печи при температуре дутья 1170–1250 °С и давлении газа на колошнике

150 кПа составляет 30–40 т/сутки (3,66–4,88 т/м<sup>3</sup>\*сутки). Большое влияние на восстановимость окатышей и на показатели плавки оказывал состав жидкой фазы, образующейся при нагреве и восстановлении окатышей.

Низкошахтная печь на заводе в Угре (Бельгия) с 1958 г. работает как опытная доменная печь небольшого объема. На этой печи исследовали влияние на показатели производства: повышенного давления газов на колошнике, крупности шихты и количества сжигаемого в единицу времени топлива (интенсивности горения топлива).

**Таблица 2** – Некоторые достигнутые технико-экономические показатели работы опытных доменных печей в СССР и за рубежом

Показатели	СССР	КНР	ГДР	Англия	Япония	США	
Объем печи, м <sup>3</sup>	5,98	0,96	0,985	1,09	5,1	9,5	8,65
Число и диаметр фирм, шт/мм	4/60	4/30	6/36	–	4/-	-	3/44
Сырые материалы	Агломерат	Агломерат	Рудно-угольные брикеты (8,8% С)	Сырая руда	Сырая руда	Таконитовая руда	30% кусковой руды, 70% агломерата
Fe в рудной части шихты, %	51,0	–	45,2	45,4	44,8	64,1	54,3
Расход руд, т/т (Мг/Мг) чугуна	1,936	1,72-1,92	2,09	1,964	2,17	1,515	1,73
Расход кокса, т/т (Мг/Мг) чугуна	0,884	2,01	1,49	1,173	3,08	0,715	0,709
Расход дутья, м <sup>3</sup> /мин	20,9	7,0	10,0	7,5	18,0	22,6	22,2
Расход кислорода, м <sup>3</sup> /мин	0,7	–	1,25	–	–	–	–
Температура дутья, °C	907	610	–	520	500	750	982
Температура колошникового газа, °C	336	380	–	316	330	230	251
Содержание CO <sub>2</sub> в колошниковом газе, %	10,5	2,8	4,0	7,96	–	15,5	13,5
Анализ чугуна: Si, % S, %	1,18 0,030	0,73-1,65 0,016-0,044	1,6 0,092	0,21 0,35	0,50 0,040	1,26 0,070	0,87 0,049
Выход шлака, кг/т (Мг) чугуна	535	910	–	686	–	420	528
Производительность т/сутки (Мг)	12,1	1,48	5,6	2,42	3,0	14,7	13,9

**Вывод.** Можно сделать вывод о моделировании доменного процесса в экспериментальной доменной печи и о возможности использования ее для улучшения широкого круга вопросов теории и практики доменного производства.

**Список используемой литературы:**

1. Дубров Н. Ф. Технология производства черных металлов, том №4. – М.: Издательство «Металлургия», 1966. – 219 с.
2. Челищев, Е. Ф. Экспресс информация, серия: «Черная металлургия», раздел «Низкошахтная печь», выпуск 44 /№ 201-204/, ЧМ-202-203-204. – М.: Редакция «Экспресс-информации», 1959.

УДК 544.032.72

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ**

к.х.н., н.с. *Федоренко Н. Ю.<sup>1</sup>*, с.н.с. *Белоусова О. Л.<sup>1</sup>*,  
н.с. *Кудряшова Ю. С.<sup>1</sup>*,

студ. *Волкова С. В.<sup>2</sup>*, студ. *Кирсанова С. Р.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия

Керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония ( $ZrO_2$ , ЧСДЦ) обладает высокой прочностью, твердостью, трещиностойкостью, коррозионной стойкостью. ЧСДЦ представляет собой двухфазный материал, в котором «линзовидные» частицы  $t\text{-}ZrO_2$  равномерно распределены в матрице из  $c\text{-}ZrO_2$  [1]. Использование жидкофазных методов синтеза позволяет контролировать процессы образования частиц ксерогеля и в дальнейшем развитие микроструктуры и фазового состава керамики. Жидкофазные методы синтеза дают возможность контролировать процессы образования частиц ксерогеля и в дальнейшем развитие микроструктуры и фазового состава керамики.

Равномерное распределение компонентов смеси в растворе имеет важное значение при синтезе наноразмерных частиц, но добиться его сложно. Метод совместного осаждения гидроксидов

обеспечивает равномерное распределение компонентов смеси в растворе. Однако применение микровихревого струйного аппарата со встречными закрученными потоками (мВСА-ВЗП) может улучшить качество микросмешения до 2400 раз, чем при перемешивании магнитной мешалкой [2, 3].

Целью работы является синтез методом совместного осаждения гидроксидов на лабораторной установке с магнитной мешалкой и в мВСА-ВЗП ксерогелей и порошков состава 95.5 мол.%  $\text{ZrO}_2$  – 4.5 мол.%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , получение керамики на их основе и исследование свойств данных материалов.

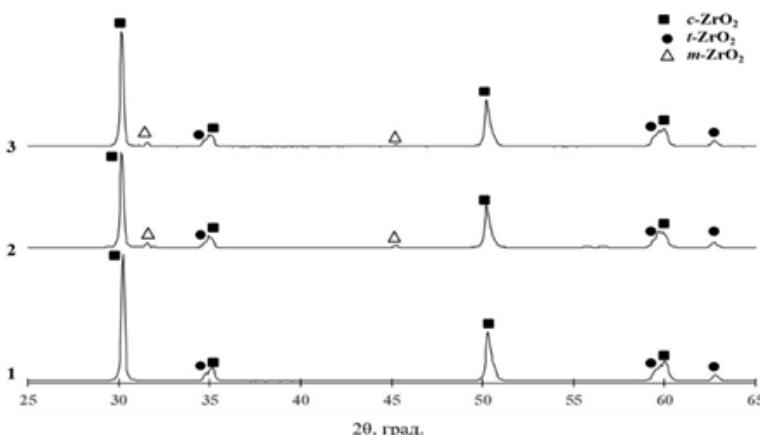
Синтез ксерогелей и порошков осуществляли методом совместного осаждения гидроксидов на лабораторной установке с магнитной мешалкой (серия СО) и в мВСА-ВЗП (серии Х-Ү), варьируя объемы подаваемых реагентов ( $X = 0.5; 0.9 \text{ л}$ ) и скорости их подачи в рабочую камеру ( $Y = 0.5, 3.5 \text{ л/мин}$ ). Осадки отфильтровывали, замораживали при  $-25^\circ\text{C}$  (24 ч) и затем сушили при  $120^\circ\text{C}$  до полного высыхания. Порошки получали обжигом высушенных ксерогелей при  $600^\circ\text{C}$  (1 ч) в муфельной печи на воздухе. Компакты формовали сухим одноосным прессованием на гидравлическом прессе ПГР-400 в стальной пресс-форме при давлении  $\sim 260 \text{ МПа}$  и спекали на платиновых подложках в печи SNOL 6.7/1300 при  $1300^\circ\text{C}$  в воздушной среде с изотермической выдержкой в течение 2 ч [2–4].

Ксерогели, синтезированные в мВСА-ВЗП, характеризуются меньшей площадью удельной поверхности и большей гидратированностью по сравнению с соосажденными. Они представляют собой преимущественно агрегаты неправильной формы размером 10–60 мкм. Это будет способствовать формированию в порошках агломератов, которые в свою очередь будут затруднять диффузию частиц в поровое пространство при спекании, делая керамику более пористой.

С помощью низкотемпературной адсорбции азота и сканирующей электронной микроскопии изучены текстурные характеристики ксерогелей. Строгой закономерности между режимом проведения синтеза и величиной площади удельной поверхности не зафиксировано.

Методом рентгенофазового анализа установлено, что порошки, полученные обжигом ксерогелей при  $600^\circ\text{C}$ , представляют собой псевдокубический твердый раствор  $\text{t}'\text{-}\text{ZrO}_2$ . Данная фаза имеет

отношение параметров элементарной ячейки  $a/c = 1$ , характерное для кубического твердого раствора, однако относится к пространственной группе симметрии  $P4_3/nmc$  (тетрагональная сингония) из-за смещения атомов кислорода в анионной подрешетке [5]. Дальнейшее повышение температуры обжига до 1300 °С приводит к формированию кубической и тетрагональной фаз с преобладанием  $c\text{-ZrO}_2$ . Спекание порошковых компактов при 1300 °С приводит к формированию тетрагонального и кубического твердого раствора на основе диоксида циркония в керамике.



**Рисунок 1 – Дифрактограммы керамических образцов после спекания при 1300°С, 2 ч:**  
1- СО, 2 - 0.5-500, 3 – 3.5-500

Применение микрореактора позволяет значительно улучшить качество микросмешения реагентов на ионно-молекулярном уровне. Поверхность частиц ксерогелей, полученных в микрореакторе, обладает большей избыточной энергией по сравнению с соосажденным ксерогелем. Начало процесса кристаллизации твердого раствора диоксида циркония происходит уже в ксерогеле, что способствует формированию в дальнейшем двухфазной керамики.

Авторы выражают благодарность г. т. н., проф. Р. Ш. Абиеву (СПбГТИ(ТУ), Филиал НИЦ КИ-ПИЯФ-ИХС), к. х. н. Т. В. Хамовой, к. г.-м. н. А. М. Николаеву (Филиал НИЦ КИ-ПИЯФ-ИХС) за помощь в проведении исследований.

Работа выполнена в рамках темы НИР филиала НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС № 1023033000122-7-1.4.3.

### **Список использованных источников**

1. Жигачев, А. О. Мир материалов и технологий. Керамические материалы на основе диоксида циркония / А. О. Жигачев, Ю. И. Головин, А. В. Умрихин [и др.]; под общ. ред. Головина Ю. И. – М: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 358 с.
2. Федоренко, Н. Ю. Влияние условий синтеза на свойства порошков и керамики на основе диоксида циркония, частично стабилизированного оксидом иттрия / Н. Ю. Федоренко, О. Л. Белоусова, С. В. Мякин [и др.] // Физика и химия стекла. – 2025. – Т. 51. – № 1. – С. 134–144.
3. Fedorenko, N. Yu. Comparative study of zirconia based powders prepared by co-precipitation and in a microreactor with impinging swirled flows / N. Yu. Fedorenko, R. Sh. Abiev, Yu. S. Kudryashova, V. L. Ugolkov, T. V. Khamova, S. V. Mjakin, A. V. Zdravkov, M. V. Kalinina, O. A. Shilova // Ceramics International. – 2022. – V. 48. – № 9. – P. 13006–13013.
4. Fedorenko, N. Yu. Relationship among the Composition, Synthesis Conditions, and Surface Acid-Basic Properties of Xerogel Particles Based on Zirconium Dioxide / N. Yu. Fedorenko, S. V. Mjakin, T. V. Khamova, M. V. Kalinina, O. A. Shilova // Ceramics International. – 2022. – V. 48. – № 5. – P. 6245–6249.
5. Агаркова, Е. А. Влияние фазового состава и локальной кристаллической структуры на транспортные свойства твердых растворов  $ZrO_2-Y_2O_3$  и  $ZrO_2-Gd_2O_3$  / Е. А. Агаркова, М. А. Борик, В. Т. Бублик [и др.] // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2018. – Т. 21. – № 3. – С. 156–165.

# Секция ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.81

## СОБЫТИЙНО-ТОКЕННАЯ U-ОБРАЗНАЯ АРХИТЕКТУРА НА ОСНОВЕ СЕЛЕКТИВНЫХ STATE-SPACE БЛОКОВ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ В 1D-СИГНАЛАХ

*Афанасенко К. А.*

магистрант УО «БГУИР»

*Ларченко Н. А.*

студент УО «БГУИР»

*Майорова Е. А.*

(студент УО «БГУИР»)

**Введение.** Задачи анализа одномерных сигналов с временной разметкой включают выделение событий (с указанием времени начала и конца), их классификацию по типам, а также получение агрегированной оценки состояния по окну наблюдения или по всей записи. Такие постановки возникают при мониторинге технических объектов, телеметрии, акустике, киберфизических системах и иных источниках данных, где информативные эпизоды локализованы во времени и часто разрежены относительно фона. Для практического применения важны две группы требований: точная локализация границ событий, поскольку ошибка в разметке по времени приводит к смещению интервалов и ухудшению интерпретации и устойчивое

моделирование дальнего контекста, поскольку решение может зависеть от структуры сигналов на больших временных масштабах.

Классические сверточные подходы и их темпоральные варианты показали пригодность для широкого класса задач последовательностей, но качество и устойчивость на длинных зависимостях зависят от рецептивного поля и способов агрегации признаков. U-образные энкодер-декодер архитектуры широко используются для задач плотной разметки благодаря сочетанию многошкольных признаков и связей пропуска (skip-connections), позволяющих сохранять локальные детали при наличии контекстной информации [1]. В то же время модели на основе self-attention получили высокую гибкость и качество в задачах последовательностей, однако базовая операция внимания имеет квадратичную зависимость по длине последовательности, что затрудняет использование на длинных окнах без специальных модификаций.

Цель настоящей статьи состоит в формулировке архитектуры, ориентированной на совместное решение задач плотной временной сегментации, детекции интервалов событий и классификации состояния, с акцентом на длинные последовательности и разреженные события. Предлагается событийно-токенная U-образная архитектура (далее – EGSS-U-TokenNet), использующая селективные state-space блоки в качестве основного механизма дальнего контекста и контур токен-уточнения для объектного представления событий.

**Основная часть.** Пусть наблюдается многоканальный дискретный сигнал  $x \in R^{T \times C}$ , где  $T$  – длина окна в отсчетах,  $C$  – число каналов. Разметка по времени задается как множество интервалов событий  $\{(k_i, t_s^{(i)}, t_e^{(i)})\}$ , где  $k_i \in \{1, \dots, K\}$  – класс события,  $t_s(i)$ ,  $t_e(i)$  – начало и конец. Требуется получить плотную сегментацию  $\hat{y}(t) \in \{0, \dots, K\}$  для каждого  $t$  (0 – фон), предсказанные интервалы событий с оценкой уверенности  $\hat{p}_j$ , агрегированную метку или распределение по состояниям  $\hat{C}$ , для окна/записи (например, режим работы, наличие дефекта, класс контекста).

U-образные энкодер-декодер структуры являются базовым решением для плотной разметки, поскольку энкодер формирует многошкольные признаки, а декодер восстанавливает временное разрешение с использованием skip-соединений, что концептуально аналогично U-Net [2]. Для 1D-сегментации временных рядов ранее демонстрировались модификации U-подхода, обрабатывающие длинные записи и выдающие плотные карты классов с последую-

щей агрегацией под доступную разметку, что подтверждает применимость U-принципа в 1D-сценариях [3].

Однако в задачах с длинным контекстом и разреженными событиями возникает противоречие: локальная точность границ требует сохранения высокочастотных деталей, а корректная классификация события и окна может зависеть от дальних зависимостей. Стандартный Transformer опирается на self-attention, который обеспечивает контент-зависимую агрегацию, но имеет неблагоприятную масштабируемость по длине последовательности в базовом виде. SSM-семейство предлагает альтернативу: моделирование последовательности через скрытое состояние, что позволяет представлять длинные зависимости; S4 формализует эффективный вычислительный путь для структурированных SSM. Селективные SSM (Mamba) вводят входозависимое управление переносом/забыванием информации, сохраняя линейную зависимость вычислений от длины [1].

Указанные соображения приводят к выбору следующей комбинации: U-образная многошкольная схема для точной локализации; state-space блоки в качестве механизма дальнего контекста на каждом масштабе; событийные токены как объектное представление, позволяющее агрегировать информацию о событиях, связать сегментацию и классификацию через единый “объектный” слой, реализовать контур уточнения, корректирующий плотные карты на основе компактной событийной структуры.

Архитектура включает четыре логических подсистемы:

1) Стем и многошкольный энкодер. Вход  $xxx$  проходит через начальные 1D-свертки (или эквивалентный локальный миксер) для выделения коротковременных паттернов. Далее последовательность последовательно downsample-ится по времени (stride/pooling), формируя уровни  $s = 0, \dots, S$  с длиной  $T_s = T/2^s$  и размерностью признаков  $D_s$ . На каждом уровне применяются остаточные блоки вида “локальный миксер + EGSS”.

2) EGSS-блок (Event-Gated Selective State-Space). EGSS рассматривается как модуль дальнего контекста, реализующий рекуррентную динамику скрытого состояния в стиле SSM, но с входозависимым управлением вкладом текущего входа (селективность). Концептуально это соответствует идеи селективных SSM, где параметры/гейты зависят от входа, что применяется для управления переносом информации вдоль времени. В отличие от attention-механизма, EGSS не требует явной матрицы попарных взаимодействий.

ствий размера  $T \times T$ , что является ключевым ограничением базового Transformer-подхода на длинных последовательностях [4].

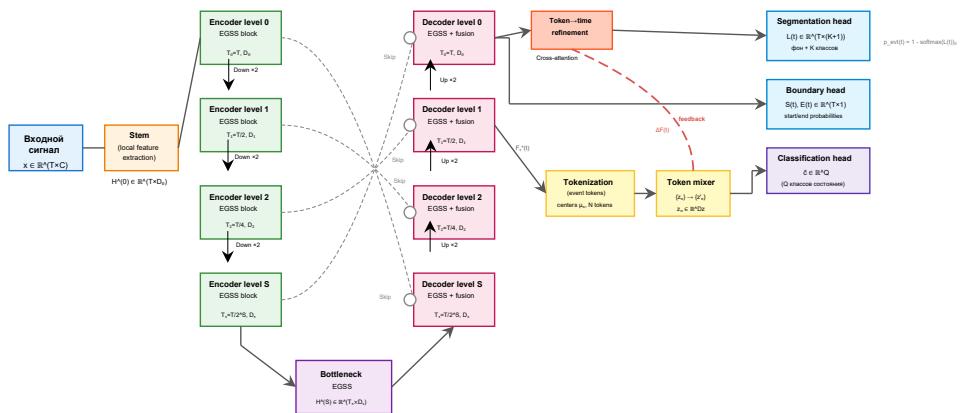
3) Декодер и связи пропуска. Декодер последовательно upsample-ит признаки до исходного временного разрешения, объединяя их со skip-признаками энкодера. Этот принцип соответствует U-подходу, применяемому в задачах сегментации, и переносится на 1D-сигналы аналогично существующим 1D U-архитектурам.

4) Событийные токены и контур уточнения. Из промежуточного представления на выбранном масштабе (например, среднем  $s=s^*$ ) вычисляется набор NNN токенов  $z_n \in R^{D_z}$ , где каждый токен должен соответствовать одному событию-кандидату. Сбор токена выполняется как взвешенное суммирование признаков по времени вокруг центра  $\mu_n$ :

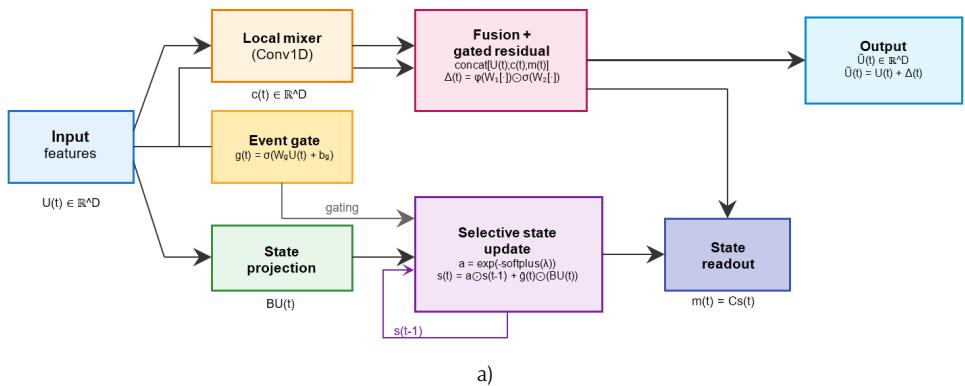
$$z_n = \sum_{t=1}^{T_s^*} w_n(t) h(t), \quad w_n(t) \propto \exp\left(-\frac{(t-\mu_n)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

где  $h(t)$  – признаки на масштабе  $s^*$ ,  $\sigma$  – параметр ширины.

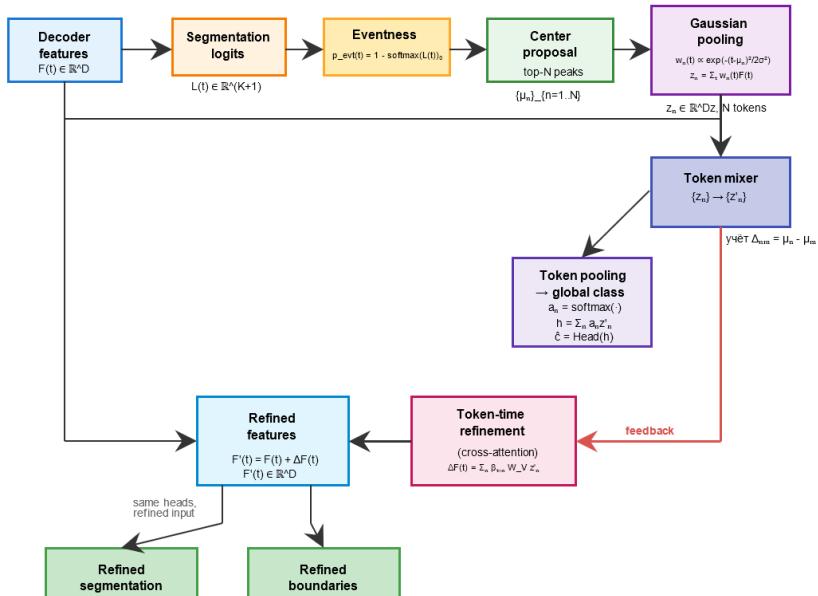
Центры  $\mu_n$  и/или маски  $w_n$  предсказываются отдельной токенной головой. Далее токены проходят через token-mixer (например, легкую attention- или SSM-подобную агрегацию) и возвращаются в декодер через механизм кросс-влияния (cross-gating или кросс-смешивание), формируя корректирующий сигнал  $\Delta h(t)$  для уточнения сегментации и границ. Данный контур предназначен для согласования “объектного” уровня (события как сущности) и “пиксельного” уровня (плотная разметка).



**Рисунок 1** – Общая схема EGSS-U-TokenNet



a)



b)

**Рисунок 2 – EGSS-блок и контур token→time уточнения:**  
**a)** EGSS-блок; **б)** Контур token→time уточнений

Архитектура формирует три основных выхода:

Первый выход – плотная сегментация  $\hat{y}(t)$  или распределение  $p(y_t | x)$ , обучаемое по кросс-энтропии (с учетом дисбаланса классов). Второй выход – карты границ  $p_s(t)$ ,  $p_e(t)$  для начала и конца события,

что упрощает извлечение интервалов и повышает чувствительность к локальным переходам. Третий выход – классификация окна/записи  $\hat{C}$ , вычисляемая либо по pooled-признакам, либо по агрегированному набору токенов (например, через attention-пулинг по  $\{z_n\}$ ).

Суммарная функция потерь может быть записана в виде:

$$L = \alpha L_{seg} + \beta L_{bd} + \gamma L_{tok} + \delta L_{cls}, \quad (2)$$

где  $L_{seg}$  – потери сегментации,  $L_{bd}$  – потери по границам (например, BCE для ps, ре или регрессия на расстояние до границы),  $L_{tok}$  – согласование токенов с истинными событиями (например, matching по IoU интервалов или по близости центров),  $L_{cls}$  – потери классификации. Подбор коэффициентов  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  в экспериментальной части может выполняться через нормировку вкладов по масштабам градиентов или через сопоставление средних значений компонент на начальных эпохах.

**Заключение.** В данной работе сформулирована концепция архитектуры EGSS-U-TokenNet для анализа одномерных сигналов с временной разметкой, ориентированная на совместное получение плотной разметки по времени, оценок границ начала и конца событий и итоговой классификации состояния по окну наблюдения. Архитектура объединяет многошкольную U-образную схему, обеспечивающую сохранение локальной точности на исходном временном разрешении, с механизмом дальнего контекста на базе селективного state-space обновления, а также вводит событийно-токенное представление.

Ключевым элементом предложенного подхода является контур token → time уточнения, в котором токены событий, извлечённые из промежуточных признаков и согласованные с плотным предсказанием, используются для корректировки временных признаков и, как следствие, уточнения сегментации и границ. Такая постановка позволяет описывать выход модели в виде структурированного набора событий-кандидатов, что делает возможной дальнейшую агрегацию по окну и формирование интерпретируемых характеристик.

В рамках дальнейшего исследования целесообразно выполнить экспериментальную валидацию архитектуры в сравнении с базовыми темпоральными сверточными моделями и attention-ориентированными подходами, а также провести аблационный анализ влияния селективного state-space блока и токенного контура на

качество локализации и классификации. Дополнительно требуется зафиксировать протокол извлечения интервалов из плотных карт и правила сопоставления токенов с истинными событиями, чтобы обеспечить воспроизводимость результатов и однозначную интерпретацию архитектурного вклада.

#### **Список использованных источников**

1. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). 2015. P. 234–241. DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4\_28. – Дата доступа: 14.12.2025.
2. Perslev M., Jensen M. H., Darkner S., Jennum P. J., Igel C. U-Time: A Fully Convolutional Network for Time Series Segmentation Applied to Sleep Staging // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019). 2019. – Дата доступа: 14.12.2025.
3. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., et al. Attention Is All You Need. arXiv:1706.03762. 2017. – Дата доступа: 15.12.2025.
4. Gu A., Goel K., Ré C. Efficiently Modeling Long Sequences with Structured State Spaces. arXiv:2111.00396. 2021. – Дата доступа: 15.12.2025.

УДК 004.715

## **МАРШРУТИЗАТОР С ФУНКЦИЯМИ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА**

*Е. С. Белоусова<sup>1</sup>, В. Л. Мальцев<sup>2</sup>, Д. М. Мартинкевич<sup>3</sup>,  
К. О. Яниславский<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного  
университета информатики и радиоэлектроники

<sup>2</sup> заведующий лабораторией «Информационная безопасность»  
УО «Национальный детский технопарк»

<sup>3</sup> учащийся УО «Национальный детский технопарк»

**Введение.** В соответствии с п. 20 Приказа Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь № 66 от 20 февраля 2020 г. [1] в системе информационной безопасности критически важного объекта информатизации должны использоваться устройства с функциями межсетевого экранования и анализа трафика при внутреннем и внешнем информационном взаимодействии по протоколам сетевого и транспортного уровней. На сегодняшний день на большинстве критически важных объектов информатизации Республики Беларусь используются сетевые устройства зарубежных производителей, таких как Huawei, Mikrotik и др. Поэтому актуальным является развитие производства телекоммуникационного об-

рудования с функциями маршрутизации и анализа сетевого трафика в Республике Беларусь, а также внедрение отечественной продукции в различные организации в том числе для обнаружения и блокировки киберугроз. Авторами реализуется разработка маршрутизатора с функциями анализа сетевого трафика в ходе освоения индивидуальной учебной программы дополнительного образования одаренных детей и молодежи для дистанционной формы получения образования по направлению «Информационная безопасность» в учреждении образования «Национальный детский технопарк». В данной индивидуальной учебной программе авторами планируется добавление функций в разрабатываемый маршрутизатор и создание на его базе программно-аппаратного комплекса для межсетевого экранирования.

**Основная часть.** Для аппаратной реализации маршрутизатора с функциями анализа сетевого трафика был выбран мини-компьютер Chuwi Larkbox X [2], технические характеристики которого представлены в таблице 1.

Для программной реализации маршрутизатора с функциями анализа сетевого трафика была выбрана операционная система Ubuntu Server 22.04 LTS, так как она характеризуется стабильностью работы, совместимостью с оборудованием, наличием подробной документации, доступностью программного обеспечения.

Таблица 1 – Технические характеристики мини-компьютера Chuwi Larkbox X

Процессор	Intel Processor N100
Количество ядер	4
Максимальная частота	до 3400 МГц
Размеры	127 x 49 x 127 мм
Оперативная память	12 Gb LPDDR5
Накопитель	SSD 512 Gb
Сетевое подключение	2 x 1 Gbit

Для осуществления функций DHCP был выбран Kea DHCP, DHCP сервер с открытым исходным кодом, разрабатываемый Internet Systems Consortium (ISC). Kea DHCP имеет высокую производительность, что позволяет его использовать не только в частных локальных сетях, но и на крупных предприятиях. Для ведения аудита подключенных устройств локальной сети используется возможность Kea DHCP сохранять список устройств, запросивших IP-адрес. Для ведения списка может быть использовано три варианта баз данных

(БД): MySQL, PostgreSQL а также memfile. Выбор БД PostgreSQL обусловлен наличием возможности резервирования IP-адресов без прерывания работы DHCP-сервера, что необходимо для серверов, которым нужен статический IP-адрес. В БД PostgreSQL после добавления адреса в список зарезервированных он не будет использоваться пулом DHCP, что неосуществимо в memfile. По сравнению с MySQL БД PostgreSQL имеет поддержку типов данных, специфических для сетевых технологий (inet, macaddr), что экономит место, так как данные хранятся в бинарном виде, а не как обычная строка.

Для настройки DHCP-сервиса на маршрутизаторе был отредактирован файл конфигурации kea-dhcp4.conf, в котором указывался номер интерфейса маршрутизатора для принятия DHCP-запросов, имя базы данных PostgreSQL для хранения запрашиваемых IP-адресов и для резервирования IP-адресов за определенными MAC-адресами. В файле конфигурации kea-dhcp4.conf также настраиваются параметры управления выдачи IP-адресов, IP-адрес DNS-сервера, диапазон IP-адресов и др. В последнем блоке файла конфигурации настраиваются параметры логирования событий DHCP-сервиса с меткой INFO, соответствующей информационным сообщениям, возникающим в процессе работы.

Для удобного просмотра списка устройств, запросивших IP-адрес, был изменен файл .bashrc (рисунок 1), в который было добавлено обращение к PostgreSQL с целью форматирования вывода результатов выдачи IP-адресов в виде таблицы (рисунок 2).



```
Open ✎ .bashrc ~/(Administrator) 
alias show_leases='sudo -u postgres psql -d clients -q -P border=2 -P
linestyle=unicode -c "SELECT host inet(''0.0.0.0'')::inet + address) AS
\"IP-адрес\", regexp_replace(upper(encode(hwaddr, ''hex'')), ''(.{2})(
?$_)'', ''\1:\1'', ''g'') AS \"MAC-адрес\", coalesce(hostname,
''---'') AS \"Имя хоста\", to_char(expire AT TIME ZONE ''Europe/
Moscow'', ''DD.MM.YY HH24:MI:SS'') AS \"Аренда до\" FROM lease4 ORDER
BY address" | batcat --language sql --theme="Monokai Extended Bright" --
style=plain,grid'
```

Рисунок 1 – Фрагмент файла .bashrc



IP-адрес	MAC-адрес	Имя хоста	Аренда до
192.168.50.2	08:00:27:15:89:78	strellecpe. kali	18.12.25 07:13:47
192.168.50.3	08:00:27:56:AC:C0		18.12.25 07:15:53

Рисунок 2 – Результат правильной работы DHCP-сервиса на маршрутизаторе

Для настройки функции маршрутизации на мини-компьютере Chuwi Larkbox X был настроен процесс перенаправления трафика IP Forwarding, который необходим для перенаправления трафика от интерфейса, подключенному к внешней сети к интерфейсу, подключенному к внутренней сети, и наоборот LAN. Для включения процесса перенаправления трафика IP Forwarding в операционной системе Ubuntu Server 22.04 LTS необходимо в файле /etc/sysctl.conf установить параметр net.ipv4.ip\_forward=1.

Для реализации функции трансляции IP-адресов (NAT, Network Address Translation) был использован инструмент nftables, который также реализовал функции блокировки подозрительных IP-адресов. На рисунке 3 представлен фрагмент файла nftables.conf в котором добавлена таблица NAT с функцией masquerade, которая необходима для преобразования IP-адресов в пакетах из внутренней сети, при их передаче на внешний интерфейс enp1s0. Результат правильной работы трансляции IP-адресов посредством инструмента tcpdump показан на рисунке 4, на котором видно, что в пакете данных, приходящем на внутренний интерфейс маршрутизатора (enp2s0) осуществляется преобразование IP-адреса 192.168.50.2 в IP-адрес 192.168.100.11, настроенный на внешнем интерфейсе (enp1s0).

```
GNU nano 6.2          /etc/nftables.conf
table ip nat {
    chain postrouting {
        type nat hook postrouting priority 100;
        oifname "enp1s0" masquerade
    }
}
```

Рисунок 3 – Фрагмент файла nftables.conf для активации NAT

```
ubuntu@ubuntu:~$ sudo tcpdump -i enp2s0 icmp
tcpdump: verbose output suppressed, use -v[v]... for full protocol decode
listening on enp2s0, link-type EN10MB (Ethernet), snapshot length 262144 bytes
22:02:59.019948 IP 192.168.50.2 > dns.google: ICMP echo request, id 1, seq 40, length 40
22:02:59.034362 IP dns.google > 192.168.50.2: ICMP echo reply, id 1, seq 40, length 40
22:03:00.035012 IP 192.168.50.2 > dns.google: ICMP echo request, id 1, seq 41, length 40
ubuntu@ubuntu:~$ sudo tcpdump -i enp1s0 icmp
tcpdump: verbose output suppressed, use -v[v]... for full protocol decode
listening on enp1s0, link-type EN10MB (Ethernet), snapshot length 262144 bytes
22:03:16.246484 IP 192.168.100.11 > dns.google: ICMP echo request, id 1, seq 43, length 40
22:03:16.253496 IP dns.google > 192.168.100.11: ICMP echo reply, id 1, seq 43, length 40
22:03:17.245697 IP 192.168.100.11 > dns.google: ICMP echo request, id 1, seq 44, length 40
```

Рисунок 4 – Результат проверки работы NAT посредством tcpdump

Разработанный маршрутизатор в процессе маршрутизации трафика анализирует заголовок IP в каждом пакете и автоматически блокирует IP-адреса из списка Firehol IP list [3], представляю-

щий собой постоянно обновляющийся список IP-адресов, с которых были зафиксированы кибератаки. FireHOL [4] – это язык для создания правил межсетевого экранирования и их преобразования и добавления в nftables OC Linux. Firehol IP list представляет собой высокоуровневое описание правил, которые автоматически преобразуются в наборы правил nftables, что позволяет удобно и быстро добавлять правила для блокировки IP-адресов. Для запуска периодических обновлений был написан скрипт firehol-update.sh (рисунок 5), который загружает актуальный firehol IP list (level2), редактирует файл firehol\_level2.netset, добавляя новые IP-адреса и удаляя из списка локальные IP-адреса, а также обновляет список правил nftables (рисунок 6).

```
GNU nano 6.2                               /etc/firehol-update.sh
#!/bin/bash
curl -O https://iplists.firehol.org/files/firehol_level2.netset
grep -Eo '([0-9]{1,3}){3}([0-9]{1,3})([0-9]{1,2})?' firehol_level2.netset |
grep -Ev -E '127.|^10.^|192.168.^|^169.254.^|^172.(1[6-9]|2[0-9]|3[0-1]).|^224.^|^255.' |
sort -u > firehol_level2.txt

nft -f <(echo "flush set inet filter bad_ips; add element inet filter bad_ips
( ${tr '\n' ',' < firehol_level2.txt | sed 's/,$/\n' } )")
```

Рисунок 5 – Фрагмент скрипта firehol-update.sh для обновления правил nftables

```
ubuntu@ubuntu:~$ sudo nft list ruleset
table inet filter {
    set bad_ips {
        type ipv4_addr
        flags interval
        elements = { 1.1.179.25, 1.13.79.144,
                      1.13.175.150, 1.14.12.141,
                      1.24.210.27, 1.27.226.158,
                      1.30.20.98, 1.31.80.222,
                      1.55.33.86, 1.62.252.20,
                      1.71.249.167, 1.82.135.154,
                      1.94.67.207, 1.94.145.98,
                      1.95.12.125, 1.95.79.93,
```

Рисунок 6 – Фрагмент правил nftables с добавленными IP-адресами из списка Firehol IP list

Специально был создан сервис update-firehol.service, который запускает автоматическое обновление списка Firehol IP list через 5 минут после его запуска и каждые 3 часа, что определяется update-firehol.timer (рисунок 7).

```

    GNU nano 6.2      /etc/systemd/system/update-firehol.service
[Unit]
Description=firehol update
After=network-online.target
Wants=network-online.target
[Service]
Type=oneshot
ExecStart=/etc/firehol-update.sh

    GNU nano 6.2      /etc/systemd/system/update-firehol.timer
[Unit]
Description=firehol update timer
[Timer]
OnBootSec=5min
OnUnitActiveSec=3h
RandomizedDelaySec=5m
[Install]
WantedBy=timers.target

```

**Рисунок 7 – Фрагменты файлов update-firehol.service и update-firehol.timer**

**Заключение.** Таким образом, разработанный маршрутизатор рекомендуется к внедрению в корпоративные сети различных организаций Республики Беларусь, так как имеет весь необходимый функционал. На маршрутизаторе возможно настроить Kea DHCP-сервис, посредством которого можно резервировать IP-адреса, а также добавлять и отслеживать выданные IP-адреса в БД PostgreSQL. Также в маршрутизаторе реализована функция анализа трафика сетевого уровня и преобразования IP-адресов в соответствии с технологией NAT. Посредством конфигурации nftables возможна блокировка или разрешение трафика с разными IP-адресами и протоколами. Функция блокировки IP-адресов с подозрительной активностью, включенных в список firehol IP list, с автоматическим обновлением позволяет упростить процесс конфигурации nftables. В дальнейшей работе авторами планируется добавление следующих функций: DNS-сервис с протоколом DNS-over-HTTPS и проверкой доменов, обнаружения и блокировки вторжений, логирования событий информационной безопасности и инспекции зашифрованного трафика.

#### Список использованных источников

1. Приказ Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь, 20 февр. 2020 г., № 66 / Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – 2020. – 7/4470.
2. LarkBox X. User Manual / CHUWI [Electronic resource] – Mode of access: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0116/2762/6596/files/LarkBoxX-UserGuide.pdf?v=1680059623>. – Date of access: 15.12.2025.
3. FireHOL [Electronic resource] – Mode of access: <https://firehol.org/documentation/#firehol>. – Date of access: 15.12.2025.
4. FireHOL iplists [Electronic resource] – Mode of access: [https://iplists.firehol.org/?ipset=firehol\\_level2](https://iplists.firehol.org/?ipset=firehol_level2). – Date of access: 15.12.2025.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ РАЗОБЩЕННОСТИ ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ЕДИНОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

*Езепенко Р. О.*

магистрант, учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»

**Введение.** В условиях перехода промышленной отрасли к концепциям «Индустрии 4.0» суть которой заключается в «создании киберфизических систем, которые через интернет сервисы обеспечивают сквозную цифровизацию всех физических активов и интеграцию в цифровые процессы» [1], на предприятиях возникают проблемы, связанные с противоречием между избытком данных и дефицитом полезной информации. Внедрение новых технологий приводит к лавинообразному росту информационных ресурсов, потенциал обработки которых остается нераскрытым из-за их семантической несовместимости и изолированности. Это формирует научно-практическую проблему: как интегрировать разнородные данные в единую когерентную модель, способную к автоматическому логическому выводу для предиктивного управления.

**Основная часть.** Данные промышленного предприятия представляют собой иерархическую архитектуру, исторически сформировавшуюся в соответствии с уровнями управления: уровень датчиков и исполнительных механизмов, уровень диспетчерского контроля и сбора данных, уровень управления производственными операциями и уровень бизнес-планирования. Каждый из этих уровней порождает данные с различными характеристиками. На первом уровне это высокочастотные потоки сигналов в формате тегов, лишенных какого-либо бизнес-контекста. На втором уровне данные агрегируются в архивы временных рядов, но часто оставаясь в логике технических параметров оборудования. Третий уровень опирается уже операционными сущностями – заказами, партиями, исполнителями, связывая физический процесс с планом. Четвертый уровень работает с полностью бизнес-ориентированными понятиями: финансами, спецификациями, жизненным циклом изделий. Таким образом, разнородность данных носит системный и неизбеж-

ный характер: она заложена в самой разнице целевого назначения этих уровней.

Ответом на выявленную разнородность данных стал целый спектр технологических подходов, каждый из которых решал проблемы своего времени, но в контексте задач «Индустрии 4.0» упирается в системные ограничения. Историческая эволюция интеграции – от консолидации к гибкому хранению и далее к стандартизации доступа – показывает смещение фокуса с данных на их движение, но не на их смысл. Анализ каждого подхода выявляет узкие места. Жесткая схема «звезды», лежащая в основе *DWH*, требует длительного перепроектирования при любом изменении в источниках данных [2]. *Data Lake* лишь откладывает проблему: семантическая интеграция и очистка данных становятся более сложной и дорогой задачей на этапе использования. *ESB* создает сложнейшую паутину *point-to-point* преобразований, не создавая при этом единой модели предприятия. Современные *API*-шлюзы, хотя и улучшают управляемость и безопасность, лишь маскируют разнородность за удобным фасадом, не решая задачи агрегации и семантического обогащения данных.

В существующем технологическом ландшафте наблюдается четкий методологический разрыв: есть способы для хранения и соединения, но нет решения, способного заставить компоненты понимать друг друга. Данный разрыв призван заполнить онтологически-ориентированный подход, который позволяет моделировать сложные домены, представляя знания в виде графа, где узлы – это сущности, а ребра – отношения между ними [3].

В ответ на выявленные ранее недостатки традиционных подходов в исследовании предлагается архитектура интеграции, основанная на семантических технологиях. В рамках данного исследования спроектирован и реализован специализированный программный комплекс, ядром системы которого является онтологическая модель, описывающая основные производственные сущности. Модель включает не только таксономию классов, но и систему семантических правил на языке *SWRL*, формализующих производственные знания.

Разработанная онтологическая модель промышленного предприятия представляет собой формализованное описание предметной области на языке *OWL 2*. Она служит единым семантическим слоем, который преодолевает разрыв между разными языками данных систем, переводя их в общую систему понятий и взаимосвязей.

На рисунке 1 приведена иерархия классов онтологической модели промышленного предприятия.

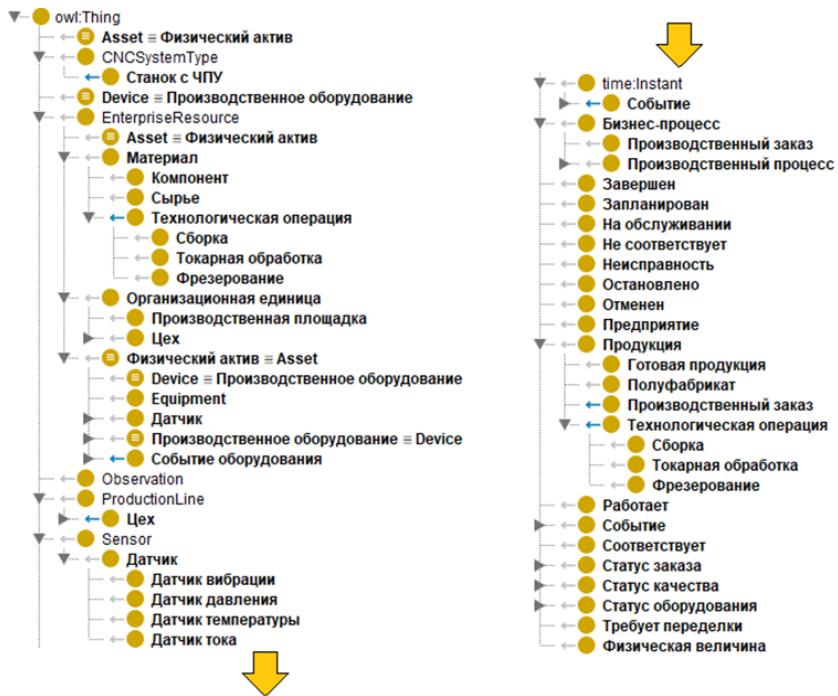


Рисунок 1 – Иерархия классов онтологической модели промышленного предприятия

Ядро модели составляет иерархия ключевых сущностей предприятия, выстроенная от общего к частному. На верхнем уровне находится само предприятие, которое включает в себя производственные площадки. Каждая площадка состоит из цехов, содержащих производственные линии. Эта пространственная структура связана отношениями «содержит» и «установлен в», что позволяет точно моделировать физическое расположение любого актива на территории завода.

Центральное место в онтологии занимают производственные активы, объединенные общим классом «физический актив». От него наследуется детальная классификация оборудования: «производственное оборудование», включающее «станки», «промышленных роботов» и «конвейеры». Каждый актив описывается набором свойств: серийным номером, производителем, моделью и датой установки.

Выделены специализированные классы датчиков: вибрации, температуры и давления. Каждый датчик через свойство «прикреплен к» связан с конкретной единицей оборудования и свойством «измеряет» – с определенной физической величиной. Сами «физические величины», такие как «вибрация» или «температура», определены как индивиды с заданными нормальными диапазонами и критическими порогами. Производственно-технологический аспект предприятия описан через взаимосвязь продукции, материалов и процессов. Модель различает готовую продукцию и полуфабрикаты, которые производятся из материалов, включающих сырье и компоненты. Базовой единицей деятельности является «технологическая операция» – конкретный тип «производственного процесса», такой как фрезерование или токарная обработка. Каждая операция через свойства «использует оборудование», «потребляет» материалы и «производит» продукцию. Вся деятельность планируется и учитывается в рамках «производственных заказов», которые связывают заказчика, требуемые материалы, задействованное оборудование и выпускаемую продукцию. Динамика работы предприятия отражена в модели через систему событий и состояний. Статус оборудования может принимать значения «работает», «остановлено», «на обслуживании» или «неисправность». Эти статусы не являются статичными – они изменяются в результате выполнения правил логического вывода. Преимущество от внедрения онтологии раскрывается в семантических связях и механизмах логического вывода. Более 35 объектных свойств образуют плотную сеть отношений между сущностями, описывая пространственные, функциональные, производственные и причинно-следственные связи.

В контексте разрабатываемого программного комплекса данная онтология выполняет роль центрального семантического ядра. Она выступает в качестве источника истины, предоставляя словарь терминов и правил для всех подключаемых систем. АдAPTERЫ комплекса преобразуют сырье данные в *RDF*-триплеты, используя онтологию как карту для маппинга. *SPARQL*-эндпоинт позволяет выполнять сложные запросы, пересекающие границы исходных систем, например: «Найти все производственные заказы, выполненные на станках, где в течение последних 24 часов регистрировалась повышенная вибрация, и показать связанные с ними случаи брака продукции». Резонер непрерывно анализирует поступающие данные, применяет *SWRL*-правила и обогащает граф знаний новыми

фактами, что позволяет реализовывать сценарии предиктивного обслуживания и проактивного управления.

Архитектура приложения представляет собой многоуровневую модульную структуру, построенную по принципу разделения ответственности между тремя ключевыми уровнями: уровень данных, семантическое ядро и уровень представления.

На нижнем уровне архитектуры расположен уровень данных, ответственный за подключение к внешним системам предприятия и преобразование сырых данных в единый семантический формат. Этот уровень включает специализированные адаптеры, каждый из которых предназначен для работы с конкретным типом источников информации. Все адаптеры обогащают данные контекстной информацией, включая идентификаторы оборудования и единицы измерения, обеспечивая их семантическую согласованность.

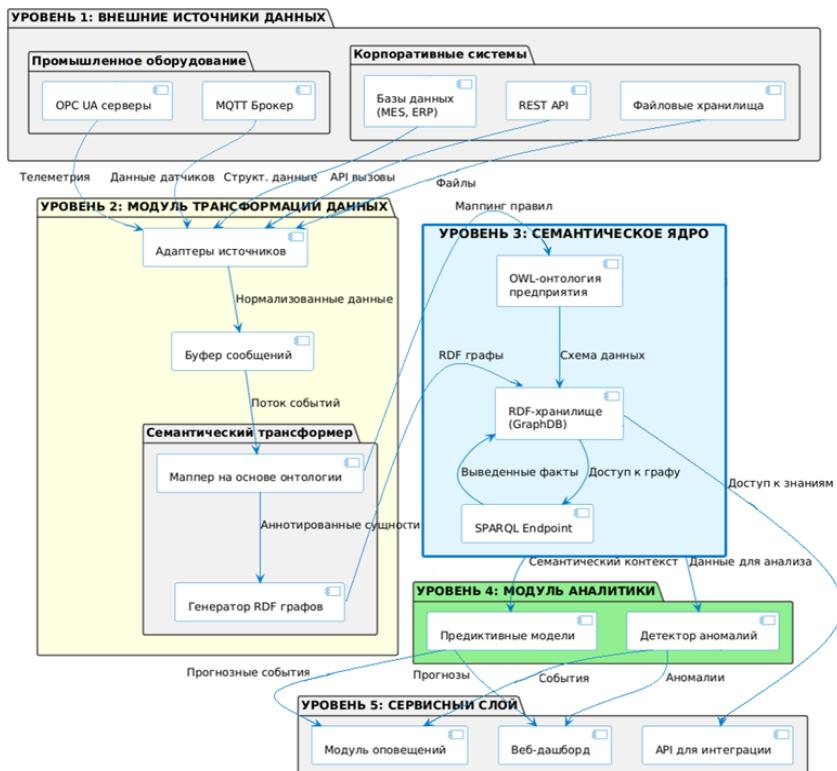


Рисунок 2 – UML-схема программного комплекса

Семантическое ядро системы, построено на основе *GraphDB*. Ядро функционирует как единый пункт интеграции, где разнородные данные преобразуются в связанное знание благодаря загруженной онтологической модели, детально описанной ранее.

Ключевым компонентом уровня представления является веб-интерфейс, который визуализирует состояние производственного оборудования, отображает показания датчиков в реальном времени. Параллельно с веб-интерфейсом имеется внешний *API*, который предоставляет доступ к онтологической модели внешним сервисам, а также функционирует сервис уведомлений, который отправляет структурированные уведомления ответственным специалистам. На рисунке 2 приведена *UML*-схема разработанного программного комплекса.

**Заключение.** В результате проведенного исследования была решена задача по преодолению семантической разобщенности данных промышленного предприятия. Решение было продемонстрировано на примере разработки программного комплекса, который не только устраняет эту проблему, но и обладает возможностью логического вывода новых знаний.

#### Список использованных источников

1. Герман, М. Принципы проектирования сценариев Индустрии 4.0 / М. Герман, Т. Пенте, Б. Вальтер, К. Хомпель // 49th Hawaii International Conference on System Sciences. – Koloa, USA: IEEE Computer Society, 2016. – 928 с.
2. Кимболл, Р. Инструментарий хранилища данных: исчерпывающее руководство по моделированию измерений / Р. Кимболл. – 3-е изд. – Москва: Диалектика, 2020. – 600 с.
3. Григорис, А. Семантический веб: практическое руководство / Г. Антониоу, П. Грос, Ф. ван Хармелен, Р. Хоекстра. – 2-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – 241 с.

УДК 541.138.2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРАХ

Комаров М. А.

специалист 2-й категории Республиканского научно-практического центра нефтехимических технологий и производств, Белорусский государственный технологический университет, Минск

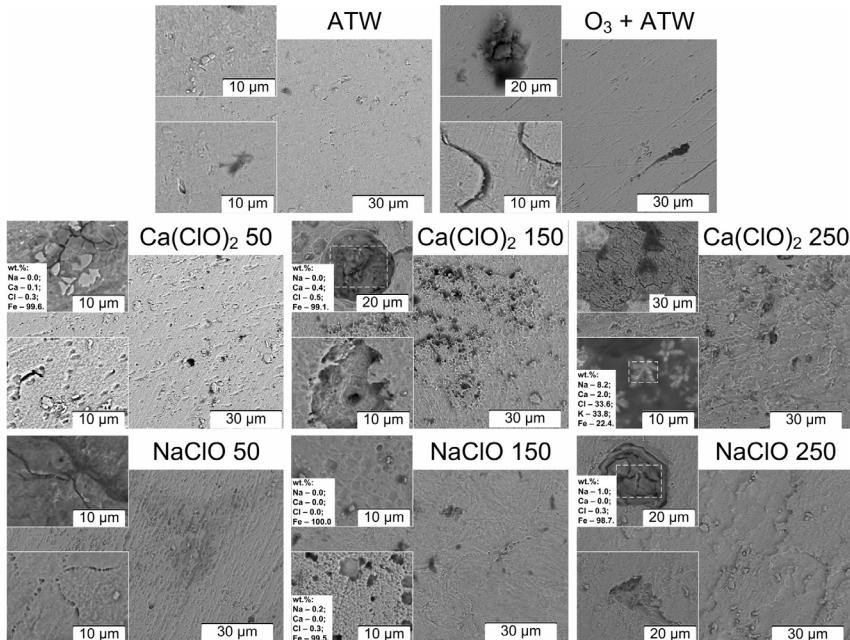
**Введение.** Дезинфекция поверхностей различных видов стали актуальна для пищевой промышленности, мест общественного питания, здравоохранения и др. В таких местах применяют растворы с

высокими дозами активного хлора: 0,5–2 мас.% [1–3] и до 5 мас.%. Также в больших объемах и на постоянной основе дезинфекция используется на сооружениях водоподготовки [4–6]. Рекомендуемые параметры дезинфекции поверхностей сильно зависят от типа обрабатываемой поверхности, вида микроорганизмов, подлежащих инактивации, типа используемого дезинфицирующего вещества. Для каждого дезинфицирующего вещества и инактивируемого микроорганизма, а также требуемой эффективности инактивации существует рекомендуемое значение критерия С·Т (где С – концентрация дезинфицирующего вещества, мг/л; Т – время обработки, мин). Данная информация присутствует в широком объеме в различных видах источников информации. В то же время в имеющихся литературных данных, имеется относительно мало информации о коррозии обрабатываемых поверхностей, практически отсутствует информация о вымывании металлов в зависимости от различных параметров дезинфекции и типа дезинфицирующего средства при обработке поверхностей

**Результаты эксперимента.** Задачей данной работы было определить скорость коррозии углеродистых сталей Ст3 и 08, провести сравнительный анализ коррозионного воздействия хлорсодержащих веществ и насыщенной озоном воды на углеродистые стали.

Сталь Ст3 показала большую потерю массы, скорость коррозии и долю скорродированной поверхности по сравнению со сталью 08, что можно объяснить меньшим содержанием углерода (в 2,4 раза) в Ст8. Эксперименты по потере массы показали снижение скорости коррозии со временем для всех испытанных условий. Максимальная скорость коррозии наблюдалась в первые 8 часов эксперимента. Потеря массы образцов уменьшалась в ряду  $\text{Ca}(\text{ClO})_2 > \text{NaClO} >$  Хлорамин Б  $>$  хлорная известь. Вероятно, в данном случае существенное влияние оказывает эффект пассивации в растворе гипохлорита натрия с более высоким значением pH 9,02 в сравнении с pH раствора гипохлорита кальция 7,34. Также это можно объяснить образованием очагов коррозии при обработке  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ . Потеря массы и скорость коррозии для  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  в 2 раза выше по сравнению с раствором NaClO. Потеря массы в озонированной водопроводной воде была почти сравнима с потерей массы образцов в воде. В растворах NaClO,  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  и хлорной извести коррозия характеризуется наличием трещин, питингов. При использовании хлорамина Б

коррозия характеризуется как равномерная, без трещин и питингов. На поверхности стали, обработанной хлорной известью, признаки коррозии носят более локальный характер в сравнении с гипохлоритом кальция и натрия (рисунок 1). В то же время можно сделать вывод, что хлорамин оказывает травяющее действие на поверхность.



**Рисунок 1** – Изображения сканирующей электронной микроскопии (увеличение  $\times 2000$ ) поверхности стали после 24-часовой обработки (промытой сверхчистой водой).

Обработка: ATW (искусственная водопроводная вода), O<sub>3</sub> + ATW: 30-минутная обработка озоном с последующим 23,5-часовым продолжительным пребыванием в искусственной водопроводной воде без озона, обработка Ca(ClO)<sub>2</sub> или NaClO 50, 150 или 250 мг/л активного хлора в искусственной водопроводной воде в течение 24 часов.

Массовые концентрации, измеренные методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, указаны для выбранных образцов.

**Заключение.** При одинаковой концентрации активного хлора в исходном дезинфицирующем растворе по результатам электрохимических измерений наибольшее коррозионное воздействие на углеродистые стали оказывают растворы гипохлорита натрия, однако весовые измерения показали наибольшую потерю массы в растворах гипохлорита кальция, что вероятно связано с более вы-

сокими значениями pH раствора гипохлорита натрия и некоторой пассивации поверхности сталей.

#### Список использованных источников

1. Romanovski V. et al. Comparative analysis of the disinfection efficiency of steel and polymer surfaces with aqueous solutions of ozone and sodium hypochlorite // Water. – 2024. – Vol. 16. – №. 5. – P. 793.
2. Поспелов А. В. и др. Коррозия нержавеющих сталей в дезинфицирующих растворах // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2023. – №. 1 (33). – С. 90–93.
3. Поспелов А. В. и др. Коррозия углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – №. 14. – С. 89–93.
4. Комаров М. А. и др. Оценка воздействия на окружающую среду дезинфицирующих веществ // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – №. 1. – С. 87–93.
5. Поспелов А. В. и др. Анализ технических аспектов дезинфекции поверхностей водными растворами озона и гипохлорита натрия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – №. 2. – С. 87–95.
6. Поспелов А. В. и др. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции поверхностей в водных растворах озона и гипохлорита натрия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – №. 1. – С. 94–99.

УДК 628.544

## СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ МЕМБРАННОГО ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ НА СИНТЕТИЧЕСКИЙ ДИГИДРАТ СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ

*Комаров М. А.*

специалист 2-й категории Республиканского научно-практического центра нефтехимических технологий и производств, Белорусский государственный технологический университет, Минск

**Введение.** Включение промышленных отходов с разнообразным химическим составом в экономику является критически важной глобальной проблемой [1, 2]. Переработка и повторное использование отходов позволяют сохранить природные ресурсы и уменьшить вред для окружающей среды, а также получать материалы с модифицированными свойствами, зачастую преобладающими над аналогами, получаемыми по традиционным технологиям [3, 4]. В частности, хотя природный гипс необходим для различных строительных материалов, во многих странах отсутствуют его месторождения, в том числе и в Республике Беларусь. Однако про-

изводство высококачественного гипса и вяжущих веществ на его основе может быть получено из различных кальцийсодержащих отходов [5, 6]. Синтетический гипс – это материал, получаемый из промышленных отходов, главным образом в странах, не имеющих собственных месторождений природного гипса. Этот материал имеет существенный потенциал для использования в строительстве и производстве цемента, что помогает снизить негативное воздействие на окружающую среду, связанное с утилизацией кальцийсодержащих отходов [7].

**Методология.** Синтетический гипс получается путем растворения сульфатов натрия и магния. Растворимость компонентов уменьшается в порядке  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 > \text{CaSO}_4$ . Разделение сульфатов по растворимости проводили с использованием воды в количестве 1 л на 50 г отходов и 1,2 л на 50 г отходов. В результате образовывается раствор преимущественно сульфатов натрия и магния с небольшой примесью сульфата кальция, а сульфат кальция остается в нерастворенном виде.

**Результаты эксперимента.** Отходы, образующиеся в процессе мембранныго опреснения воды, представляют собой смесь, преимущественно состоящую из сульфатов кальция и натрия. Этот осадок образуется на станциях нейтрализации в процессе водоподготовки завода по производству жести. Данный тип отходов относится к классу опасности 4. Состав отходов по результатам комбинированного анализа (с помощью сканирующего электронного микроскопа и рентгенофазового анализа представленного на рисунке 1):  $\text{CaSO}_4$  — 42,7 мас.%,  $\text{MgSO}_4$  — 9,1 мас.%,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  — 40,3 мас.%, примеси — 7,9 мас.%. Объем образования составляет более 845 тонн/год.

Перспективным способом переработки является разделение исходной смеси путем ее растворения в воде. Данный способ является осуществимым за счет существенной разницы в растворимости у сульфата натрия, сульфата магния и сульфата кальция. Навеска исходного материала помещалась в стеклянный стакан после чего заливалась водой. Для более быстрого и эффективного растворения осуществлялось постоянное перемешивание в течение 10–15 минут с помощью магнитной мешалки. При необходимости еще большей интенсификации процесса возможно использование подогрева раствора в реакторе. После этого полученная суспензия отправлялась

на разделение. В процессе разделения в жидкой фазе остается сульфат натрия и сульфат магния, а в твердой фазе – сульфат кальция. Полученная жидккая фаза далее может использоваться в качестве почвоулучшающей добавки для активации роста растений и набора ими полезной массы.

Полученная твердая фаза после процесса фильтрации отправляется на сушку при 80–85 °С в течении 120 минут для достижения постоянной массы.

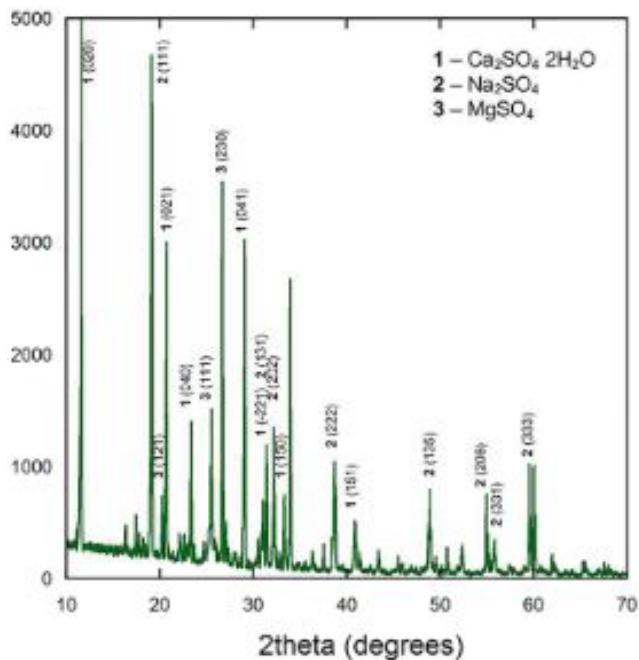


Рисунок 1 – Результаты рентгенофазового анализа образца осадка мембранных опреснения воды

В результате получается синтетический гипс с высокой степенью чистоты – более 95 мас.%, что соответствует I марке дигидрата сульфата кальция. Такой чистый состав открывает возможность получения гипсовых вяжущих на его основе путем термической либо гидротермальной обработке.

**Заключение.** Установлено, что благодаря различной растворимости компонентов отхода – смеси сульфатов кальция и натрия —

возможно производство гипса марки 1 с помощью двух стадийного процесса, включающего растворение и центрифугирование.

#### **Список использованных источников**

1. Beletskii E. V. et al. Fall and Rise: Disentangling Cycle Life Trends in Atmospheric Plasma-Synthesized FeOOH/PANI Composite for Conversion Anodes in Lithium-Ion Batteries // ChemEngineering. – 2024. – Vol. 8. – № 1. – P. 24.
2. Wang C. et al. Preparation of calcium sulfate from recycled red gypsum to neutralize acidic wastewater and application of high silica residue // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2024. – Vol. 26. – № 3. – P. 1588-1595.
3. Liu C. et al. Effect of phosphogypsum flotation purification on anhydrite properties // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2025. – P. 1-16.
4. Wang C. et al. Preparation of anhydrite whiskers from red gypsum and application in polyvinyl chloride // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2025. – Vol. 27. – № 2. – P. 973–983.
5. Romanovski V. et al. Gypsum binder with increased water resistance derived from membrane water desalination waste // Engineering Reports. – 2025. – Vol. 7. – № 1. – P. e13028.
6. Kamarou M. et al. High strength anhydrite cement based on lime mud from water treatment process: one step synthesis in water environment, characterization and technological parameters // Engineering Reports. – 2025. – Vol. 7. – № 1. – P. e13054.
7. Kamarou M. et al. High-strength gypsum binder with improved water-resistance coefficient derived from industrial wastes // Waste Management & Research. – 2025. – Vol. 43. – № 2. – P. 213–224.

УДК 349.2:004.9(476)

## **ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОХРАНЫ ТРУДА И ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ВЫЗОВЫ И ПУТИ АДАПТАЦИИ**

*Корников Р. И.*

студент 1-го курса магистратуры Академия управления  
при Президенте Республики Беларусь

### **Введение: Вызовы четвертой промышленной революции.**

Цифровая трансформация систем охраны труда представляет собой глобальный тренд, обусловленный развитием технологий Индустрии 4.0. Внедрение интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта (ИИ), систем предиктивной аналитики и цифровых двойников кардинально меняет парадигму управления профессиональными рисками. Для Республики Беларусь, с ее развитым промышленным комплексом и амбициозными планами по технологической модернизации, адаптация законодательства в сфере охраны труда к цифровой реальности становится императивом экономической безопасности

и социальной стабильности. Традиционная система охраны труда в Беларуси, основанная на нормативном и реактивном подходе, демонстрирует свою ограниченность в условиях цифровой экономики. Законодательство требует системного обновления для легитимации новых технологий, определения правового статуса цифровых данных и создания баланса между технологическим контролем и правами работников. Данная работа направлена на анализ существующих нормативных пробелов и разработку конкретных предложений по адаптации белорусского законодательства к вызовам цифровой эпохи.

## **1. Анализ текущего законодательного поля Республики Беларусь**

### *1.1 Базовые нормативные акты и их потенциал для цифровизации*

Основу регулирования охраны труда в Республике Беларусь составляют Закон Республики Беларусь «Об охране труда», Трудовой кодекс и система технических нормативных правовых актов (ТНПА) [1, 2]. В действующей редакции Закона «Об охране труда» отсутствует явное упоминание цифровых технологий, однако отдельные положения создают косвенную основу для их внедрения. Статья 12 определяет, что работодатель должен внедрять современные средства безопасности, а статья 17 закрепляет принцип приоритета сохранения жизни и здоровья работников [1]. Эти нормы могут трактоваться как правовое обоснование внедрения превентивных цифровых систем. Однако ключевой пробел – отсутствие в законодательстве легальных определений таких понятий, как «цифровая система управления охраной труда» или «предиктивная аналитика профессиональных рисков», что создает правовую неопределенность.

### *1.2 Технические нормативные правовые акты: разрыв с технологической реальностью*

Анализ действующих ТНПА, таких как СТБ 1803-2007 «Шум. Правила оценки и контроля» или ТКП 45-1.03-44-2006, показывает их ориентацию на эпоху периодического контроля и ручных измерений [3, 4]. Они не содержат требований к непрерывному мониторингу через сеть IoT-датчиков, цифровым протоколам обмена данными или использованию алгоритмов машинного обучения для анализа рисков. Инструкция о порядке обучения, утвержденная постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 28.11.2008 № 175, также регламентирует исключительно традицион-

ные формы обучения без учета возможностей VR/AR-тренажеров [5]. Таким образом, ТНПА отстают от технологических возможностей на 10-15 лет, создавая формальные правовые барьеры для внедрения современных решений даже при их доказанной эффективности.

### *1.3 Проблемы правоприменения в цифровом контексте*

Процедура расследования несчастных случаев, регламентированная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.01.2004 № 30, предполагает преимущественно «бумажный» документооборот [6]. В ней не определен правовой статус доказательств, полученных из цифровых источников: данных с камер компьютерного зрения, логов автоматических систем блокировки оборудования или показаний персональных биометрических датчиков. Статья 463 Трудового кодекса, предусматривающая дисциплинарную ответственность, не учитывает новые сценарии, например, когда работник проигнорировал предупреждение системы ИИ или когда инцидент произошел из-за сбоя в работе предиктивного алгоритма [2]. Это создает сложности при установлении вины и размера ответственности.

## **2. Международный опыт и лучшие практики**

### *2.1 Европейский Союз: риск-ориентированный подход и этика ИИ*

Директива Европейского Союза 89/391/EEC «О введении мер по улучшению безопасности и здоровья работников» закладывает принцип превентивных действий и оценки рисков, что является естественной основой для цифровизации [7]. Европейская комиссия акцентирует внимание на этических аспектах, разрабатывая руководства по использованию ИИ в охране труда. Ключевые принципы включают объяснимость ИИ-решений (право работника знать логику предупреждения), сохранение контроля человека над критическими решениями и строгое соблюдение GDPR при обработке персональных данных, особенно биометрических [8].

### *2.2 Опыт Германии и Сингапура: институциональные решения*

Германия, дополняя свой Закон о промышленной безопасности (Arbeitsschutzgesetz), сделала акцент на социальном диалоге и принципах пропорциональности и прозрачности при удаленном мониторинге [9]. Институт страхования от несчастных случаев (DGUV) разработал специализированный цифровой стандарт DGuV Plus для сертификации систем предиктивной безопасности. Синга-

тур пошел по пути активного государственно-частного партнерства, запустив программу «SAFE», которая предусматривает существенные субсидии на внедрение IoT-систем, ускоренную сертификацию и создание национального центра компетенций по анализу данных об инцидентах [10]. Эти примеры демонстрируют разные, но эффективные модели интеграции технологий в правовое поле.

### **3. Конкретные вызовы для белорусского законодательства**

Первый системный вызов – легитимация данных и алгоритмических решений. Действующее законодательство не отвечает на вопросы о юридической силе прогнозов риска, сгенерированных ИИ, или о правомерности автоматической блокировки оборудования. Ответственность за ложные срабатывания алгоритмов также не распределена.

Второй критический вызов – конфликт между безопасностью и правом на приватность. Системы биометрического мониторинга собирают чувствительные персональные данные. Закон РБ «Об информации, информатизации и защите информации» не содержит специальных норм о профессиональных биометрических данных, что создает риски их misuse [11]. Третий вызов – устаревшая система технического нормирования, не учитывающая возможности непрерывного автоматизированного контроля. Четвертый – несоответствие квалификационных требований к специалистам по охране труда, в чьи обязанности до сих пор не входят навыки работы с большими данными или системами предиктивной аналитики.

### **4. Предлагаемые пути адаптации законодательства**

Адаптацию необходимо проводить поэтапно. На первом этапе (12–18 месяцев) требуются срочные поправки в Закон «Об охране труда» для введения базовых цифровых понятий и принципа «управления рисками на основе данных» [1]. Параллельно следует принять постановление о «пилотном внедрении», создав «регуляторную песочницу» для тестирования инноваций на предприятиях ПВТ и промышленных гигантах, и адаптировать подзаконные акты, например, Инструкцию по расследованию, для признания цифровых доказательств [5, 6].

На втором этапе (2–3 года) целесообразно принять Концепцию цифровизации охраны труда до 2030 года, предусматривающую национальную платформу обмена анонимизированными данными, программу переподготовки кадров и меры налогового стимулирования. Ключевой задачей является модернизация ТНПА,

разработка новых стандартов в рамках СТБ ISO 45001 и гармонизация с международными стандартами кибербезопасности, такими как IEC 62443 [3, 4]. Отдельным важным шагом станет разработка закона о профессиональных биометрических данных, четко ограничивающего цели и сроки их обработки.

На третьем этапе (3–5 лет) должна быть сформирована полноценная экосистема: создан Национальный центр компетенций по цифровой безопасности труда при Минтруда, внедрены механизмы государственно-частного партнерства для поддержки малого и среднего бизнеса и начата работа по гармонизации регуляторики в рамках ЕАЭС.

**Заключение.** Цифровая трансформация охраны труда – объективный процесс, определяющий будущее промышленной безопасности. Для Республики Беларусь успех зависит от способности осуществить опережающую адаптацию законодательства. Предложенный поэтапный путь, от точечных изменений до формирования целостной экосистемы, позволит перейти от устаревшей модели нормативного соответствия к динамичной модели управления рисками на основе данных. Это создаст правовую определенность для бизнеса, обеспечит внедрение современных технологий и, что самое важное, усилит реальную защиту жизни и здоровья работников в условиях цифровой экономики. Ключевым итогом должно стать нахождение устойчивого баланса между технологическим прогрессом, коллективной безопасностью и незыблемыми правами личности.

#### *Список использованных источников*

1. Об охране труда : Закон Респ. Беларусь от 23 июня 2008 г. № 356-3 (в ред. от 18.07.2023) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2023. – № 123.
2. Трудовой кодекс Республики Беларусь : Кодекс Респ. Беларусь от 26 июля 1999 г. № 296-3 (в ред. от 24.10.2022) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2022. – № 2/2920.
3. Шум. Правила оценки и контроля : СТБ 1803-2007. – Введ. 01.07.2008. – Минск : Госстандарт, 2007. – 35 с.
4. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования : ТКП 45-1.03-44-2006 (02250). – Введ. 01.01.2007. – Минск : Минстройархитектуры, 2006. – 28 с.
5. Об утверждении Инструкции о порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда : постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь от 28 нояб. 2008 г. № 175 (в ред. от 30.12.2021) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2022. – 8/31251.
6. О расследовании и учете несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 15 янв. 2004 г. № 30 (в ред. от 14.12.2022) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2023. – 5/50789.

7. Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work // Official Journal of the European Communities. – 1989. – L 183. – P. 1–8.

8. Ethics guidelines for trustworthy AI // European Commission, High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. – Brussels, 2019. – 41 p.

9. Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

10. Workplace Safety and Health (WSH) 2028 Strategy // Ministry of Manpower Singapore. – Singapore, 2022. – URL: <https://www.mom.gov.sg> (дата обращения: 15.04.2024).

11. Об информации, информатизации и защите информации : Закон Респ. Беларусь от 10 ноября 2008 г. № 455-3 (в ред. от 01.01.2024) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2024. – № 2/3040.

УДК 004.42

## **CSS HOUDINI: АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ И БАРЬЕРОВ ВНЕДРЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ВЕБ-РАЗРАБОТКЕ**

*Кудрявцева А. В., Шутко Н. П.*

студент; к.т.н., доц., БГТУ

**Введение.** История веб-стандартов показывает, что внедрение новых CSS-функций, вроде Flexbox, занимает много времени. Старые JavaScript-полифили, работающие после рендеринга и вызывающие пересчет стилей, часто замедляют работу сайта.

**Основная часть.** CSS Houdini меняет подход, предлагая набор API низкого уровня для браузеров. Он позволяет JavaScript-разработчикам расширять CSS, используя лёгкие Worklets для работы с ключевыми этапами рендеринга: Style, Layout, Paint и Composite. Это открывает доступ к API, таким как Paint API (для создания фонов и рамок программно), Layout API (для собственных режимов раскладки), Animation Worklet (для быстрых анимаций) и Properties & Values API (для типизации CSS-переменных) [1]. Houdini даёт возможность создавать быстрые полифили и пробовать будущие стандарты прямо в процессе рендеринга, а не отдельно, что решает проблему производительности.

Несмотря на изначальный потенциал, Houdini, спустя годы после появления первых спецификаций, всё ещё ограниченно применяется в коммерческих продуктах. В докладе анализируются существующие, а не гипотетические, варианты применения

CSS Houdini и рассматриваются причины, тормозящие его распространение.

В настоящее время Houdini ещё не получил широкого распространения в обычной разработке интерфейсов. Он полезен там, где играют ключевую роль точный контроль и производительность, но сложен в применении. Эта технология пока экспериментальная и чаще применяется для создания отдельных, в основном демонстрационных, эффектов, а не для построения всего интерфейса целиком.

Прежде всего, он подходит для создания необычных визуальных эффектов. Его часто используют для сайтов-визиток, портфолио и демонстрационных проектов, где нужен яркий и запоминающийся эффект. Paint API хорош для создания динамических фонов, сложных узоров и интерактивных элементов, которые сложно сделать только на CSS. Например, можно сделать фон, который меняется в зависимости от положения мыши или времени суток. В этом случае Houdini больше подходит для дизайнеров, чем для обычных разработчиков интерфейсов.

Кроме того, Houdini помогает создавать прототипы и дополнения для будущих веб-стандартов. Идея в том, чтобы разработчики могли пробовать новые функции до того, как они станут общепринятыми. Хороший пример – использование Properties & Values API для анимации CSS-переменных. Обычно CSS-переменные нельзя анимировать стандартными средствами, но с Houdini можно зарегистрировать переменную как `<color>` и сделать так, чтобы градиент или тень плавно менялись. Так Houdini помогает расширить возможности CSS. Однако более сложные дополнения, например, для создания полноценной masonry-раскладки через Layout API, пока остаются скорее идеями из-за недостаточной поддержки.

Наконец, Houdini может помочь повысить скорость работы в некоторых задачах. Например, если обычные JS-анимации работают медленно (параллакс-эффекты при прокрутке), можно использовать Animation Worklet. Он работает в отдельном процессе, поэтому анимации воспроизводятся без задержек, даже если на текущей процедуре большая нагрузка. Но это полезно только для проектов, где очень важна плавная анимация.

Несмотря на преимущества, есть объективные причины, по которым технология не вышла из стадии смелых экспериментов.

Во-первых, проблема с внедрением технологии в том, что браузеры поддерживают её по-разному. К примеру, в 2020 году основные

API, такие как Paint и Properties & Values, работали нормально только в браузерах Blink [2]. К концу 2024 – началу 2025 года полная поддержка появилась в основном также в Blink (Chrome, Edge, Opera) и WebKit (Safari), а в Firefox все еще наблюдаются недостатки или проводится тестирование [3]. Это значит, что для работы с технологией в коммерческих проектах, где важна поддержка разных браузеров, приходится создавать альтернативные механизмы со сложной реализацией, что часто делает технологию не вполне практической. Поэтому, прежде чем использовать Houdini в реальных проектах, важно проанализировать, как конкретные API поддерживаются разными браузерами, например, на сайте Can I use [4].

Во-вторых, для работы с Houdini нужно хорошо понимать не только JavaScript, но и как браузер обрабатывает рендеринг. Создание Worklet'ов, особенно для Layout API, намного сложнее, чем написание обычного CSS или даже JS-анимации. Отладка кода Worklet также представляет трудности, и неправильный код может ухудшить производительность.

В-третьих, острой потребности в этом нет. Для большинства задач (сайты компаний, онлайн-магазины, приложения) достаточно возможностей CSS и хорошей оптимизации. Затраты на обучение команды, внедрение и поддержку этой технологии обычно не оправдывают себя с финансовой точки зрения.

**Заключение.** CSS Houdini – это технология, кардинально меняющая подход к рендерингу, несмотря на то, что пока её использование ограничено из-за неполной поддержки в разных браузерах и сложности работы с ней. Широкое внедрение станет возможным только после унификации поддержки и появления удобных инструментов, скрывающих её сложность. Пока же Houdini остаётся мощным, но специфическим инструментом для экспериментов.

#### *Список использованных источников*

1. Habr [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/494660/> – Дата доступа: 07.12.2025.
2. Github [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/CSSHoudini/awesome-css-houdini> – Дата доступа: 07.12.2025.
3. Tenchat [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tenchat.ru/media//4054687-css-houdini-2025-programmimiryem-stili-na-chistom-javascript> – Дата доступа: 07.12.2025.
4. Can I use [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://caniuse.com/> – Дата доступа: 07.12.2025.

УДК 616.5

## МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

*Лазарева Ю. А., Скудняков Ю. А.*

УО «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники», г. Минск

**Введение.** Активное внедрение методов компьютерной обработки изображений и машинного обучения стимулирует создание новых решений для дистанционной диагностики состояний организма. Спектральный анализ и интеллектуальная оценка характеристик поверхности становятся перспективными инструментами для быстрой и точной идентификации симптомов кожных заболеваний. Исследование направлено на разработку мобильного приложения, реализующего алгоритм комплексного анализа структуры и цвета поражений кожи с использованием фреймворка ReactNative и библиотеки OpenCV.

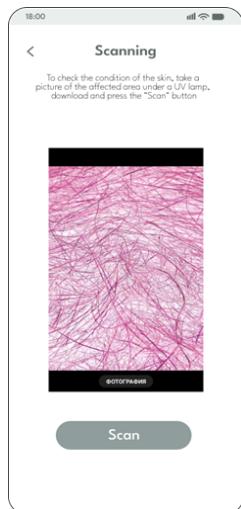
**Основной текст.** Лампа Вуда – это устройство, излучающее длинноволновый ультрафиолетовый свет. Она была изобретена в 1903 году американским физиком-экспериментатором Робертом Вудом и названа в его честь «blacklightlampwood». Так называемый «черный свет», исходящий от этой лампы, активно применяется дерматологами и косметологами для диагностики болезней кожи [1]. Лампа Вуда представляет собой специализированный источник света, использующий ультрафиолетовые лучи длин волн около 365 нм. Этот тип освещения позволяет выявить скрытые патологические изменения на коже, невидимые человеческому глазу при обычном дневном свете. Под воздействием специфического спектра ультрафиолетового излучения кожа и её поражения начинают отражать характерное свечение, называемое флюoresценцией, что существенно облегчает диагностику ряда дерматологических заболеваний.

Представляемое мобильное приложение разработано с использованием фреймворка ReactNative, что обеспечивает его работу на различных мобильных устройствах с поддержкой платформ Android и iOS. Для эффективного функционирования компьютерного зрения применена библиотека OpenCV, известная своими возможностями в области обработки изображений и анализа визуальной информа-

ции. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – это мощная открытая библиотека компьютерного зрения и обработки изображений, которая стала стандартом в индустрии машинного зрения [2].

Основной принцип работы заключается в том, что пользователь входит в мобильное приложение и получает доступ к двум основным функциям: съемка нового изображения непосредственно камерой устройства или выбор существующего изображения из фотогалереи. Важно отметить, что фотография должна быть сделана при правильном освещении, а именно с использованием лампы Вуда, поскольку именно спектр ламп Вуда наиболее эффективно выявляет характерные признаки заболеваний кожи.

После выбора изображений из галереи или снятых непосредственно перед сканированием начинается процесс анализа изображения. Сначала выполняется спектральный анализ цветовых оттенков, излучаемых кожей (кожными заболеваниями) под влиянием ультрафиолета. Затем производится интеллектуальная обработка полученных данных с помощью алгоритмов распознавания образов, встроенных в библиотеку OpenCV. Эти алгоритмы позволяют автоматически определить форму и текстуру кожного поражения, сравнивая полученные характеристики с заранее сформированными шаблонами распространенных болезней. На рисунке 1 представлен процесс сканирования с камеры телефона в свете лампы Вуда.



**Рисунок 1** – Процесс сканирования с камеры телефона в свете лампы Вуда

Результат сканирования заболевания кожи показан на рисунке 2.

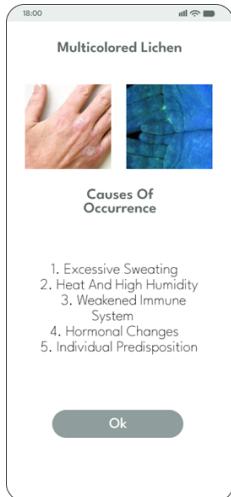


Рисунок 2 – Результат сканирования заболевания кожи

Под воздействием ультрафиолета определенные вещества в коже начинают флуоресцировать, что помогает выявить скрытые патологии. Например, грибковые инфекции, витилиго, псориаз и другие заболевания имеют характерную флуоресценцию, которую можно наблюдать через лампу Вуда. К примеру:

- светло-синий цвет: свидетельствует о нормальной здоровой коже пациента;
- зеленый цвет: символизирует наличие грибковых заболеваний;
- белый цвет: наличие воспаленных тканей у пациента;
- молочно-белый цвет: витилиго;
- снежно-белый цвет: заболевание – красная волчанка;
- тускло-желтый цвет кожи: заболевание – разноцветный лишай;
- желто-зеленый цвет: микроспория;
- кораллово-красный цвет: диагноз – эритразма;
- бледно-серебристый цвет: симптомы заболевания Фавуса;
- оранжево-красный цвет свечения: вульгарные угри [3].

Данный метод диагностики является особенно полезным для раннего мониторинга состояния кожи.

Также для определения заболеваний кожи используется аналитическая модель, которая оценивает форму и структуру пораже-

ния. Основой предлагаемой модели являются современные подходы к обработке изображений и анализу данных, такие как сегментация, детекция границ, вычисление текстурных признаков и анализ спектральных свойств поражённой кожи. Интеграция всех трёх составляющих позволяет достичь высокого уровня чувствительности и специфичности, создавая надежный инструмент для поддержки врачебных решений и улучшения медицинской практики. Основные этапы работы аналитической модели:

- получение изображения: пользователь загружает фотографию поражённого участка кожи, сделанную при специальном освещении (лампа Вуда);
- преобразование и нормализация: фотография проходит предварительную обработку, а именно нормализуется освещение, контраст и баланс белого, устранив возможные искажения и шумы;
- выделение контура поражения: используя методы детекции краев и сегментацию изображений (например, Cannyedgedetector, GrabCut, Watershed), выделяются чётко очерченные границы поражённого участка;
- характеристика формы: форма объекта характеризуется такими параметрами, как периметр, площадь, соотношение сторон, округлость, симметричность и регулярность очертаний. Эти признаки извлекаются и передаются на следующий этап;
- описание текстуры: вычисляются текстурные признаки поражённого участка, такие как средняя интенсивность пикселей, текстурная энергия (Energy of Gray Level Co-occurrence Matrix), направление линий, однородность поверхности и количество деталей (детектор Haralickfeatures, Local BinaryPattern – LBP);
- анализ спектральной составляющей: дополнительно учитывается цветовой профиль изображения, полученный при воздействии лампы Вуда;
- комбинированная оценка: создаются композитные признаки, представляющие одновременно информацию о форме, текстуре и спектральных характеристиках. Данные объединяются и обрабатываются с помощью ансамбля алгоритмов машинного обучения (например, RandomForest, GradientBoostingMachines или многослойных нейронных сетей);
- дифференциальная диагностика: исходя из комбинации полученных признаков, система определяет тип поражения (на при-

мер, атопический дерматит, угревая сыпь, лишай, экзема, базалиома) и выдает рекомендации пользователю о дальнейшей тактике лечения и наблюдения.

Таким образом, данная модель охватывает сразу три важных параметра поражения кожи: спектральную картину, форму и текстуру, обеспечивая более точную и всестороннюю диагностику по сравнению с традиционными методами, ограничивающимися лишь одним аспектом анализа.

**Заключение.** Подводя итог можно сказать, что разработка мобильного приложения для диагностики кожных заболеваний представляет собой инновационный подход, способствующий повышению уровня медицинского обслуживания и качеству жизни пациентов. Использование комбинированного метода спектрального анализа и интеллектуальной оценки формы и текстуры обеспечивает высокий уровень точности и надежности диагностики. Дальнейшие исследования позволят оптимизировать технологию и внедрить её в повседневную медицинскую практику.

#### *Список использованной литературы*

1. Что такое лампа Вуда и как она работает [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.medkv.ru/chto-takoe-lampa-vuda-i-kak-on-a-rabotaet.html>. – Дата доступа: 13.12.2025.
2. About – OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа :<https://pythonlib.ru/library-theme16/>. – Дата доступа: 13.12.2025.
3. Осмотр лампой «Вуда» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doktorstolet.ru/articles/dermatologiya/diagnostika-lampy-vuda/>. – Дата доступа: 14.12.2025.

УДК 004.738.1-056.24

## **АДАПТАЦИЯ ВЕБ-ФОРМ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

*Лис Д. А., Шутъко Н. П.*

студент; к.т.н., доц., БГТУ

**Введение.** В современных условиях развития информационного общества проблема доступности веб интерфейсов для людей с ограниченными возможностями становится особенно важной [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), более 1 миллиарда человек, или 15% населения мира, сталкиваются с различными формами инвалидности. Это создает потребность

в веб-ресурсах, доступных для всех пользователей, включая людей с ограниченными возможностями.

**Основная часть.** Многие пользователи сталкиваются с барьерами при взаимодействии с веб-сайтами из-за различных физических и когнитивных ограничений. Адаптация сайтов для людей с ограниченными возможностями становится актуальной задачей, требующей внимания как со стороны разработчиков, так и со стороны общества. Доступ к цифровым ресурсам становится необходимым условием участия в образовании, трудовой деятельности и социальной жизни, поэтому недоступный сайт фактически ограничивает возможности людей с инвалидностью и пожилых пользователей на получение информации и использование онлайн сервисов [2]. В эту группу входят пользователи с сенсорными: нарушениями зрения и слуха, моторными: ограниченная подвижность, трепмор и когнитивными особенностями: трудности концентрации, запоминания, обработки сложных интерфейсов, для которых корректно спроектированный интерфейс является не второстепенной возможностью, а необходимой опцией взаимодействия с веб ресурсами [2]. Вопросы адаптации сайтов для слабовидящих и незрячих пользователей, а также практические рекомендации по изменению структуры и оформлению страниц подробно рассматриваются в специализированных методических материалах [2, 3].

Формы часто представляют собой главный способ взаимодействия пользователей с сайтом. Для людей с ограниченными возможностями, которые могут сталкиваться с трудностями в навигации и взаимодействии с интерфейсом, доступные формы являются ключевым инструментом их участия. Без должной адаптации они могут быть исключены из важных процессов, таких как регистрация на курс, оформление заказов или подача заявок.

Семантическая разметка на основе тегов `<form>`, `<label>`, `<input>`, `<textarea>` и `<fieldset>` формирует фундамент доступности ввода текста [1]. Эти элементы форм выполняют различные функции: контейнер `<form>` объединяет поля и управляет отправкой данных, `<label>` служит текстовой подписью к полю ввода, `<input>` и `<textarea>` обеспечивают ввод различных типов данных, а `<fieldset>` и `<legend>` позволяют логически группировать взаимосвязанные поля в составе одной формы [3]. Связка элемента `<label>` с полем ввода через атрибут `for` и совпадающий идентификатор `id`

позволяет экранным дикторам корректно озвучивать назначение каждого поля, а пользователи, управляющие формой с клавиатуры, легче понимают структуру формы [3]. Группировка взаимосвязанных полей с помощью `<fieldset>` и `<legend>` дополнительно уточняет контекст, что особенно важно при заполнении сложных форм, например анкет или медицинских опросов [2]. В таких случаях семантическая структура выступает основой для понятной навигации и уменьшает риск ошибок ввода [1].

Важную функцию выполняют атрибуты, описывающие тип и назначение данных. Атрибут `type` у тега `<input>` (например, `email`, `tel`, `password`) позволяет не только включить встроенные механизмы проверки корректности, но и активировать подходящую раскладку виртуальной клавиатуры на мобильных устройствах. Атрибут `autocomplete` (например, `email`, `username`, `given-name`) сообщает браузеру ожидаемый смысл вводимых значений и тем самым снижает объём повторного ввода, что важно для пользователей с нарушениями моторики и когнитивными затруднениями. Дополнительно использование атрибутов `inputmode` и `pattern` помогает направлять пользователя к нужному формату данных, не превращая процесс ввода в серию проб и ошибок.

Неотъемлемой частью доступного ввода становится ARIA атрибуты, обеспечивающие связь полей с подсказками и сообщениями об ошибках. Атрибут `aria-describedby` позволяет ассоциировать поле ввода с элементами, содержащими пояснения или результаты валидации, благодаря чему экранный диктор передаёт пользователю не только название поля, но и контекстные инструкции. Атрибут `aria-invalid` отражает текущее состояние корректности введённых данных, а применение ролей и живых регионов, таких как `role=>alert`, обеспечивает своевременное донесение до пользователя динамически появляющихся сообщений. В совокупности это исключает ситуацию, когда форма отвергает ввод, а не-зрячий пользователь не получает объяснения причин.

Важным аспектом остаётся скординированность семантической разметки и визуального представления, задаваемого каскадными таблицами стилей [4]. Состояние элементов форм, выраженное через такие атрибуты, как `required`, `disabled`, `aria-invalid` или `aria-describedby`, должно находить отражение не только в логике работы экранных дикторов, но и в визуальной обратной связи: изменении

границ, цвета, фокуса [3]. Такой комплексный подход позволяет рассматривать адаптацию ввода текста как системную задачу, где HTML теги и атрибуты задают понятную структуру и смысл для вспомогательных технологий, а CSS усиливает эта строение за счёт наглядных и консистентных визуальных индикаций, формируя по настоящему инклюзивный веб интерфейс [3].

Кроме того, при разработке форм важно помнить о том, что разработка доступных форм на веб-сайтах представляет собой не только актуальную задачу в контексте существующих законодательных норм и этических стандартов, но и ключевой элемент, способствующий инклюзивности и социальному равенству. Актуальность данной темы определяется необходимостью устранения барьеров, с которыми сталкиваются люди с ограниченными возможностями, что, в свою очередь, способно существенно повысить уровень их участия в цифровом обществе.

Важно отметить, что реализация принципов доступности на этапе проектирования и разработки форм имеет долговременные последствия для формирования инклюзивной цифровой среды.

Таким образом, интеграция принципов доступности в процесс разработки веб-форм становится обязательным условием для создания эффективных и комфортных цифровых решений, способствующих социальной интеграции и равноправию. Это подчеркивает необходимость комплексного подхода и активного сотрудничества всех заинтересованных сторон, включая разработчиков, дизайнеров, пользователей и представителей сообществ людей с ограниченными возможностями, в целях создания устойчивых и доступных киберпространств для всех.

**Заключение.** Разработка доступных форм на веб-сайтах представляет собой не только актуальную задачу в контексте существующих законодательных норм и этических стандартов, но и ключевой элемент, способствующий инклюзивности и социальному равенству. Актуальность данной темы определяется необходимостью устранения барьеров, с которыми сталкиваются люди с ограниченными возможностями, что, в свою очередь, способно существенно повысить уровень их участия в цифровом обществе.

Важно отметить, что реализация принципов доступности на этапе проектирования и разработки форм имеет долговременные последствия для формирования инклюзивной цифровой среды.

Таким образом, интеграция принципов доступности в процесс разработки веб-форм становится обязательным условием для создания эффективных и комфортных цифровых решений, способствующих социальной интеграции и равноправию. Это подчеркивает необходимость комплексного подхода и активного сотрудничества всех заинтересованных сторон, включая разработчиков, дизайнеров, пользователей и представителей сообществ людей с ограниченными возможностями, в целях создания устойчивых и доступных киберпространств для всех.

#### **Список использованных источников**

1. Elfsight [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elfsight.com/ru/blog/website-accessibility-statistics/> – Дата доступа: 05.12.2025.
2. Исследовательский центр «Эксперт» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nko-expert.ru/article/kak-sdelat-sajt-dostupnyim-dlya-slabovidyashchix-i-nezryachix-lyudej.html> – Дата доступа: 05.12.2025.
3. WIM [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://wim.agency/blog/article89-kak-verstal-shchiku-adaptirovat-sajt-dlya-lyudej-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami/> – Дата доступа: 05.12.2025.
4. LogRocket [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://blog.logrocket.com/design-accessibility-css-visually-hidden-class/> – Дата доступа: 05.12.2025.

УДК 676.264

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛИЦЕРИНА В КАЧЕСТВЕ ПЛАСТИФИКАТОРА В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ БУМАЖНЫХ ПЛЕНОК**

*Потис П. М., магистрант*

*Линкевич А. Д., студ.*

*Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Герман Н. А.  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)*

В настоящее время на рынке представлено большое количество декоративных бумажных пленок (ДБП) различных производителей, при этом одни и те же виды ДБП нередко встречаются у разных поставщиков. Однако на этапе ламинирования древесно-стружечных плит (ДСП) идентичный по внешнему виду декор может проявлять себя по-разному: в одних случае наблюдается выраженный брак поверхности, в других формируется качественное покрытие без видимых дефектов.

Цель работы – исследовать применение различных пластификаторов в пропиточном составе; обосновать выбор пластификатора

для повышения эксплуатационных характеристик ламинированных древесно-стружечных плит (ЛДСП) и разработать рецептуру пропиточного состава для технологии получения ДБП.

Пластификаторы – вещества, вводимые в полимерные материалы для придания (или повышения) эластичности и (или) пластичности при переработке и эксплуатации [1]. Их основная функция заключается в пластификации смол и других полимеров в производстве искусственных кож, резино-технических изделий, полимерных строительных материалов, линолеумов, пленочных и листовых материалов, упаковочных пленок [2].

Применение пластификаторов позволяет получить ДБП с заданным уровнем гибкости и адгезии, что снижает вероятность появления дефектов поверхности и повышает эксплуатационную надежность ЛДСП.

В качестве пластификаторов в рецептурах пропиточных составов в технологии получения ДБП могут использоваться:

- триэтаноламин (используется как эмульгатор);
- изобутиловый спирт (помогает получить пленку без «рыбьего глаза»);
- диэтиленгликоль (повышает прочность на разрыв бумаги) [3];
- олеиновая кислота (придает эластичность пленке, снижает ее хрупкость). Олеиновая кислота нестабильна, поэтому необходим строгий контроль дозировки в пропитывающую смесь;
- глицерин (улучшает растекание смолы по поверхности пленки).

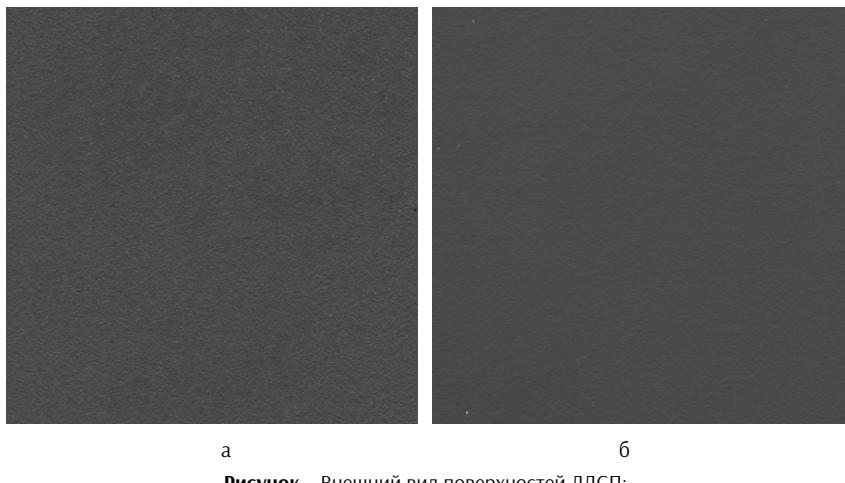
В условиях ОАО «Ивацевичдрев» были испытаны все приведенные выше пластификаторы. Лучшие результаты показал глицерин. Выбор обоснован его способностью повышать равномерность пропитки бумаги, а также кромочную целостность декоративной пленки, снижая склонность покрытия к скальванию и образованию трещин при механической обработке ЛДСП. В таблице представлены рецептуры пропиточных составов.

**Таблица – Пропиточные составы для получения декоративных бумажных пленок**

Рецептура без глицерина		Рецептура с глицерином	
Ванна		Верхний и нижний растиры	
Смола КФ, кг	200,00	Смола МФ, кг	200,00
Вода, кг	32,00	Вода 1	35,00

Рецептура без глицерина				Рецептура с глицерином			
Ванна		Верхний и нижний раstry		Ванна		Верхний и нижний раstry	
Отвер-дитель HM1448, кг	0,50	Отвердитель HM1030, кг	1,75	Отвер-дитель HM1448, кг	0,23	Отвер-дитель HM1030, кг	2,60
Смачива-тель Alton WLF-15, кг	0,40	Антистатик ES700, кг	0,35	Смачива-тель WLF-15, кг	0,60	Антистатик ES700, кг	0,35
–				Глицерин, кг	6,00	Глицерин, кг	6,00

Полученные ДБП использовали для ламинирования древесно-стружечных плит общего назначения. Полученные результаты поверхности приведены на рисунке.



**Рисунок – Внешний вид поверхностей ЛДСП:**

- а – поверхность ЛДСП (пропитка без глицерина);
- б – поверхность ЛДСП (пропитка с глицерином)

На изображении (рисунок, а) наблюдается белесость поверхности, что является дефектом для ЛДСП. На изображении (рисунок, б) видно, что данного дефекта удалось избежать за счет наличия в пропиточном составе глицерина. Следует отметить, что по физико-механическим свойствам полученные ЛДСП соответствуют требованиям ГОСТ 32289-2013 [4], а также зафиксировано некоторое снижение доли свободного формальдегида в облицованных ЛДСП,

что, безусловно, является положительным эффектом с точки зрения экологической безопасности.

Применение такого пластификатора, как глицерин, позволяет существенно улучшить растекание смолы по поверхности ДБП, обеспечивая формирование более однородного и плотного покрытия, что способствует снижению внутренних напряжений и предотвращает появление поверхностных дефектов.

#### **Список использованных источников**

1. Барштейн Р. С., Кирилович В. И., Носовский Ю. Е. Пластификаторы для полимеров. – М.: Химия, 1982. – 200 с.
2. Пластификаторы. Технические условия: ГОСТ 8728-88. – Введ. 01.01.1990. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1990. – 12 с.
3. Ping Lan, Rui Yang, Hai Mao, Ju Cui, Nicolas Brosse. Production of Melamine Formaldehyde Resins Used in Impregnation by Incorporation of Ethylene Glycol and Caprolactam with High Flexibility, Storage Stability, and Low Formaldehyde Content. Bioressource, 2019. – 13 p.
4. Плиты древесно-стружечные, облицованные пленками на основе термореактивных полимеров. Технические условия: ГОСТ 32289-2013. Введ. 01.07.2014. Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: ФГУП «ВНИЦСМВ», 2014 – 23 с.

УДК 628.196

## **ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ**

*Пропольский Д. Э.<sup>1</sup>, Колобако А. А.<sup>2</sup>, Комаров М. А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> старший преподаватель, <sup>2</sup> ассистент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Белорусский национальный технический университет, Минск;

<sup>3</sup> специалист 2-й категории Республиканского научно-практического центра нефтехимических технологий и производств, Белорусский государственный технологический университет, Минск

**Введение.** Для получения питьевой воды надлежащего качества перспективным является использования системы фильтров из модифицированных фильтрующих материалов [1]. Модификация может осуществляться с помощью одной из разновидностей обработки исходного материала: химической, термической или физико-химической. Перспективным является использование метода экзотермического горения в растворах [2]. В результате модификаций улучшаются параметры исходного материала, а использование для данных целей

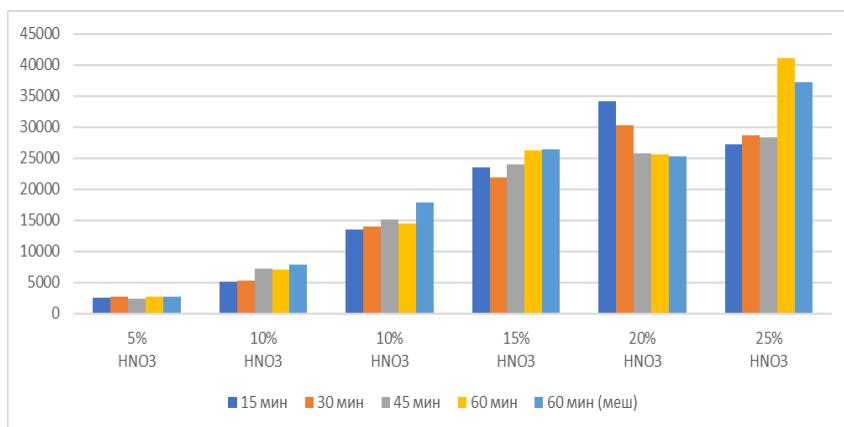
отходов производств приводит к снижению затрат станций водоподготовки подземных вод и улучшению состояния окружающей среды. В данном исследовании рассмотрены процессы выщелачивания нитрата железа из осадков станции обезжелезивания подземных вод [3] для получения раствора прекурсора (нитрата железа).

**Методология.** Выщелачивание нитрата железа III ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ) осуществлялось из осадков [4, 5] станции обезжелезивания подземных вод при помощи раствора азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) с концентрациями в пределах 5–25%. Более высокие концентрации не рассматривались ввиду замедления процесса выщелачивания и ограниченности растворения нитрата железа. Время обработки раствором составляло от 5 до 60 минут с перемешиванием каждые 5 минут. Также дополнительно были подготовлены образцы с постоянным перемешиванием в течение 60 минут с помощью механической мешалки. Отделение продукта выщелачивания из раствора осуществлялось с помощью вакуумной фильтрации. После полученный осадок промывался дистиллированной водой до нейтрализации рН. Определение общей концентрации железа в растворе осуществлялось с помощью спектрофотометра.

**Результаты эксперимента.** Эксперимент показал, что с ростом времени обработки увеличивается и эффективность выщелачивания. Изменение окраски раствора (от прозрачного с лёгким жёлтым окрашиванием до тёмно-коричневого) также свидетельствовало о высоком уровне выщелачивания. После длительного отстаивания раствора (около 2 недель) выпадание осадка не наблюдалось. При концентрациях кислоты более 15% и времени обработки более 45 минут наблюдалось пенообразование на поверхности раствора. Последующее увеличение концентраций приводили к более активному пенообразованию, что также затрудняла последующую фильтрацию раствора и увеличивало количество необходимых промывок продукта выщелачивания.

Результаты спектрофотометра (рисунок 1) показали, что несмотря на неоднородность содержания железа в исходном осадке, наблюдался рост эффективности выщелачивания при увеличении концентрации раствора азотной кислоты. Так при времени обработки раствором кислоты 15 мин концентрация железа общего в растворе после выщелачивания варьировалась в диапазоне 2500–34 160 мг/л в зависимость от концентрации кислоты. При этом при концентра-

ции азотной кислоты выше 20% значения железа общего начало падать. Аналогичная ситуация наблюдалась при времени обработки 30 мин (концентрация раствора при этом находились в диапазоне 2670–30 320 мг/л). Последующее увеличение времени обработки показывало стабильный рост концентрации железа общего в итоговом растворе: при 45 мин – от 2400 до 28 350 мг/л, при 60 мин – от 2750 до 41 150 мг/л, 60 мин (с постоянным перемешиванием магнитной мешалкой) – от 2690 до 37 260 мг/л. При этом сравнение образцов 60 мин с периодическим и постоянным перемешиванием не показало значительной разницы в концентрациях железа общего.



**Рисунок 1** – Результаты анализа спектрофотометра

Также исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что оптимальное время выщелачивания составляет 60 мин. При таком времени обработки оптимальная концентрация азотной кислоты составит 15%. При 20% уже наблюдалось незначительное падение (на 3%) концентрации железа общего. Несмотря на значительный рост содержания железа общего при 25% и времени обработки 60 мин использование такой концентрации будет приводить к перерасходу азотной кислоты.

**Заключение.** Таким образом выщелачивание отходов станций обезжелезивания позволяет обеспечить один из способов утилизации осадков. Кроме того, такой способ позволит получать растворы нитрата железа необходимой концентрации. В последующем данные растворы могут применяться для нанесения покрытий мо-

дифицированных фильтрующих материалов для целей обезжелезивания подземных вод.

#### Список использованных источников

1. Propolsky, D. Iron and Manganese Removal from Groundwater: Comprehensive Review of Filter Media Performance and Pathways to Polyfunctional Applications/ D. Propolsky, V. Romanovski // Environmental Science: Water Research & Technology. – 2025.
2. Propolsky, D. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, E. Romanovskaya, W. Kwapinski, V. Romanovski // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996. IF 6.2 Q1 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108996>
3. Prapolski D., Romanovski V. (2025) Resent advances in underground water deironing and demanganization: comprehensive review. Journal of Water Process Engineering. 70. 107089. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107089>.
4. Beletskii E. V. et al. Fall and Rise: Disentangling Cycle Life Trends in Atmospheric Plasma-Synthesized FeOOH/PANI Composite for Conversion Anodes in Lithium-Ion Batteries // ChemEngineering. – 2024. – T. 8, №. 1. – P. 24.
5. Liu C. et al. Effect of phosphogypsum flotation purification on anhydrite properties // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2025. – P. 1-16.

УДК 62-213:681.7-1/-9:691.175:681.625.9:778.64

## ПОЛИМЕРНЫЕ ДЕТАЛИ КОРПУСОВ ЛАЗЕРНЫХ ГОЛОВОК И МЕТОДИКА ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*П. А. Пьяе*

аспирант

Рассматривается разработка полимерных деталей корпуса лазерной головки (ЛГ) с использованием аддитивных технологий, в частности SLS-технологии. Применение 3D-печати позволяет изготавливать полимерные детали сложной конструкции, сохраняя собираемость и ремонтопригодность изделия. Замена алюминиевого сплава на пластик снижает материалоёмкость корпуса ЛГ. Дополнительное снижение массы достигается введением выборок и рёбер жёсткости. Анализ деталей, спроектированных в CAD/CAM-системе SolidWorks, с использованием встроенной в эту систему CAE-модуля показал, что модификация конструкции не снижает прочность и жёсткость корпуса и не вызывает недопустимых отклонений лазерного луча. На основе изучения изготовленных прототипов и устранения выявленных конструктивных недостатков разработана методика проектирования полимерных деталей корпусов лазерных головок с сохранением оптической схемы. Потенциально лазерные головки с полимерными корпусами могут быть интегрированы в состав металлообрабатывающих центров или являться инструментальным оснащением коллaborативных роботов (коботов) для проведения лазерной обработки заготовок высокопроизводительным маркированием и гравированием.

**Ключевые слова:** Методика, модификация, конструкция, полимерные детали, корпус, лазерная головка, 3D-принтер, технология SLS (Selective Laser Sintering), собираемость, ремонтопригодность, металлообработка, обрабатывающий центр, коллаборативный робот, лазерная обработка, маркирование, гравирование.

**Введение.** С учетом современных темпов развития производства и расширения номенклатуры изделий, промышленные предприятия активно заменяют устаревшее оборудование на высокопроизводительные обрабатывающие центры (ОЦ) с ЧПУ для обеспечения конкурентоспособности изготавливаемой продукции. Наряду с этим в контексте автоматизации производственных процессов особую актуальность приобретает применение в них колаборативных роботов (коботов), оснащенных современными исполнительными механизмами. Параллельно с этим развиваются технологии лазерной обработки, требующие специализированного оборудования. В то же время применение полимерных материалов открывает новые возможности для создания легких, компактных и функциональных конструкций пластиковых корпусов ЛГ, которыми можно оснащать ОЦ и коботы для проведения лазерной обработки заготовок высокопроизводительным маркированием и гравированием [1–7].

Исследования подтвердили возможность изготовления деталей корпуса ЛГ из полиамида PA 12 методом SLS на 3D-принтере [8, 9]. Аддитивные технологии позволяют создавать сложные конструкции, сокращая количество деталей корпусов ЛГ и обеспечивая их компактность. Современное аддитивное оборудование даёт возможность изготавливать модифицированные полимерные корпусные детали для различных волоконных лазерных установок, сохраняя собираемость и ремонтопригодность их ЛГ.

**Основная часть.** Для оснащения коботов лазерными головками или их внедрения в состав ОЦ решалась задача снижения материоёмкости их корпусных деталей путём замены металла на пластик и модификации конструкции этих деталей с учетом возможностей аддитивного производства при условии обеспечения компактности ЛГ и сохранения её собираемости, ремонтопригодности и работоспособности ЛГ.

Кроме того, имеется следующая специфика лазерной обработки с использованием коботов, влияющая на форм-фактор ЛГ.

1. Необходима консольная установка ЛГ на коботах, имеющих маломощные приводы, что предъявляет требования к компактности и малой массе ЛГ для их точного позиционирования.

2. Эргономика требует обтекаемой формы корпуса ЛГ при её перемещении в ограниченном пространстве.

Таким образом, требуемый форм-фактор (компактность, обтекаемость, малая масса) корпусных деталей ЛГ достигается заменой металла на полимер и адаптацией их конструкции под возможности аддитивных технологий с сохранением её функциональности.

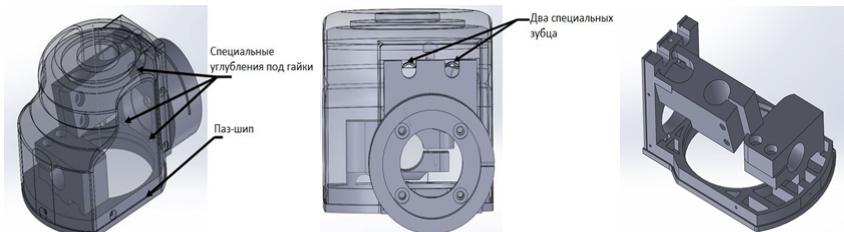
В ходе выполнения исследовательских работ была проведена модификация конструкции деталей корпусов ЛГ для лазерных установок «ТурбоМаркер» и «МиниМаркер 2» [8-10]. Они были изготовлены из полиамида PA 12 методом SLS. Выполнен анализ собираемости, выявлены конструктивные недостатки и определены способы их устранения. Прочность конструкции исследована методами инженерного анализа. Полученные результаты позволили разработать методику проектирования полимерных деталей корпусов ЛГ.

Анализ корпуса ЛГ установки «ТурбоМаркер» показал возможность вынесения отдельных узлов за пределы корпуса при замене металла на пластик. Это позволило уменьшить размеры корпуса и снизить материалоёмкость. Модификация нижней, задней и верхней стенок с кожухом привела к объединению четырёх простых деталей в два сложных полукорпуса. Вынос управляющей платы сократил габариты по высоте и ширине. Изменена конструкция опор сканаторов для крепления шпильками вместо винтов, предложены пластиковые выводы кабелей в задней стенке нижнего полукорпуса. В результате для установки «ТурбоМаркер» размеры корпуса ЛГ сократились по ширине и высоте со 133 мм до 113 мм и 110 мм соответственно, количество деталей уменьшилось до четырёх [8, 9].

Анализ ЛГ установки «МиниМаркер 2» также выявил возможность вынесения управляющих плат сканаторов. Установлено, что габариты сканаторов определяют потенциал сокращения размеров корпуса. Модификация конструкции уменьшила габариты корпуса ЛГ, обеспечив компактность, собираемость и ремонтопригодность. При этом все три размера ( $Ш \times В \times Г$ ) сократились со  $133 \times 133 \times 143$  мм до  $94 \times 100 \times 133$  мм [10]. Дополнительно изменена конструкция хомутов крепления сканаторов с их объединением в единую конструкцию с нижним полукорпусом, что сократило количество деталей до двух и повысило жёсткость нижнего полукорпуса. Для проверки собираемости корпуса ЛГ установки «МиниМаркер 2» и выявления конструктивных недостатков детали изготовлены на 3D-принтере с последующей постобработкой.

При сборке корпуса ЛГ для установки «МиниМаркер 2» выявлены следующие недостатки: 1) тонкие стенки верхнего полукорпуса неплотно прилегали к нижнему по периметру, поэтому образующиеся щели допускают проникновение пыли и влаги, что негативно влияет на работу сканаторов, зеркал, объектива и передачу лазерного луча; 2) резьбы под крепление полукорпусов и хомута срывались при затяжке стальных винтов; 3) ручное нарезание резьбы M14 в отверстиях требовало закрепления предварительно собранного корпуса в тисках, что невыполнимо на станке с ЧПУ.

Для их устранения внесены следующие изменения (см. рисунок 1): 1) введено соединение полукорпусов по периметру типа «паз-шип»; 2) резьбовые отверстия заменены гладкими большего диаметра с углублениями под гайки, предотвращающими их проворачивание, а гайки зафиксированы силиконовым герметиком; 3) вместо резьбовых отверстий в верхнем полукорпусе введены два зубца, входящие в пазы нижнего, образуя сквозные отверстия для вывода и поджима кабелей сканаторов к внешним управляемым платам [11]. Кроме того, на основе опыта проектирования корпуса для установки «ТурбоМаркер» и его инженерного анализа в САЕ-модуле системы SolidWorks в нижнюю стенку полукорпуса ЛГ для установки «МиниМаркер 2» введены выборки и рёбра жёсткости для снижения расхода материала (см. там же).



**Рисунок 1 – Результаты проектирования с учетом устранения выявленных недостатков корпуса ЛГ лазерной установки «МиниМаркер 2»**

Материалоёмкость корпуса с выборками и рёбрами жёсткости снизилась в 5,5 раза, а без них – в 5,1 раз. Условием снижения материалоёмкости и модификации конструкции является сохранение прочности и жёсткости корпуса, поскольку их значительное снижение может вызвать недопустимое отклонение лазерного луча от вертикали и нарушить функционирование ЛГ. Поэтому в САЕ-модуле

системы SolidWorks был проведён сравнительный анализ прочности и жёсткости корпуса, а полная сборка опытного образца ЛГ и его монтаж в установку показали, что оптическая система не нарушена, юстировка проведена без проблем – установка готова к эксплуатации.

На основе спроектированных вариантов корпусов, выявленных недостатков и способов их устранения при условии сохранения оптической схемы разработана состоящая из 7 этапов методика проектирования деталей корпусов ЛГ для их аддитивного производства, обеспечивающих компактность ЛГ [11].

*Этап 1.* Определить компоненты ЛГ для выноса за пределы корпуса (обычно платы управления сканаторами) с целью уменьшения габаритов. Предусмотреть ввод кабелей через пазы или кабельные вводы с фиксацией зубцами или гайками.

*Этап 2.* Определить детали корпуса для объединения, создавая комбинированные элементы, устранивая винтовые соединения и повышая жёсткость. Учитывать габариты сканаторов для сохранения оптической схемы. Оптимально создать два полукорпуса.

*Этап 3.* Определить способ крепления внутренних деталей. Заменить винтовое крепление в глухие отверстия на ступенчатые винты со сквозными отверстиями, шайбами и гайками. Ввести выборки и рёбра жёсткости.

*Этап 4.* Определить положение вертикальной плоскости разъёма полукорпусов для обеспечения герметичности. Сопряжение типа «паз-шип»: шипы в верхнем, пазы в нижнем полукорпусе. Крепление саморезами 3...3,5 мм или винтами с гайками в гнёздах, зафиксированных герметиком.

*Этап 5.* Определить места для выборок и рёбер жёсткости на внутренней стороне полукорпусов. Выполнить корректировку конструкции.

*Этап 6.* Зарезервировать место на верхней стенке для крепления инструментального конуса.

*Этап 7.* Провести исследование прочности в САЕ-системе (например, SolidWorks) при гравитационном, температурном и вибрационном воздействии для консольного или подвешенного крепления ЛГ.

**Заключение.** Таким образом, модификация конструкции и замена материала корпуса ЛГ с алюминиевого сплава Д16 на полиамид РА 12 позволяют создать компактную и лёгкую лазерную головку, сохраняя собираемость и ремонтопригодность. Полимер-

ные детали корпуса ЛГ изготавливаются на аддитивном оборудовании с минимальной постобработкой. Проводятся испытания ЛГ в составе маркировщика «МиниМаркер 2» для проверки её функциональности. Запланировано изучение влияния лазерного излучения различного диапазона длин волн на механическую прочность полимерных деталей корпуса ЛГ и её работоспособность.

### Список использованных источников

1. Петкова А. П., Ганзуленко О. Ю. Технологические аспекты маркировки изделий машиностроения прецизионным импульсным лазером // Современное машиностроение. Наука и образование: Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. М. М. Радкевича и А. Н. Евграфова. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. С. 1177–1187.
2. Vasilev O. S., Ruzankina J. S. Laser forming micro geometric structures on the surface of roller rolling mill. Journal of Physics: Conference Series 2016. Vol. 1, N 735. DOI: 10.1088/1742-6596/735/1/012046.
3. Mohd Noor Firdaus Bin Haron, Fadlur Rahman Bin Mohd Romlay. Parametric study of laser engraving process of AISI 304 Stainless Steel by utilizing fiber laser system // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 1, N 469. DOI: 10.1088/1757-899X/469/1/012124.
4. Васильев О. С., Горный С. Г. Технология создания поверхностных микроструктур на листовых материалах с использованием волоконного лазера// Металлообработка. 2016. №3 (93). С. 20–25.
5. Nikolaev A. D., Pyyae P. A., Pompeev K. P., Vasильев О. С. Модернизация обрабатывающих центров посредством интеграции в их состав лазерных систем // Современное машиностроение: Наука и образование: Материалы 7-й Междунар. науч.-практ. Конф. / Под ред. А. Н. Евграфова и А. А. Поповича. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. С. 506–515. DOI: 10.1872/MMF-2018-43.
6. Nikolaev A. D., Pyae P. A., Pompeev K. P., Vasilev O. S. Laser processing systems in machines with numerical control. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2019. Vol. 1, N 378. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012066.
7. Nikolaev A. D., Pompeev K. P., Pyyae P. A., Vasильев О. С., Горный С. Г. Внедрение систем лазерной обработки в состав многооперационных обрабатывающих центров // Металлообработка. 2019. Т. 113, №5. С. 26–33. DOI: 10.25960/mo.2019.5.26.
8. Pyyae P. A., Pompeev K. P., Nikolaev A. D., Vasильев О. С., Горный С. Г. Модернизация конструкции корпуса лазерной головки с учетом возможностей аддитивного оборудования // Изв. вузов. Приборостроение – 2022. – Т. 65. – № 1. – С. 49–57. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-1-49-57.
9. Pompeev K. P., Pyae P., Vasilev O., Gorny S. Analysis, topology modification and modeling of the laser head casing taking into account the capabilities of additive equipment // Journal of Physics: Conference Series – 2021, Vol. 1753, No. 1, pp. 012037. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012037.
10. Васильев О. С., Вейко В. П., Горный С. Г., Рузанкина Ю. С. Лазерная установка для микроструктурирования поверхности металла с использованием волоконного лазера // Оптический журнал. 2015. Т. 82, №12. С. 70–77. DOI: 10.1364/JOT.82.000831.
11. Пыяе П. А., Помпеев К. П. Анализ конструкции и методика проектирования полимерных деталей корпусов лазерных головок // Известия высших учебных заведений. Приборостроение – 2025. – Т. 68. – № 7. – С. 633–642. doi: 10.17586/0021-3454-2025-68-7-633-642

## МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УТИЛИЗИРУЕМОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ПО КРИТЕРИЮ ЭКОЛОГИЧНОСТИ

*M. E. Семерикова<sup>1</sup>, T. B. Наумова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> аспирант кафедры Безопасности полетов и жизнедеятельности  
МГТУ ГА, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> научный руководитель, д.филос.н., доцент, профессор кафедры  
Безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, г. Москва, Россия

**Введение.** С увеличением объемов устаревшей авиационной техники (АТ) возрастает потребность в комплексных систематизированных подходах к её разукомплектованию и утилизации. В России пока отсутствует упорядоченный и нормативно закрепленный алгоритм действий, а существующие подходы ориентированы преимущественно на экономические критерии и не позволяют учесть многоаспектный характер утилизационных процедур летательных аппаратов. Недостаточная проработка методических основ таких процедур способствует расточительному использованию ресурсов, загрязнению окружающей среды и росту экологических рисков [1, 2].

В данной работе представлена авторская методика, позволяющая обоснованно принимать решения на этапе планирования мероприятий по обращению с авиационной техникой с истекшим сроком службы (АТ с ИСС). Формализация подходов к выбору оптимальных решений основана на вычислении интегрального показателя – целевой функции результативности, отражающей совокупное влияние технических, экономических и экологических факторов на результативность утилизации.

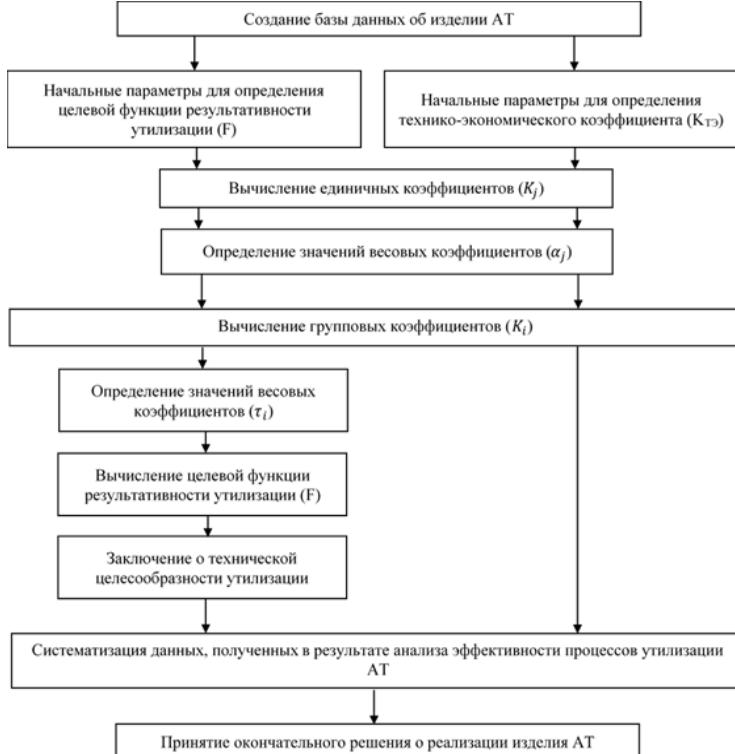
**Основная часть.** Методика утилизации авиационной техники включает следующие основные этапы:

- Формирование базы данных об изделии АТ, включающей технические, эксплуатационные и экономические параметры.
- Определение начальных параметров для вычисления целевой функции  $F$  и технико-экономического коэффициента  $K_{\text{TE}}$  для оценки рентабельности процесса.
- Расчет единичных коэффициентов  $K_j$  и определение их весовых значений  $\alpha_j$  на основе экспертных оценок.
- Вычисление групповых коэффициентов  $K_i$  с учётом весовых коэффициентов  $\tau_i$ .

- Формирование целевой функции  $F$  и вынесение заключения о технической целесообразности утилизации.

- Систематизация данных, полученных в результате анализа.
- Принятие окончательного решения о реализации изделия.

Структурная схема методики представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структурная схема методики утилизации AT**

Целевая функция представляет собой взвешенную сумму показателей: коэффициента сохраняемости технических характеристик, коэффициента технологичности, коэффициента материоемкости, коэффициента безопасности и коэффициента экологичности.

Абсолютная величина комплексного критерия эффективности утилизации, отражающего свойства исследуемого изделия, вычисляется посредством формулы расчета взвешенного арифметического среднего (интегрального показателя утилизируемости –  $F$ ):

$$F = \sum_{i=1}^n \tau_i K_i, \quad (1)$$

где  $K_i$  – итоговое значение  $i$ -го группового показателя оценки технического изделия;

$\tau_i$  – коэффициенты значимости соответствующих групповых показателей  $K_i$ , которые определяются методом экспертной оценки.

При этом, коэффициенты значимости должны удовлетворять условию:

$$\sum_{i=1}^n \tau_i = 1 \quad (2)$$

При вычислении целевой функции учитываются коэффициенты, специфические для авиационного транспорта, существенно влияющие на итоговый результат.

Наиболее значимым аспектом целевой функции является ее экологическая составляющая. Например, при расчете групповых показателей коэффициент технологичности (КТ) учитывает вариативность технологических процедур разукомплектования техники с возможностью выбора наиболее экологичных практик. Коэффициент материалоемкости (КМ) учитывает особенность формирования отходов, вторсырья, извлечение драгоценных материалов, электронных компонентов и проч. Коэффициент безопасности (КБ) учитывает токсичность компонентов летательного аппарата для человека и окружающей среды. Коэффициент экологичности (КЭ) учитывает комплексное, территориально адаптированное влияние на окружающую среду химических и физических факторов при обращении с АТ с ИСС. Помимо своей отраслевой уникальности предложенная методика содержит коэффициент локальной экологической ситуации географического места утилизации (К\_L), учитывающий экологические особенности территории экономических районов Российской Федерации, в пределах которых располагаются или будут располагаться в перспективе предприятия по утилизации АТ.

Интегральный показатель результативности  $F$  применяется для разработки рекомендаций по обоснованию утилизации и сравнительного анализа ее эффективности. Для оценки эффективности проводится анализ процесса утилизации с использованием критериев из таблицы 1, уже апробированные при утилизации транспортных средств в других отраслях [3].

**Таблица 1** – Критерии оценки эффективности утилизации

Величины, характеризующие показатель результативности утилизации ( $F$ )	Заключение о целесообразности утилизации
$F > 1$	Целесообразно
$0 < F \leq 1$	Потребность в утилизации возрастет $F \rightarrow 1$
$F \rightarrow 0$	Утилизация осуществляется при наличии соответствующих ресурсов
$F < 0$	Нецелесообразно

Отрицательное значение функции ( $F$ ) возможно в случае, если хотя бы один из составляющих коэффициентов принимает отрицательное значение, превышающее по модулю вклад других компонентов.

Сопоставление значений целевой функции с технико-экономическим коэффициентом позволяет оценить рациональность утилизации с позиций не только технической, но и экономической целесообразности.

**Заключение.** Разработанная методика предлагает системный подход к оценке утилизации авиационной техники, интегрирующий техническую, экономическую, но главным образом, экологическую составляющую. Она учитывает степень автоматизации, стандартизации и возможность разборки изделия, сокращение затрат на утилизацию и получение прибыли от повторного использования компонентов, а также минимизацию негативного воздействия на окружающую среду, снижение углеродного следа [4]. Интегральный показатель позволяет оценивать целесообразность утилизации и сравнивать эффективность различных стратегий обращения с выведенной из эксплуатации АТ, что служит основой для стратегического планирования. Внедрение методики будет стимулировать эксплуатантов АТ участвовать в реализации национального проекта России «Экологическое благополучие», способствовать минимизации экологических рисков, рациональному использованию ресурсов, повышению экономической эффективности переработки и формированию устойчивых стратегий управления отходами в авиационной отрасли.

#### Список использованных источников

1. Семерикова, М. Е. Утилизация транспортных средств: российские реалии и зарубежный опыт / М. Е. Семерикова, Т. В. Наумова // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2025. – Т. 28, № 3. – С. 63-80. – DOI 10.26467/2079-0619-2025-28-3-63-80.

2. Семерикова М. Е., Наумова Т. В. Концептуальная модель системы утилизации авиационной техники. В книге: Гражданская авиация: XXI век. Сборник материалов XVII Международной молодежной научной конференции, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной Войне, 90-летию Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева. В 2-х частях. Ульяновск, 2025. С. 182-183.

3. Лесконог, Ю. А. Обоснование системы показателей утилизации сельскохозяйственной техники: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лесконог Ю.А. – Москва, 2017. – 188 с. – EDN XNQCFN.

4. Кириченко, А. С. Перспективы и проблемы утилизации воздушного флота России / А. С. Кириченко, А. Н. Серегин // Молодой ученый. – 2016. – № 24 (128). – С. 76-81.

УДК 004.891.3

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ CNN-КЛАССИФИКАТОРА ГОЛОСОВЫХ КОМАНД К АКУСТИЧЕСКИМ ИСКАЖЕНИЯМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ

*Соколович М. Г.<sup>1</sup>, Гуменный Н. А.<sup>1</sup>, Махмудов А. К.<sup>1</sup>,  
Ларченко Н. А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> магистрант УО «БГУИР»; <sup>2</sup> студент УО «БГУИР»

**Введение.** Голосовые интерфейсы стали одним из ключевых направлений развития современных человеко-машинных систем: они используются в мобильных устройствах, умных колонках, автомобилях, робототехнике и системах помощи людям с ограниченными возможностями. Их эффективность напрямую зависит от способности корректно распознавать голосовые команды в условиях реального мира, где неизбежно присутствуют шумы, реверберация, изменения громкости и акцентные искажения. Большая часть современных систем распознавания команд опирается на сверточные нейронные сети (CNN), которые работают с временно-частотным представлением речевого сигнала. CNN обладают высокой способностью выделять локальные признаки и структурные паттерны мел-спектрограмм, что делает их особенно популярными для задач коротких команд, детекции ключевых слов (wake-word) и «он-девайс» аналитики. Вместе с тем устойчивость таких моделей к акустическим искажениям остаётся одним из наиболее важных и сложных аспектов. В научной литературе неоднократно отмечается, что даже умеренные искажения среды могут существенно ухудшать качество классификации [1].

Рассмотрим влияние типичных акустических искажений на структуру мел-спектрограмм, используемых в качестве входа для CNN, и теоретически оценить, почему эти искажения приводят к снижению устойчивости моделей.

**Основная часть.** В современных голосовых интерфейсах обработка аудиосигнала включает несколько этапов: захват звука, преобразование его в временно-частотное представление и классификацию полученного паттерна. Большинство систем используют мел-спектрограммы, поскольку они согласованы с особенностями восприятия частоты человеческим ухом и содержат информацию, достаточную для распознавания фонем и коротких устных команд.

На рисунке 1 можно представить пример мел-спектрограммы, где вертикальная ось отражает частоты, горизонтальная — время, а цветовая интенсивность соответствует уровню энергии в конкретной частотно-временной области.

Сверточные нейронные сети анализируют локальные фрагменты спектрограммы, выделяя устойчивые комбинации частотных характеристик. Конволюционные фильтры эффективно захватывают локальные структуры речевого спектра, что объясняет их популярность для голосового управления [2].

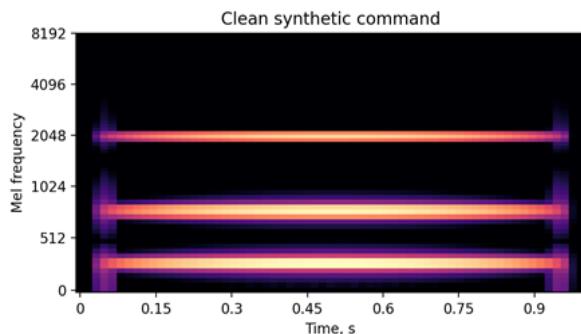


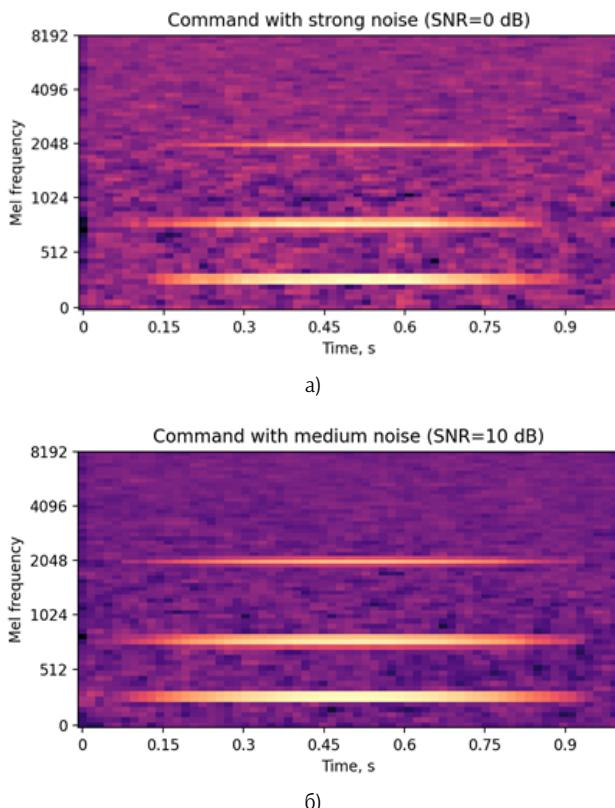
Рисунок 1 – Мел-спектрограмма чистой голосовой команды

Типичная архитектура CNN включает несколько каскадов свёрток, pooling-слоёв и завершается плотным классификатором. Однако такая архитектура чувствительна к изменениям структуры входных признаков — в отличие от модели, устойчивой к деформации, CNN часто ожидает, что паттерны будут близки к тем, на

которых она обучалась. Именно это делает влияние акустических искажений столь критичным.

Реальные условия записи речи сопровождаются множеством факторов, нарушающих структуру спектрограмм. К ним относятся аддитивный шум, реверберация помещения, изменение громкости, темпа речи, а также индивидуальные особенности микрофонов.

Аддитивный шум вносит высокочастотные и низкочастотные компоненты, не имеющие отношения к речевому сигналу. В спектрограмме это проявляется как общее повышение яркости фона, что снижает контрастность паттернов. На рисунке 2 можно показать, как шум «заливает» низкоэнергетические области, затрудняя обнаружение ключевых признаков.



**Рисунок 2** – Мел-спектрограмма с добавленным шумом различной интенсивности:  
а) Шум 0 dB; б) Шум 10 dB

Реверберация, возникающая при отражении звука от стен, вызывает горизонтальное «размазывание» паттернов. Это приводит к удлинению формантных участков, что снижает точность фильтров, обученных на коротких и чётких паттернах, реверберация в помещении смазывает временные и спектральные сигналы, необходимые для точного распознавания речи [3].

Изменение темпа и скорости речи приводит к растяжению или сжатию спектrogramмы по временной оси. CNN, фильтры которой были оптимизированы под определённую временную протяженность паттернов, теряет способность корректно интерпретировать модифицированные структуры.

Варьирование громкости влияет на энергетический баланс спектrogramмы. При слишком низкой громкости речевые элементы исчезают в шумовом фоне; при слишком высокой — динамический диапазон можетискажаться при логарифмическом масштабировании.

Хотя данная работа не включает проведение реальных экспериментов, влияние искажений можно наглядно продемонстрировать на примере моделирования. Для этого используются абстрактные матрицы, имитирующие мел-спектrogramмы, в которые добавляются математически сформированные шумы и преобразования.

Например, исходная матрица размером  $64 \times 128$  может содержать несколько «полос» повышенной энергии, соответствующих формантам речи. Добавление случайного шума приводит к снижению контраста, а свёртка с экспоненциальным ядром моделирует эффект реверберации, что можно продемонстрировать на рисунке 3.

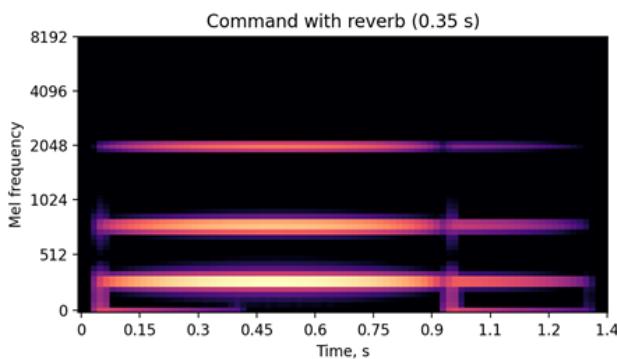


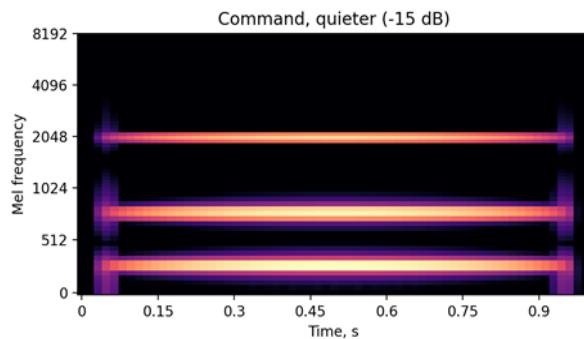
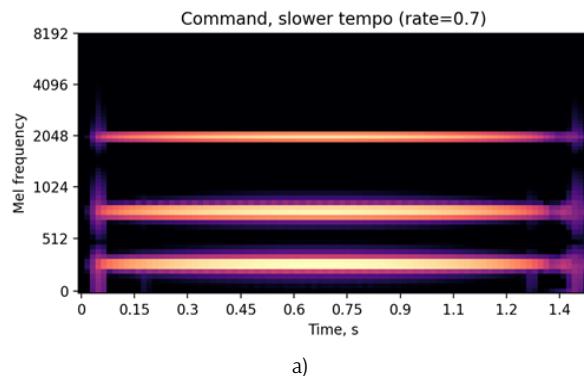
Рисунок 3 – Моделирование реверберации

Аналогично, интерполяционное сжатие или растяжение спектограммы по временной оси иллюстрирует влияние темпа речи, а простое масштабирование значений — влияние громкости, что проиллюстрировано на рисунке 4.

Эти демонстрации подтверждают ключевую идею: акустические искажения изменяют геометрию и структуру признаков, нарушая соответствие между обучающими и реальными данными, что и приводит к снижению устойчивости CNN [4].

На основе анализа литературных данных можно выделить несколько механизмов падения точности CNN под влиянием искажений:

1. снижение различимости локальных паттернов;
2. разрушение временной согласованности;
3. изменение масштаба признаков;
4. искажение динамического диапазона.



б)

**Рисунок 4** – Мел-спектрограмма аудиозаписи: а) замедленной; б) заглушённой

Среди инженерных методов выделяют также спектральную нормализацию, использование моделей шумоподавления и обучение CNN в гибридных архитектурах (CNN + Transformer), более устойчивых к временным деформациям.

**Заключение.** В результате проведённого анализа установлено, что устойчивость CNN-классификаторов голосовых команд тесно связана с сохранением структуры мел-спектrogramм, на основе которых сеть выделяет ключевые признаки. Акустические искажения — шум, реверберация, изменение темпа и громкости — существенно нарушают локальные паттерны спектrogramм, приводя к падению качества классификации.

Моделирование спектральных изменений позволяет наглядно продемонстрировать механизмы влияния искажений без проведения реальных экспериментов. Подобный подход сохраняет академическую корректность и даёт возможность объяснить природу ошибок в голосовых интерфейсах, не прибегая к подделке данных.

Практическое значение работы заключается в обосновании необходимости использования методов расширения обучающих данных, нормализации спектров и специализированных архитектур для повышения устойчивости моделей. Итоги исследования подчёркивают, что качество голосовых интерфейсов определяется не только мощностью нейросетевой модели, но и тем, насколько хорошо она адаптирована к реальным условиям.

#### Список использованных источников

1. Han, K., Zhang, Y., Wang, D. Speech enhancement based on deep neural networks. – IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. – 2016 – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1650/3/032163>. – Дата доступа: 01.12.2025.
2. Abdel-Hamid, O., Mohamed, A., Jiang, H. Convolutional neural networks for speech recognition. – ICASSP. – 2012, URL: <https://arxiv.org/abs/1804.03209>. – Дата доступа: 01.12.2025.
3. Hartmann, K. G., Baumann, T. Noise-robust features for speech command recognition. – Speech Communication. – 2019 – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24320849/>. – Дата доступа: 01.12.2025.
4. Warden, P. Speech commands: a dataset for limited-vocabulary speech recognition. – 2018 – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1804.03209/>. – Дата доступа: 01.12.2025.

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО  
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ  
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*Старостенков Я. Н.*

студент

*Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т. А.,  
энергетический факультет, Белорусский национальный  
технический университет*

Развитие распределённой энергетики в современном мире требует внедрения гибких и мобильных решений, способных обеспечить автономное энергоснабжение вне зависимости от централизованных сетей [1]. Особенно актуально это для сельских районов, удалённых территорий, а также для объектов временного характера – строительных площадок, аграрных комплексов, полевых лабораторий и аварийных служб. В условиях роста цен на ископаемое топливо и необходимости снижения выбросов парниковых газов такие установки становятся не только технически оправданными, но и социально значимыми.

Целью разработки является создание мобильной гибридной ветро-солнечной энергетической установки (ВСЭУ), которая сочетает экологичность, мобильность и экономическую эффективность. Основные задачи исследования включают разработку конструктивной схемы, подбор оптимальных компонентов, оценку экономической целесообразности и анализ перспектив применения в различных сферах [2].

Конструктивно установка выполнена в виде модульного комплекса, размещённого на прицепной платформе или в контейнере. В её состав входят вертикальный многолопастной ветрогенератор, складные поликристаллические солнечные панели, аккумуляторный блок на основе литий-железо-фосфатных батарей, а также инвертор, контроллер заряда и система управления [3]. Для повышения надёжности предусмотрено подключение резервного дизель-генератора, что гарантирует бесперебойную работу при длительном отсутствии солнца и ветра (рисунок 1).

Технические показатели установки включают мощность солнечных панелей 2 кВт, мощность ветрогенератора 1,5 кВт и ёмкость аккумуляторной батареи 7,5 кВт·ч. Срок службы солнечных пане-

лей и ветрогенератора составляет около 25 лет, а аккумуляторного блока – 15 лет. Установка может быть подключена к внешней сети, что расширяет её функциональные возможности.



Рисунок 1 – Модель мобильной ветро-солнечной энергетической установки

Ключевыми преимуществами мобильной ВСЭУ являются автономность, транспортируемость, энергетическая устойчивость, экологическая безопасность, финансовая целесообразность, универсальность применения и масштабируемость. Автономность позволяет использовать её в любом месте, где есть доступ к солнечному свету и ветру. Транспортируемость обеспечивается компактным исполнением на мобильной платформе. Энергетическая устойчивость достигается за счёт совмещения солнечной и ветровой генерации, что позволяет компенсировать колебания погодных условий [4, 5]. Экологическая безопасность выражается в отсутствии вредных выбросов и шумового загрязнения, что делает установку пригодной для размещения вблизи жилых территорий. Финансовая целесообразность проявляется в сокращении расходов на топливо и обслуживание, а срок окупаемости составляет 4–6 лет. Универсальность применения позволяет использовать установку в сельском хозяйстве, строительстве, аварийно-спасательных работах, экспедициях и на массовых мероприятиях. Масштабируемость обеспечивается модульной структурой, которая позволяет увеличивать мощность системы в зависимости от потребностей конкретного объекта.

Экономическая эффективность проекта определяется снижением затрат на топливо и обслуживание. При использовании стандартных методик расчёта, таких как NPV и IRR, установка демонстрирует положительные результаты. В условиях роста цен на энергоносители срок окупаемости сокращается, что делает проект привлекательным для инвесторов и государственных программ поддержки «зелёной энергетики».

Экологический эффект применения мобильных гибридных установок заключается в снижении выбросов парниковых газов, уменьшении зависимости от ископаемого топлива и улучшении экологической обстановки. Установка соответствует международным стандартам устойчивого развития и может быть использована вблизи жилых территорий без риска шумового загрязнения.

Перспективы внедрения подобных систем связаны с их применением в полевых метеостанциях и лабораториях, аграрных хозяйствах и тепличных комплексах [5], строительных объектах и временных лагерях, аварийно-спасательных операциях, экспедициях и массовых мероприятиях [6, 7]. Их мобильность позволяет оперативно реагировать на потребности в энергии в любой точке страны, включая труднодоступные районы. В перспективе такие установки могут стать частью национальной программы по развитию распределённой энергетики, обеспечивая энергетическую независимость регионов и устойчивость энергосистемы в целом.

Таким образом, разработка мобильной гибридной ветро-солнечной энергетической установки является актуальным направлением в области распределённой энергетики. Она сочетает экологичность, мобильность и экономическую эффективность, что делает её перспективной для широкого внедрения в различных сферах.

#### Список использованных источников

- Старostenков, Я. Н. Влияние условий окружающей среды на работоспособность солнечной панели = Influence of environmental conditions on solar panel performance / Я. Н. Старostenков ; науч. рук. Т. А. Петровская // Актуальные проблемы энергетики – 2024 : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская ; редкол.: Е. Г. Пономаренко (пред.), Н. Б. Карницкий, В. А. Седнин [и др.]. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 146–151. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/153366/146-151.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 03.11.2025).

- Петровская, Т. А. Повышение КПД солнечных панелей / Т. А. Петровская, Н. Н. Старostenков // Лучшие студенческие исследования : сборник статей XI Международного научно-исследовательского конкурса. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. – С. 31–35. – Режим доступа: <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2024/06/K-651.pdf#page=31> (дата обращения: 03.11.2025).

3. Старostenков, Я. Н. Расчёт экономической эффективности солнечной электростанции в агропромышленном комплексе / Я. Н. Старostenков // Актуальные проблемы энергетики : материалы 81-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, апрель 2025 г. – Минск : БНТУ, 2025. – С. 24–28. – Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/159136/Aktualnye\\_problemy\\_ehnergetiki\\_81.pdf?sequence=1#page=24](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/159136/Aktualnye_problemy_ehnergetiki_81.pdf?sequence=1#page=24) (дата обращения: 03.11.2025).
4. Петровская, Т. А. Общие тенденции развития солнечной энергетики / Т. А. Петровская, Я. Н. Старostenков // World Science: Problems and Innovations : сборник статей LXXX Международной научно-практической конференции. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. – С. 67–69. – Режим доступа: <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2024/08/MK-2109.pdf> (дата обращения: 03.11.2025).
5. Старostenков, Я. Н. Использование прозрачных солнечных панелей в сельскохозяйственных теплицах / Я. Н. Старostenков // Инженерные решения для АПК : материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 85-летию со дня рождения профессора А. М. Лопатина (1939–2007), 13 ноября 2024 года. – Рязань : Изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева, 2024. – С. 112–115. – Режим доступа: [https://rgatu.ru/archive/sborniki\\_konf!/2024/13\\_11/sbor.pdf](https://rgatu.ru/archive/sborniki_konf!/2024/13_11/sbor.pdf) (дата обращения: 03.11.2025).
6. Прокурякова, Л. Н. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития / Л. Н. Прокурякова, Г. В. Ермоленко ; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Москва : НИУ ВШЭ, 2017. – 96 с.
7. Новокрещенов, О. В. Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии / О. В. Новокрещенов, Г. С. Отмахов, М. Ю. Худе // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 132. – С. 786–797. – DOI: 10.21515/1990-4665-132-063.

УДК 004.738

## **РАЗРАБОТКА «УМНОГО ДОМА» НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА MQTT НА БАЗЕ МОДУЛЯ ESP32**

*Сувханов Д. Д.*

Институт телекоммуникаций и информатики  
Туркменистана, г. Ашхабад

«Умные дома» уже навсегда вошли в нашу жизнь. Они предлагают своим пользователям различные функции. Для того, чтобы предложить гражданам нашей страны услугу «умный дом» на основе технологий, отвечающих современным стандартам, необходимо найти научно обоснованные решения. Публикация многочисленных статей [2–4] о системах «Умный дом» также свидетельствует о том, что этот вопрос до конца не изучен с научной точки зрения. Поэтому создание подходящей для этой системы топологии и программного обеспечения является одним из важнейших вопросов в нашей стране. В результате анализа разработана новая технология системы «Умный дом».

Предложен новый метод определения оптимальных параметров системы умного дома. Основная особенность этого метода состоит в том, что он разделен на отдельные функциональные блоки в соответствии с функциями, выполняемыми рассматриваемой системой и изучаемой как конечная система.

Разработанная система «Умный дом» состоит из трех основных функциональных блоков:

1) Идентификация – предназначена для того, чтобы дом и оборудование дома могли эксплуатироваться только авторизованными пользователями;

2) Управление – обеспечивает удаленное управление оборудованием пользователем;

3) Сигнализация – оперативно отправляет пользователю информацию о нештатных ситуациях в доме.

Идентификация проводилась с помощью идентификатора отпечатка пальца и программного обеспечения, разработанного для функционального блока идентификации умного дома, который управляется протоколом MQTT. Используемые идентификаторы не позволяют посторонним входить в дом.

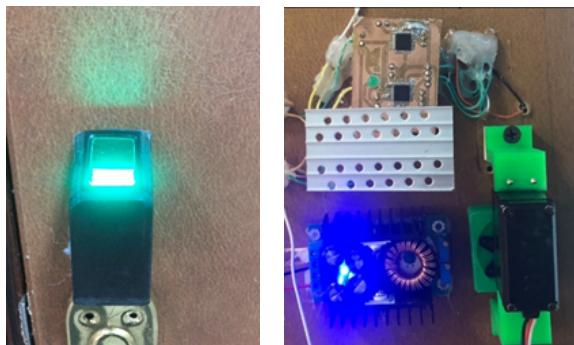


Рисунок 1 – CC3000 оптический сенсор отпечатков пальцев установленная в дверь

Пользователи Умного дома могут удаленно управлять бытовыми электрическими устройствами из любой точки мира, подключив программное обеспечение к Интернету, когда они находятся вдали от дома.

Основная функция функционального блока сигнализации – информировать пользователя об опасной ситуации (повышение уровня температуры или влажности, несанкционированный вход в дом).

Для управления системой «Умный дом» использовались микроконтроллеры компании TSMC ESP32, а программное обеспечение было разработано в среде разработки Arduino IDE.



Рисунок 2 – ESP32 микроконтроллер

Эти микроконтроллеры полностью соответствуют требованиям к функционалу системы умный дом. Флеш-память этих микроконтроллеров, выбранных для системы «Умный дом», составляет 520 КБ.

Функциональный блог сигнализации оснащён чувствительными датчиками, которые используются для определения того, как меняется состояние дел в системе «умный дом» и полученная с них информация отправляется в органы управления. Таким образом, в программе обеспечение должны быть включены предельные значения соответствующих параметров (температура, влажность, движение).



Рисунок 3 – Использованные сенсоры (DHT11, HC-SR04)

Помимо возможности управления электрическими приборами в системе «Умный дом», было разработано программное обеспечение для автоматического контроля въезда и выезда автомобилей. У ворот дома установлена специальная камера, и если в базу данных занесены номера приближающегося автомобиля, то камера рас-

познает номер и разрешит доступ. Если информации об автомобиле нет в базе данных, в программе появляется значок «Я вас не знаю» и не откроет ворота пока пользователь не даст разрешение.



**Рисунок 3** – В случае, если автомобиль распознается в программе

На основе исследования были разработаны программное обеспечение умного дома (рисунок 4а) и рабочая модель (рисунок 4б) с использованием протокола MQTT на базе модуля ESP32.



**Рисунок 4а** – Программное обеспечение системы «Умный дом» (Android)



**Рисунок 4б** – Рабочая модель системы «Умный дом»

## **Результаты:**

- 1) В результате исследования разработана методика автоматического управления системой «Умный дом» на основе протокола MQTT;
- 2) Разработаны новые топологии электронных схем системы «Умный дом»;
- 3) Разработано новое программное обеспечение для системных микроконтроллеров;
- 4) Эффективность созданной системы «Умный дом» подтверждена экспериментами.

### **Список использованных источников**

1. Internet of Things with ESP8266 Marco Schwartz. Packt Publishing 2016.
2. Биометрические системы аутентификации. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
3. А.А.Малюк, С.В.Пазизин, Н.С. Погожин. Введение в защиту информации в автоматизированных системах. –М.: Горячая линия –Телеком. 2001
4. “Руководство пользователя gsm сигнализации” <http://electromost.com>

УДК 004.77:070.4(476)

## **СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И АДАПТАЦИИ КОНТЕНТА ПЕЧАТНЫХ СМИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Хваленя С. В.*

ассистент кафедры редакционно-издательских технологий, БГТУ

**Введение.** Современный этап развития глобального информационного пространства характеризуется фундаментальным сдвигом в парадигме медиапотребления. Информация, размещенная в сети, приобрела такие характерные черты, как доступность и оперативность, отсутствие временных ограничений и географических преград для распространения, финансовых затрат на печать [1]. Для газет и журналов эволюция медиаландшафта означает расширение привычной сферы деятельности до границ незнакомого им до сих пор контекста. Инновационность такой среды обуславливает невозможность полноценного переноса работающей в газете/журнале системы на интернет-версию [2]. Следовательно, в условиях стремительной цифровизации традиционные печатные журналы сталкиваются с необходимостью не просто присутствия в сети Интернет, а глубокой реконцептуализации своей деятельности.

**Основная часть.** Существующие концепции медиаморфоза (Р. Фидлер [3]) и культурной конвергенции (Г. Дженкинс [4]) подразумевают, что эволюция средств массовой коммуникации происходит не путем замещения старых форм новыми, а через их адаптацию и интеграцию. При этом под медиаконвергенцией понимается «поток контента между несколькими медиаплатформами, сотрудничество между несколькими медиаотраслями и мигрирующее поведение медиааудитории, которая пойдет почти куда угодно, чтобы найти тот развлекательный опыт, который им нужен» [5].

Ключевыми свойствами медиатекста в интернет-СМИ называют:

- гипертекстуальность (генерализация отношений и связей между ранее созданными текстами, при которых полученный текст гипертекстовый фрагмент – представляет собой совокупность составляющих с точки зрения и содержания, и формы);
- интерактивность, т. е. возможность обратной связи и непосредственного участия в процессе коммуникации;
- мультимедийность, которая подразумевает представление информации с помощью различных медийных платформ: вербального текста, фотографии, аудио-, видео-, графики, анимации и других производных от них форм;
- нелинейность и использование новых нарративных стратегий;
- диджитальность, или применение цифровых форматов;
- модульность, т. е. комбинирование разнородных элементов в едином смысловом пространстве;
- ускорение времени и сжатие пространства при акцентировании возможностей мгновенной коммуникации и уменьшении барьеров физической дистанции;
- конвергентность, приводящая к созданию гибридных форм текста и интеграции различных технологий [6].

С научной точки зрения адаптация контента в цифровую среду детерминирована переходом от линейной модели коммуникации к сетевой. В контексте белорусского медиарынка данный процесс осложняется необходимостью баланса между сохранением традиций качественной периодики и внедрением инновационных технологических решений.

Процесс адаптации печатного материала к цифровому формату начинается с переосмыслиния структуры контента. Одной из ведущих стратегий в этом направлении выступает метод атомизации текста и немонотонности его верстки. В рамках этого подхода це-

лостная журнальная статья перестает быть монолитным объектом и превращается в совокупность информационных единиц, которые могут существовать автономно на различных платформах. Для институциональных сайтов белорусских изданий это означает создание развернутых лонгридов с нелинейной навигацией, в то время как для социальных медиа и мессенджеров – в частности, Telegram, который играет одну из ключевых ролей (им пользуются более трети населения страны [7] в белорусском медиасегменте [8], – контент подвергается компрессии до уровня тезисов, визуальных карточек или инфографики.

Тут же стоит более четко сформулировать другой важный аспект – платформенная дифференциация, то есть адаптация одного и того же инфоповода под разные каналы. Говоря, в частности, о научно-популярной журналистике, отметим часто используемый редакциями метод так называемой «информационной матрешки». В печатном номере публикуется глубокий аналитический материал, может присутствовать методология и ссылки на источники. В то же время на официальном сайте этот материал будет трансформирован в лонгрид, врезки с дополнительным либо вспомогательным текстом и справочной информацией – в гиперссылки (при необходимости, поскольку поднимается вопрос авторского права). В социальных сетях и мессенджерах же будет создан короткий пост с акцентом на основную цепляющую составляющую оригинального материала или практическое применение описываемой разработки/события, зачастую составленный на основе лайда печатной статьи и обработанный с учетом SEO-оптимизации (в идеале). Такая стратегия позволяет охватить разные сегменты аудитории: от профессиональных ученых той или иной сферы до студентов и просто интересующихся.

Технологический уровень адаптации также подразумевает использование принципа первоочередности мобильной версии издания, который диктует специфические требования к верстке и подаче материала. В отличие от печатной полосы, цифровой текст должен быть фрагментирован короткими абзацами, снабжен подзаголовками (`<h1>`, `<h2>`, `<h3>`, расширенная система `<p>`) и списками, что обусловлено спецификой восприятия информации с экранов мобильных устройств. При этом стратегически значимым для белорусских журналов остается использование QR-технологий как связующего звена между физическим носителем и расширившей

цифровой версией издания, что создает, своего рода, эффект дополненной реальности и расширяет границы печатного листа.

Важным аспектом методологии цифровой адаптации является мультимедийное обогащение. Печатное слово в цифровой среде неизбежно вступает в синтез с аудиовизуальными компонентами. Практика показывает, что наиболее успешные стратегии включают внедрение в структуру материала встроенных коротких видеоматериалов, дополняющих тему номера, и интерактивных визуализаций данных. Это позволяет трансформировать пассивное чтение в активное взаимодействие с контентом, что критически важно для привлечения аудитории. Однако отметим, что этот метод на данный момент находит лишь единичное применение в конвергентных средствах массовой информации – в первую очередь, общественно-политического и социально-экономического характера.

**Заключение.** Подводя итог обзору стратегий цифровой трансформации белорусской периодической печати, можно констатировать, что переход в онлайн-пространство перестал быть вопросом простого дублирования материалов, и требует смены парадигмы медиадеятельности от линейного вещания к многокомпонентной, мультиплатформенной сетевой модели. В конечном счете успех цифровой трансформации периодики в Республике Беларусь зависит от способности редакций гармонично сочетать традиции качественной журналистики с гибкими инновационными форматами подачи материала, которые диктует современный цифровой ландшафт.

#### Список использованных источников

1. Пилейко, А. И. Адаптация медиаконтента к веб-среде сайтов и социальных сетей / А. И. Пилейко, Л. И. Петрова // Труды БГТУ. Серия 4. Принт- и медиатехнологии. – 2017. – № 1. – С. 96–102.
2. Беляев, А. А. Специфика интернет-версии как сетевого СМИ / А. А. Беляев // Современные проблемы журналистской науки. – Воронеж: Факультет журналистики ВГУ, 2011. – С. 3–21.
3. Fidler, R. Mediамorphosis: Understanding New Media / R. Fidler. – Pine Forge Press, 1997. 302 p.
4. Jenkins, H. Convergence culture: Where old and new media collide / H. Jenkins. – New York: New York University Press, 2006. – 308 p.
5. Карпиевич, В. А. Конвергенция культурных индустрий / В. А. Карпиевич // Человек в социокультурном измерении. – 2022. – № 2. – С. 63–69.
6. Современный медиатекст: учеб. пособие / отв. ред. Н. А. Кузьмина. – М.: ФЛИНТА, 2014. – 416 с.
7. Какие мессенджеры и соцсети наиболее популярны в Беларусь? // БелТА. – 2024. – URL: <https://belta.by/society/view/kakie-messendzheri-i-sotssetsi-naibolee-populyarny-v-belarusi-rasskazal-sotsiolog-660395-2024/> (дата обращения: 21.12.2025).
8. Градюшко, А. А. Белорусские медиа в Telegram: стратегии распространения новостей / А. А. Градюшко // Труды БГТУ. Серия 4. Принт- и медиатехнологии. – 2020. – № 2. – С. 58–64.

# ГЕНЕРАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ УЧЕБНОГО КОНТЕНТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

*Шаблинский Д. А.*

магистрант, Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого

**Введение.** Создание качественных лекционных курсов и методических материалов представляет собой трудоемкий процесс, требующий глубокой проработки значительного объема информации. Однако с появлением и развитием больших языковых моделей (LLM) открываются принципиально новые возможности для автоматизации данной деятельности [1, 3]. При прямом применении LLM неизбежно возникают проблемы, такие как генерация ошибочных или выдуманных данных, а также склонность моделей к так называемым «галлюцинациям» [2]. Проблема недостоверности является критичной именно в сфере технического образования, где точность, надежность и фактическая корректность учебного контента являются определяющими аспектами.

**Целью работы** является разработка метода автоматизированной генерации учебного контента и алгоритма его верификации на основе архитектуры генерации, дополненной поиском (Retrieval-Augmented Generation, RAG). Данный подход направлен на минимизацию фактологических искажений в материалах по ИТ-дисциплинам путем семантического сопоставления генерируемых данных с эталонными источниками. Для реализации этой задачи используется векторная база данных Qdrant, обеспечивающая строгое обоснование сгенерированного контента через поиск релевантных контекстов в утвержденных учебных пособиях.

**Методология и алгоритм работы.** Предлагаемая методика базируется на многоступенчатом процессе, направленном на обеспечение верифицируемости контента. Реализация включает четыре ключевых этапа. На первом этапе производится декомпозиция учебной дисциплины на систему структурированных вопросов. Далее выполняется экспертный отбор LLM, исходя из их способности к генерации ответов без смысловых искажений. Основной этап – ге-

нерация – реализуется итерационно: по каждому вопросу в отдельности. В ходе исследования была обоснована нецелесообразность пакетной генерации (*batch generation*) всего корпуса материалов. Переход к атомарному подходу обусловлен необходимостью минимизации феномена «потери информации в середине контекста» (*lost-in-the-middle*) и обеспечения высокой гранулярности данных для семантического сопоставления векторов в рамках метода RAG.

**Программная реализация и структура комплекса.** Разработанная система построена по модульному принципу на основе RAG-архитектуры и включает четыре основных функциональных блока, работающих последовательно, что обеспечивает достоверность итогового контента. При выборе LLM, используемых в программном комплексе, учитывался ряд строгих критерий, таких как стоимость использования, доступность через API, тип лицензии, объем контекстного окна, а также аналитические возможности и требования к локальным ресурсам. Для проведения экспериментов был отобран широкий спектр моделей, включая DeepSeek V3.2, ChatGPT 5, Llama 4, Gemini 3 Flash, Qwen3 и Gemma 3 27B. Каждая из этих моделей является значительным достижением в современной области искусственного интеллекта и доступна для интеграции через API различных провайдеров [4].

Первый модуль системы формулирует запрос. На основе входных данных он собирает детализированный промпт, в котором помимо самого вопроса заданы строгие директивы относительно стиля и структуры ожидаемого ответа, а также ограничения, характерные для конкретной технической дисциплины. Такая детализация критически важна для снижения уровня неопределенности и существенного повышения релевантности ответа языковой модели. Сформированный запрос передаётся через API во второй модуль – выбранную LLM, будь то облачная модель или локальное решение, что обеспечивает гибкость архитектуры и позволяет контролировать финансовые затраты. Полученные от модели ответы сохраняются в единый унифицированный формат, благодаря чему их последующая обработка становится значительно проще, а включение в учебный процесс – более удобным.

**Верификация контента.** Ключевым этапом работы является процедура автоматической верификации, за которую отвечает финальный модуль системы. Он сверяет полученный материал с эта-

лонной базой знаний, сформированной из утвержденных учебных пособий. Механизм верификации базируется на алгоритмах семантического сравнения: с помощью модели MiniLM-L6-v2 текстовые фрагменты преобразуются в многомерные числовые векторы (эмбеддинги). Выбор данной модели обусловлен её эффективностью при работе с русскоязычными техническими текстами и оптимальным балансом между точностью анализа и скоростью обработки данных. Далее система использует векторную базу данных Qdrant для поиска наиболее релевантных совпадений и количественной оценки степени их семантической близости. Достоверность утверждений оценивается на основе коэффициента косинусного сходства векторов: если близость сгенерированного фрагмента к эталонному тексту ниже установленного порогового значения, информация идентифицируется как «галлюцинация». Это позволяет системе не только генерировать текст, но и активно фильтровать его, гарантируя соответствие образовательного контента проверенным источникам.

**Результаты эксперимента.** Для проверки эффективности решения было проведено исследование на базе курса «Программирование сетевых приложений». Эталонной базой знаний выступали официально утвержденные учебные пособия. Сгенерированные ответы оценивались экспертами по десятибалльной шкале согласно критериям точности, полноты и структурной целостности. Анализ показал, что применение модуля верификации позволило выявить и устранить до 18% фактических неточностей в описании сетевых протоколов и параметров библиотек. Большинство ответов получили оценку не ниже 8 баллов. Тексты отличаются строгой структурой, наличием теоретических выкладок и практическими примерами кода, полностью соответствующими стандартам дисциплины.

**Заключение.** Разработанный программный комплекс обеспечивает возможность генерации учебных материалов как в стандартном режиме LLM, так и с применением усиленного протокола RAG. В обоих случаях высокая достоверность контента достигается благодаря процедуре финальной верификации через векторную базу Qdrant. Использование LLM в таком формате существенно экономит время преподавателя на подготовку материалов и гарантирует их качество. Модульная организация позволяет адаптировать систему для разных дисциплин и сохранять строгий контроль качества. Интеграция с открытыми API позволяет подключать новые модели

по мере их развития, что обеспечивает возможность постоянной эволюции системы и подбора наиболее точных формулировок для сложных технических текстов.

#### **Список использованных источников**

1. Асенчик, О. Д. Использование больших языковых моделей для создания учебных материалов по дисциплине «Базы данных» / О. Д. Асенчик // Цифровая трансформация. – 2025. – Т. 31, № 4. – С. 5–14.
2. Bender, E. M. On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? / E. M. Bender, T. Gebru, A. McMillan-Major // Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. – 2021. – Р. 610–623.
3. Kasneci, E. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education / E. Kasneci, K. Seßler, S. Küchemann // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – Р. 102274.
4. OpenRouter [Electronic resource]. – 2024. – Mode of access: <https://openrouter.ai/>. – Date of access: 05.12.2025.

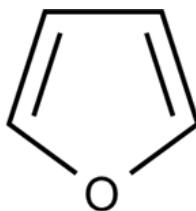
УДК 543.544:664

## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФУРАНА В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ**

*Шимчук А. А.*

аспирант

**Введение.** Фуран – это бесцветное гетероциклическое соединение с высокой летучестью (температура кипения: 31°C), состоящее из пятичленного ароматического кольца с четырьмя атомами углерода и одним атомом кислорода. Структурная формула фурана представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структурная формула фурана**

Известно, что термическая обработка является основной причиной образования фурана. Существует множество механизмов, лежащих в основе его образования, к ним относятся термическая

деградация или перегруппировка углеводов отдельно или в присутствии аминокислот, термическая деградация некоторых аминокислот, окисление аскорбиновой кислоты при высоких температурах и окисление полиненасыщенных жирных кислот и каротиноидов.

Термическая обработка, такая как варка, обжаривание, выпечка, пастеризация и стерилизация [1, 2], используется во многих процессах приготовления пищи, от домашней кухни до промышленных предприятий пищевой промышленности, и обеспечивает микробиологическую безопасность продуктов питания для их сохранения и поддержания определенных органолептических свойств [3]. Одной из известных реакций во время термической обработки является реакция Майяра. Это неферментативная реакция потемнения, которая включает в себя взаимодействие аминокислот, пептидов и белков с восстанавливающими сахарами и витамином С [4]. Некоторые исследования показали, что образование фурана в значительной степени происходит во время реакции Майяра.

Присутствие фурана в коммерческих пищевых продуктах вызывает серьезную озабоченность у многих органов здравоохранения, таких как Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) и Европейское управление по безопасности пищевых продуктов (EFSA), что побудило многие международные организации, включая Национальную токсикологическую программу (NTP) и Международное агентство по исследованию рака (IARC), провести исследования и выявить риски, связанные с фураном. Токсичность фурана хорошо документирована в исследованиях на животных, а сводная информация о классифицированных рисках, связанных с фураном, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация рисков, связанных с фураном

Организация	Класс	Заключение
IARC	2B	Возможно, обладает канцерогенным действием на человека
NTP	P	Предполагается, что является канцерогеном для человека
Евросоюз	C2	Вещества, которые следует считать канцерогенными для человека

Международное агентство по изучению рака классифицировало фуран как «возможный канцероген для человека (Груп-

па 2В)», в связи с этим, разработка методов определения содержания фурана становится важной темой для исследований в области пищевой безопасности.

**Основная часть.** Фуран сам по себе в пищевой промышленности используется ограниченно, но его производные, например фуранол, применяются как ароматизаторы для придания фруктовых нот, а фурановые смолы (из фурфурола) – для связующих и покрытий в оборудовании. Сам фуран естественным образом образуется при термической обработке пищи, например, в жареном кофе, и может быть маркером процесса нагревания.

Обзор литературы показал, что изучению содержания фурана в пищевых продуктах посвящены многочисленные исследования зарубежных ученых. Мониторинг и оценка диетического воздействия фурана проводились различными национальными агентствами, такими как EFSA, FDA, FSA, а также в Корее, Тайване, Китае и Чили. Фуран неизбежно поглощается кишечником и легкими. Он может проходить через биологические мембранны и в конечном итоге достигать различных органов. Регулирующие органы, такие как FDA и Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA), контролируют уровни фурана в пищевых продуктах. Так, в консервированных сладком картофеле (детское питание), моркови, зеленой фасоли и кукурузе обнаружено от 6 до 108 ppb (частей на миллиард) фурана. Аналогичные исследования белорусских ученых не проводились. Иностранными учеными ведутся исследования по поиску способов снижения образования фурана, направленных на корректировку параметров обработки, использование различных ингредиентов или изменение условий хранения.

На сегодняшний день для определения фурана могут использоваться различные методы, включая хроматографические методы (например, газовая хроматография), спектроскопические методы (спектроскопия ядерного магнитного резонанса и масс-спектрометрия) и химические методы (основанные на его реакционной способности, например, реакциях с диполярными реагентами). Выбор метода зависит от требуемой чувствительности, точности и матрицы образца. Газовая хроматография широко применяется для летучих соединений. В ходе анализа фуран разделяется на отдельные компоненты на хроматографической колонке, после чего детектор (например, пламенно-ионизационный) определяет его концентра-

цию. Этот метод характеризуется высокой чувствительностью и селективностью, он подходит для анализа сложных смесей.

Масс-спектрометрия часто используется в сочетании с газовой хроматографией для идентификации и количественного определения фурана. При этом фуран ионизируется, а затем анализируется по соотношению массы к заряду, что позволяет получить уникальный «отпечаток» для каждого соединения. Масс-спектрометрия позволяет не только определить наличие фурана, но и подтвердить его структуру.

Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) позволяет получить информацию о структуре молекулы фурана. В ходе эксперимента анализируется взаимодействие ядер атомов фурана с магнитным полем. Преимуществом данного метода является то, что он неразрушающий и дает подробную структурную информацию.

К химическим методам относятся реакции электрофильного замещения и каталитические методы. Так как фуран является ароматическим соединением и вступает в реакции электрофильного замещения, это может быть использовано для его обнаружения. Например, реакция с реагентами, содержащими диполярные группы, может привести к образованию устойчивых продуктов, которые затем анализируются спектроскопически или хроматографически. Также могут быть использованы некоторые каталитические реакции по определению фурана в присутствии специальных катализаторов. На сегодняшний день в Беларуси исследования по определению содержания фурана в пищевых продуктах не проводились и стандартизированного метода нет. В литературных источниках из перечисленных выше методов была найдена информация о методе обнаружения и количественного определения фурана с помощью газовой хроматографии с масс-спектроскопией, который разработало FDA [5]. В результате анализа литературы были выделены следующие ключевые этапы определения фурана методом ГХ-МС:

- подготовка образца, которая включает в себя отбор пробы и ее подготовку в зависимости от матрицы (например, экстракция, концентрирование), если образец жидкий, может потребоваться его перевод в газовую фазу, при необходимости проводится дериватизация для улучшения хроматографических свойств фурана или его аналогов;

- газовая хроматография (ГХ) состоит из ввода подготовленного образца в инжектор газового хроматографа, в горячей инжекторной камере образец испаряется, далее газ-носитель (гелий или

азот) переносит пары образца через капиллярную колонку, которая покрыта неподвижной фазой (полимером или жидкостью), она разделяет компоненты смеси по их физико-химическим свойствам. Фуран и другие соединения выходят из колонки в разное время;

– масс-спектрометрия (МС) состоит из ионизации, в ходе которой выходящие из колонки компоненты поступают в масс-спектрометр, где подвергаются ионизации, как правило, электронным ударом, превращаясь в положительно заряженные ионы. Далее происходит разделение ионов: ионы разделяются по отношению массы к заряду ( $m/z$ ) в масс-анализаторе. Затем происходит детектирование, в ходе которого отдельные ионы регистрируются детектором, который формирует сигнал.

– обработка и интерпретация данных: полученный масс-спектр сравнивается с библиотечными спектрами для идентификации фурана; интенсивность сигнала пика фурана в хроматограмме используется для его количественного определения с использованием внешних стандартов или калибровочных кривых. Результаты оформляются в виде отчета, содержащего хроматограмму, масс-спектры и количественные данные.

**Заключение.** Таким образом, представленный краткий анализ источников литературы по определению фурана свидетельствует о том, что в настоящее время подходящим методом для определения фурана в пищевой продукции, является метод газовой хроматографии и масс-спектрометрии, при этом фуран, как летучее соединение, выделяется из образца, например жидкости, и затем анализируется. Так как канцерогенность фурана является важной проблемой для пищевой промышленности, необходимо тщательно изучить механизмы его образования, методы его определения и способы минимизации содержания фурана в пищевой продукции. Также, анализируя изученную литературу, можно сделать вывод о необходимости разработки новых методик определения фурана, которые будут более доступными.

#### Список использованных источников

1. Becalski A., Seaman S. Furan precursor in food: a model study and development of a simple headspace method for determination of determination furan / J. AOAC Int. – 2005. – Vol. 88. – P. 102–106.
2. Crews C., Castle L. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods / Trends Food Sci. Technol. – 2007. – Vol. 18. – P. 365–372.
3. Hasnip S., Crews C., Castle L. Some factors affecting the formation of furan in heated foods / Food Addit. Contam. – 2006. – Vol. 23. – P. 219–227.

4. Perez Locas C., Yaylayan V.A. Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan a food toxicant/ J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52. – P. 6830–6836.
5. Exploratory data on furan in food: individual food products [Electronic resource] U.S. FDA (Food and Drug Administration). – 2008. – Mode of access: <http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/ChemicalContaminants/ucm078439.htm>. – Date of access: 24.11.2025.

УДК 664.8.035.76:547.722.1

## ФУРАН В КОНСЕРВИРОВАННОЙ ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Шимчук А. А.  
аспирант

**Введение.** Качество и безопасность консервированной овощной продукции зависят не только от свойств используемого сырья, но и в значительной степени от технологических приемов изготовления и режимов хранения конечных продуктов. Такие виды термической обработки, как жарка, выпечка, пастеризация и стерилизация [1, 2], применяются во многих процессах приготовления пищи в условиях домашней кухни и в промышленных пищевых производствах, обеспечивая микробиологическую безопасность продуктов при хранении и определенные сенсорные характеристики [3]. В процессе термической обработки происходят разнообразные биохимические превращения, в том числе и реакция Майяра, в ходе которой образуется фуран, его производные и другие химические соединения, опасность которых для человека установлена Международным агентством по изучению рака (МАИР). Например, фуран классифицируется как «возможно канцерогенный для человека» (Группа 2B), поэтому многие современные исследования сосредоточены на изучении механизмов фурана и его производных в пищевых продуктах.

**Основная часть.** Фуран – это химическое загрязняющее вещество, которое естественным образом образуется при нагревании продуктов питания в процессе консервирования и хранения в герметично закрытой потребительской упаковке. Прекурсорами образования фурана являются натуральные пищевые ингредиенты, такие как углеводы, аминокислоты, аскорбиновая кислота и полиненасыщенные жирные кислоты. Установлено множество путей образования фурана: термическое расщепление или перегруппировка углеводов, как отдельно, так и в присутствии аминокислот; термическое

расщепление некоторых аминокислот; окисление аскорбиновой кислоты при высоких температурах и окисление полиненасыщенных жирных кислот и каротиноидов [4]. Фуран был обнаружен в различных консервированных овощах, таких как:

- консервированный сладкий картофель (детское питание) – до 108 ppb (частей на миллиард);
- консервированная морковь (детское питание) – около 20–50 ppb;
- консервированная зелёная фасоль – около 6 ppb;
- консервированная кукуруза – около 39 ppb для сливочного вида;
- и др.

Присутствие фурана в коммерческих пищевых продуктах вызывает серьёзную обеспокоенность у многих органов здравоохранения, таких как Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) и Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA). Многие международные организации, включая Национальную токсикологическую программу (NTP) и Международное агентство по изучению рака (IARC), занимаются исследованиями и выявлением рисков, связанных с фураном. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют о том, что:

- фуран неизбежно поглощается кишечником и легкими, он может проходить через биологические мембранны и в конечном итоге достигать различных органов;
- длительное употребление фурана может привести к возможному повреждению печени;
- наивысшие уровни воздействия часто наблюдаются у младенцев и детей младшего возраста, в основном при употреблении консервированного детского питания.

Мониторинг и оценка диетического воздействия фурана проводились различными национальными агентствами, такими как EFSA, FDA, FSA, а также в Корее, Тайване, Китае и Чили. Регулирующие органы, такие как FDA и Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA), контролируют уровни фурана в пищевых продуктах.

Ведутся исследования по поиску способов снижения образования фурана, таких как корректировка параметров обработки, использование различных ингредиентов или изменение условий хранения.

Обычная стратегия снижения уровня токсинов в пищевых продуктах включает изменение условий нагревания или снижение уровня прекурсоров [5]. Снижение уровня фурана является сложной задачей по сравнению со снижением уровня других загрязнителей. Во-первых, изменение параметров термической обработки, таких как температура и время, не может быть существенно изменено, так как это требуется для обеспечения микробиологической безопасности пищевых продуктов. Во-вторых, фуран производится из различных предшественников, таких как углеводы, полиненасыщенные жирные кислоты и аскорбиновая кислота. Аскорбиновая кислота является наиболее часто встречающимся латентным предшественником фурана, за ней следуют ненасыщенные жирные кислоты и сахара [6]. Поскольку в образовании фурана задействовано несколько путей, контроль этого процесса становится более сложной задачей. Наконец, высокая летучесть фурана делает разработку стратегии снижения уровня фурана более сложной.

Большинство стратегий снижения содержания фурана на сегодняшний день были сосредоточены на добавлении пищевых добавок и/или контроле предшественников образования фурана. На сегодняшний день было проведено много исследований по использованию пищевых добавок. В литературе было сообщение о влиянии пищевых добавок на реакцию Майяра с использованием модельной системы пищевых продуктов [6, 7]. Используя модельные системы, включающие глюкозу, аланин и серин, была проанализирована реакция фурана с 0,1 М различных ионов металлов, таких как сульфат железа, сульфат магния, сульфат кальция и сульфат цинка, и с антиоксидантами, такими как бутилгидрокситолуол (ВНТ) и бутилгидроксианизол (ВНА) и сульфит натрия [8]. Уровни фурана в модельной системе глюкоза/аланин увеличились со всеми добавками на 36~41%, за исключением добавления сульфита натрия. Значительное снижение образования фурана было показано в модели глюкозы/аланина при добавлении сульфита натрия, в то время как в образце, к которому был добавлен сульфат цинка, оно увеличилось на 41%. В большинстве случаев уровни фурана снижались, за исключением образцов с добавлением сульфата цинка, в модельной системе, содержащей аланин и серин, или магния и ВНТ в модельной системе, содержащей серин. Снижение образования фурана происходило в следующем порядке: сульфит натрия >

BHA > сульфат железа > BHT > сульфат кальция [8]. Добавление кальция, сульфата магния, BHT, BHA и сульфита натрия значительно снижало образование фурана в следующем порядке: сульфат кальция > сульфат магния > BHT > BHA > сульфит натрия. По сравнению с этими добавками, такие добавки, как сульфат марганца, сульфат цинка и сульфат железа, либо не снижал уровень фурана по сравнению с контролем без добавления пищевых добавок , либо значительно увеличили количество фурана [5].

Добавление антиоксидантов может быть эффективным способом снижения уровня фурана. Антиоксиданты потенциально ингибируют образование фуранов при термическом окислении ПНЖК и каротиноидов, поскольку они являются поглотителями свободных радикалов, образующихся при окислении ПНЖК. В исследовании, опубликованном в 2011 году, сообщалось, что ацетат токоферола и BHA снижали образование фурана из ПНЖК до 70% [9]. С другой стороны, в другом исследовании сообщалось об увеличении образования фуранов из модельной системы линолевой кислоты, несмотря на добавление BHT [7] . Кроме того, присутствие ионов металлов влияет на скорость образования продуктов реакции Майяра; однако механизм, лежащий в основе этого явления, четко не установлен [5].

Также имеются данные об использовании контроля прекурсоров в качестве стратегии снижения. В модельной системе с использованием апельсинового сока образование фурфурола из аскорбиновой кислоты было затруднено присутствием маннита и этанола, которые являются поглотителями свободных радикалов [9].

**Заключение.** Таким образом, представленный краткий обзор источников литературы фурана и его производных в различных пищевых продуктах свидетельствует об актуальности исследований, направленных на изучение факторов, влияющих на образование и накопление этих химических соединений в овощной продукции в процессе ее консервирования и хранения. Результаты этих исследований могут быть использованы для разработки мероприятий, предотвращающих или снижающих вероятность присутствия фурана и его производных в овощных консервах.

#### Список использованных источников

1. Becalski A., Seaman S. Furan precursor in food: a model study and development of a simple headspace method for determination of determination furan / J. AOAC Int. – 2005. – Vol. 88. – P. 102–106.
2. Crews C., Castle L. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods / Trends Food Sci. Technol. – 2007. – Vol. 18. – P. 365–372.

3. Hasnip S., Crews C., Castle L. Some factors affecting the formation of furan in heated foods / Food Addit. Contam. – 2006. – Vol. 23. – P. 219–227.
4. Mariotti M.S., Toledo C., Hevia K., Gomez J.P., Fromberg A., Granby K., Rosowski J., Castillo O., Pedreschi F. Are Chileans exposed to dietary furan? / Food Addit. Contam. Part A. – 2013. – Vol. 30. – P. 1715–1721.
5. Kim M. Y., Her J. Y., Kim M. K., Lee K. G. Formation and reduction of furan in a soy sauce model system / Food Chem. – 2015. – Vol. 189. – P. 114–119.
6. Shinoda Y., Komura H., Homma S., Murata M. Browning of model orange juice solution: factors affecting the formation of decomposition products / Biosci. Biotechnol. Biochem. – 2005. – Vol. 69. – P. 2129–2137.
7. Ramonaityte D.T., Keršienė M., Adams A., Tehrani A.K., Kimpe D.N. The interaction of metal ions with Maillard reaction products in a lactose-glycine model system / Food Res. Int. – 2009. – Vol. 42. – P. 331–336.
8. Kim J.S., Her J.Y., Lee K.G. Formation and reduction of carcinogenic furan in various model systems containing food additives / Food Chem. – 2015. – Vol. 189. – P. 108–113.
9. Yaylayan V.A. Precursors, formation and determination of furan in food / J. Consum. Prot. Food Saf. – 2006. – Vol. 1. – P. 5–9.

УДК 630:004.8

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*Шульга Е. А.*

аспирант кафедры лесоустройства,

Белорусский государственный технологический университет

*Шумчена К. Д.*

студент лесохозяйственного факультета,

Белорусский государственный технологический университет

*Толкач И. В.*

доцент кафедры лесоустройства, канд. с.-х. наук,

Белорусский государственный технологический университет

**Введение.** В настоящее время данным дистанционного зондирования (ДДЗ) лесов уделяется все больше внимания. Дистанционное зондирование представляет собой технологию получения информации о земной поверхности с использованием наземных, авиационных и космических средств, оснащённых аппаратурой для съемки в видимом диапазоне, радиолокационной съемки.

Материалы ДЗ активно применяются для дешифрирования при выполнении широкого спектра лесохозяйственных задач, таких как лесопожарный и лесопатологический мониторинг, лесоинвентаризационные работы и др.

Традиционные подходы, включая визуальное дешифрирование и классификацию на основе спектральных индексов (например, NDVI), становятся недостаточно эффективными в условиях постоянно растущих объёмов данных. Это обуславливает актуальность внедрения методов автоматизированной обработки ДДЗ, среди которых большую популярность набирают технологии искусственного интеллекта (ИИ) [1].

**Основная часть.** Современные методы ИИ, применяемые для анализа ДДЗ, можно разделить на две крупные категории: «классические» алгоритмы машинного обучения и методы глубокого обучения (англ. Deep Learning, DL), получившие доминирующее развитие в последнее десятилетие [2].

### I. Классические алгоритмы машинного обучения.

Эти методы требуют предварительного извлечения признаков из изображений (спектральные значения, текстуры, геометрические индикаторы) и показывают высокую эффективность при ограниченном объёме данных, требующих интерпретации.

#### 1. Ассоциативные правила (Frequent Pattern Mining):

Apriori – алгоритм для поиска частых наборов элементов и генерации ассоциативных правил на основе поддержки и достоверности;

FP-Growth – алгоритм, использующий префиксное дерево для поиска частых наборов без генерации кандидатов.

#### 2. Кластеризация (Clustering):

K-means – итеративный алгоритм разбиения данных на k кластеров с минимизацией внутрикластерного расстояния;

DBSCAN – алгоритм, основанный на плотности, способный находить кластеры произвольной формы и выявлять выбросы;

Fuzzy C-means – нечёткая кластеризация, где объекты могут принадлежать нескольким кластерам с разной степенью.

#### 3. Линейные методы (Linear Methods):

Линейная регрессия – метод моделирования зависимости между признаками и целевой переменной с использованием линейной функции;

Логистическая регрессия – линейный метод для бинарной классификации, использующий сигмоиду для оценки вероятности [2].

#### 4. Машины опорных векторов (Support Vector Machines):

SVM – метод построения оптимальной разделяющей гиперплоскости для классификации с максимизацией зазора между классами;

**Ядерные SVM** – нелинейные SVM, использующие ядра для работы в пространствах высокой размерности.

**5. Деревья решений (Decision Trees):**

C4.5 – алгоритм построения дерева решений с использованием прироста информации;

CART – алгоритм для построения бинарных деревьев решений, использующий индекс Джини или MSE.

**6. Вероятностные модели (Probabilistic Models):**

Наивный байесовский классификатор – метод, основанный на теореме Байеса с предположением о независимости признаков;

Скрытые марковские модели (HMM) – вероятностные модели для последовательностей данных [2].

**7. Ансамблевые методы (Ensemble Methods):**

Бэггинг (Bagging) – метод объединения моделей, обученных на бутстреп-выборках;

Случайный лес (Random Forest) – ансамбль решающих деревьев с использованием случайных подмножеств признаков;

Бустинг (Boosting) – последовательное обучение моделей с фокусом на ошибках предыдущих.

**8. Стекинг (Stacking):**

Блендинг и стекинг – методы объединения предсказаний нескольких моделей с использованием мета-алгоритма [2].

**II. Методы глубокого обучения**

**1. Свёрточные нейронные сети (CNN)**

Архитектура CNN основана на использовании фильтров (ядер), которые применяются к изображению для выявления локальных особенностей (текстур, форм). Наличие пулинговых слоёв позволяет снижать размерность данных и повышать инвариантность к незначительным сдвигам. CNN являются стандартом де-факто для задач компьютерного зрения, включая анализ спутниковых снимков [3].

**2. Рекуррентные нейронные сети (RNN)**

RNN предназначены для обработки последовательных данных, сохраняя информацию о предыдущих шагах в скрытом состоянии. Для борьбы с проблемой исчезающего градиента были разработаны усовершенствованные архитектуры, такие как LSTM (Long Short-Term Memory) и GRU (Gated Recurrent Unit), использующие механизмы «вентиляй». Помимо текста, RNN применяются для

прогнозирования временных рядов, что может быть полезно в анализе динамики лесных покровов.

### 3. Генеративные состязательные сети (GAN)

В основе GAN лежит состязательный процесс между двумя сетями: генератором, создающим данные, и дискриминатором, оценивающим их реалистичность. Несмотря на сложность стабилизации обучения, GAN позволяют достигать высокого качества генерации изображений и могут использоваться для аугментации данных или трансформации стиля.

### 4. Автоэнкодеры (Autoencoders)

Автоэнкодеры обучаются восстанавливать входные данные из их сжатого представления (латентного пространства), что позволяет выявлять ключевые признаки. Вариации, такие как вариационные автоэнкодеры (VAE), добавляют регуляризацию для улучшения обобщающей способности. Эти модели применяются не только для сжатия, но и для детектирования аномалий.

### 5. Трансформеры (Transformers)

Архитектура трансформеров основана на механизме внимания (attention mechanism), который оценивает важность каждого элемента в последовательности независимо от его позиции. Это позволяет эффективно обрабатывать длинные зависимости. Трансформеры легли в основу современных многоязычных и мультимодальных моделей, способных работать как с текстом, так и с изображениями.

### 6. Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning)

В RL агент обучается методом проб и ошибок, получая награду за полезные действия в определённой среде. Гибридные подходы, такие как Deep Q-Learning, сочетают нейронные сети с

теорией принятия решений. Потенциальные области применения в лесном хозяйстве могут включать оптимизацию маршрутов патрулирования или управление ресурсами.

### 7. Метод переноса обучения (Transfer Learning)

Данный метод позволяет использовать знания, полученные моделью на больших общих выборках (например, ImageNet), для решения специфических задач с ограниченным объёмом размеченных данных. Типичный подход заключается в «заморозке» начальных слоёв предобученной модели и дообучении только конечных слоёв на целевом наборе данных [3].

Анализ современных подходов к интерпретации ДДЗ показывает, что наиболее эффективными являются модели глубокого обучения, основанные на архитектурах сверточных нейронных сетей и трансформеров.

На практике для интерпретации ДДЗ с использованием ИИ уже существуют мощные облачные платформы (Google Earth Engine), настольные ГИС с расширенным функционалом (QGIS, SAGA GIS, ArcGIS Pro), а также специализированные библиотеки и фреймворки (например, на основе Python).

Google Earth Engine (GEE) – это облачная платформа от Google для анализа огромных объемов геопространственных данных (спутниковых снимков, климатических данных и т. д.), позволяющая быстро обрабатывать их с помощью кода (JavaScript, Python) и выявлять существующие закономерности [4]. Основные направления использования данной платформы в лесном хозяйстве: мониторинг состояния лесов, анализ лесных пожаров, картирование и инвентаризация лесных ресурсов.

QGIS с плагинами – это бесплатная настольная геоинформационная система (ГИС) с открытым исходным кодом, позволяющая просматривать, редактировать, управлять, анализировать и визуализировать пространственные (геопространственные) данные, а также создавать профессиональные карты и отчеты

Dzetsaka – это мощный, но при этом удобный плагин для классификации изображений в QGIS, изначально разработанный для анализа растительности во Французской Гвиане. Плагин поддерживает 11 современных алгоритмов машинного обучения (включая XGBoost, LightGBM и Random Forest) и отличается уникальной функцией автоматической установки недостающих библиотек, что упрощает работу для неопытных пользователей [5].

**Заключение.** Применение методов искусственного интеллекта, как классических алгоритмов машинного обучения, так и глубокого обучения, открывает новые перспективы для автоматизации и повышения точности интерпретации ДДЗ. Среди методов используемых для интерпретации ДДЗ можно отметить перспективное использование таких архитектур нейронных сетей, как сверточные нейросети и трансформеры. Развитие облачных платформ, таких как Google Earth Engine, и пользовательских инструментов, подобных плагину Dzetsaka для QGIS, позволяет уже сегодня использо-

вать методы искусственного интеллекта для анализа и интерпретации ДДЗ для целей лесного хозяйства.

#### *Список использованных источников*

1. Дешифрование аэроснимков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.derev-grad.ru/lesoustroistvo/deshifrirovanie-aerosnimkov.html>. – Дата обращения: 16.01.2026.
2. Кугаевских, А. В. Классические методы машинного обучения : учебное пособие / А. В. Кугаевских, Д. И. Муромцев, О. В. Кирсанова. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2022. – 53 с.
3. Филанович, К. Н. Метод глубокого обучения / К. Н. Филанович // Электронные системы и технологии : сборник тезисов докладов 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18–20 мая 2020 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2020. – С. 505–506.
4. Гумеров, А. Ф. Использование платформы Google Earth Engine для мониторинга агрэкосистем / А. Ф. Гумеров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : материалы 21-й Международной конференции. – Москва : ИКИ РАН, 2023. – С. 359. – DOI 10.21046/21DZZconf-2023a.
5. Dzetsaka plugin for QGIS [Electronic resource] / GitHub. – Mode of access: <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka/>. – Дата обращения: 16.01.2026.

УДК 630\*578.5

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ**

*Шульга Е. А.*

аспирант кафедры лесоустройства,

Белорусский государственный технологический университет

*Шумченя К. Д.*

студент лесохозяйственного факультета,

Белорусский государственный технологический университет

*Толкач И. В.*

доцент кафедры лесоустройства, канд. с.-х. наук,

Белорусский государственный технологический университет

**Введение.** Лесное хозяйство Беларуси, успешно реализуя принципы неистощимого многоцелевого лесопользования, имеет важное значение для стабильного функционирования лесного сектора страны, вносит весомый вклад в выполнение подписанных нашей страной международных договоров глобального уровня в сфере охраны окружающей среды.

Лесные богатства Республики Беларусь требует постоянных мероприятий по охране и защите леса, проведение которых невоз-

можно без авиации. К лесоавиационным работам относятся: авиационная охрана (патрулирование) лесов от пожаров и тушение их с применением авиации; аэрофотосъемка лесов; аэротаксация лесов; лесопатологическое обследование; фенологические наблюдения; авиаахимические работы по борьбе с вредителями лесов, нежелательной древесно-кустарниковой растительностью; аэросев леса; авиаобслуживание лесной промышленности, лесозаготовок и лесосплава [1].

Беспилотные летательные аппараты широко используются в лесном хозяйстве, но на сегодняшний день существует ряд трудностей. Это связано с большой стоимостью летательного аппарата, недостатком операторов, осуществляющих управление с БЛА, устаревшие нормативно-правовые акты, регулирующие использование БЛА [2]. Также следует отметить, что применение БЛА в практике лесного хозяйства не имеет серьезной теоретической базы, учитывающей особенности техники, оптимизацию режимов полетов и необходимое количество аппаратов, что существенно снижает их практические возможности и результативность. БЛА должны рассматриваться как элементы единой информационной системы совместно с действующими в лесном хозяйстве информационными системами [3].

**Основная часть.** Состояние и продуктивность лесных насаждений в значительной степени зависят от негативного воздействия многих неблагоприятных факторов окружающей среды. С целью контроля качества окружающей среды и оценки ее влияния на состояние лесных экосистем в Республике Беларусь с 1989 года начаты работы по организации и внедрению лесопатологического мониторинга лесов.

Основной целью лесопатологического мониторинга является своевременное обнаружение неблагополучных по состоянию участков леса, раннее выявление случаев массового ослабления и усыхания насаждений под влиянием стихийных бедствий (засух, пожаров, буреломов и ветровалов, промышленных выбросов), очагов вредных насекомых и грибных болезней, других неблагоприятных явлений природного и антропогенного характера, получение достоверной информации о санитарном состоянии лесов для принятия организационных, лесозащитных и других решений [4].

В настоящее время имеется проблема оперативного мониторинга состояния лесного фонда на контрольных участках. Требуется обеспечение периодичности осмотра нескольких десятков участков, расположенных в удаленных труднодоступных районах

по территории региона (субъекта) с целью своевременного выявления отрицательных лесопатологических тенденций.

Решение технологических задач включает проведение автоматического полета по заданному маршруту с удалением свыше 100 км от точки старта; выполнение полетов по маршруту в воздушном пространстве; проведение аэрофотосъемки в контрольных точках с требуемыми характеристиками. В связи с этим актуальной становится задача применения беспилотных летательных аппаратов для лесопатологического мониторинга состояния участков лесного фонда. Поставленные задачи могут быть решены БЛА среднего и большого класса.

Это позволит заблаговременно выявлять районы с негативными лесопатологическими тенденциями, снизить затраты на проведение планового мониторинга состояния лесов, адресное использование ресурсов служб по защите леса, предотвратить возможного ущерба за счет своевременности реализации лесозащитных мероприятий. Полеты по оценке лесопатологического и санитарного состояния лесов выполняются на высоте 600–800 м.

Для мониторинга местности применяются следующие бортовые целевые нагрузки: видеокамеры оптического диапазона; фотоаппараты оптического диапазона. В процессе полета, после взлета и набора высоты, оператор путем просмотра видеоизображения, передаваемого с БЛА в режиме реального времени, ведет наблюдение за пролетаемой местностью.

Также с применением беспилотных летательных технологий выполняют определенный тип съемки, дальнейшая обработка материалов которой позволяет выполнить анализ полученных данных с определением лесопатологического состояния лесных насаждений на аэрофотоснимке, космическом снимке или ортофотоплане. По полученным данным анализа съемки выполняется полевое обследование и назначаются лесозащитные мероприятия.

Достоинствами использования съемки лесов с БЛА перед традиционными дистанционными методами являются:

1. Высокое пространственное разрешение. Применение БЛА позволяет получить аэрофотоснимки с разрешением до 1 см на пиксель и стереопары снимков очень высокого разрешения для создания цифровых моделей местности высокой точности;

2. Оперативность БЛА можно использовать для проведения съемки, где и когда необходимо. Кроме того, они могут работать по

фрагментированным участкам. Подготовка БЛА к вылету занимает от 3 до 10 мин. Получить и обработать снимки на любую территорию можно через 30 мин после появления необходимости съемки территории и прибытия на место;

3. Независимость от облачности. Получение снимков под облаками возможно и в облачные дни. При этом системы космической съемки должны работать месяцами для получения четкой информации о необходимом участке без облаков, что особенно актуально для северных регионов. Аэрофотосъемка территории с применением БЛА дает возможность выбора погодных условий и времени суток для проведения работ;

4. Относительное снижение стоимости работ. По сравнению с использованием пилотируемой авиации и космических спутников применение БЛА является менее затратным мероприятием. Экономически выгодно использовать БЛА малых классов (менее 20 кг) в течение короткого периода времени. Применение более крупных и дорогих БЛА с большим потреблением топлива влечет за собой увеличение расходов на содержание и обслуживание техники и перестает быть преимуществом с экономической точки зрения, уступая пилотируемой авиации и производительности [5].

Кроме указанных достоинств беспилотников и преимуществ использования БЛА перед традиционными дистанционными методами существуют и недостатки. Широкое применение БЛА связано с рядом проблем:

1. Согласование полетов и аэрофотосъемочных работ. Маршрут полетов нужно согласовать. Необходимо запрашивать разрешение у диспетчера УВД на начало работ за час до вылета и докладывать о ходе работы и окончании полетов. Для проведения аэрофотосъемочных работ необходимо получить разрешение на проведение съемок на определенной территории, иметь в наличии соответствующие лицензии, в том числе лицензию на осуществление работ, связанных с использованием сведений, составляющих государственную тайну;

2. Необходимость надежного канала связи. Использование видеорежима в реальном времени требует надежного канала радиосвязи. Несмотря на значительную дальность полета, у большинства БЛА радиус действия в режиме трансляции видеонформации ограничен, увеличить который можно путем усложнения и удорожания комплекса;

3. Ограничения по выбору места запуска. В таежных условиях даже вертолетная площадка для транспортного воздушного судна

типа Ми-8 может быть не пригодна для старта высокотехнологичного беспилотника;

4. Зависимость от погодных условий. Запускать БЛА можно при скорости ветра на старте до 10 м/с. В сильный дождь использование БЛА не представляется возможным. У большинства коптеров производители заявляют минимальную температуру эксплуатации 0°C;

5. Небольшая площадь съемки. Ограничивающим фактором применения БЛА является небольшая площадь съемки по сравнению с материалами съемки Земли из космоса [5].

Обработка данных с БЛА производится в несколько этапов. В качестве программного обеспечения используются такие продукты, как Pix4Dcapture, Agisoft Metashape и другие.

Agisoft PhotoScan позволяет автоматически создавать высококачественные 3D модели объектов на основе цифровых фотографий. PhotoScan способен обрабатывать любые фотографии, снятые любым цифровым фотоаппаратом, с любых ракурсов. Главное, чтобы каждый элемент реконструируемого объекта был виден хотя бы с двух позиций съемки. Процесс обработки фотографий полностью автоматизирован и не требует предварительной калибровки камер или ручной маркировки фотографий [6].

Для данных аэрофотосъёмки используется программное обеспечение ArcGis. ArcGIS представляет собой полную систему, которая позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию [7].

В ПО ArcGis можно выполнить анализ с визуальным определением участков повреждений на снимке (ветровалов, усыханий), сформировав их в отдельном слое или провести анализ и отметить участки повреждений на бумажной выкопировке и использовать ее при полевом обследовании.

После этапов обработки и анализа материалов аэрофотосъемки, полученных с БЛА, по лесопатологическому состоянию лесных насаждений планируются работы по полевому обследованию, где формируется маршрут обследования с посещением всех выявленных на материалах съемки повреждений. При посещении участка в натуре назначают санитарно-оздоровительное мероприятие.

**Заключение.** Республика Беларусь обладает обширными лесными богатствами, требующими постоянных мероприятий по охране и защите леса. Беспилотные системы для лесной отрасли уже не

являются чем-то новым и непривычным. Их активно применяют во многих регионах для решения различных лесохозяйственных задач. Таким образом, направление развития БЛА идет от «универсальности» в сторону «специализации» беспилотных аппаратов и самих комплексов на «унифицированных» платформах управления, т. е. комплексы, в перспективе, будут создаваться исключительно под целевые требования заказчика. Данный подход позволяет снизить стоимость как самого комплекса, так и удельные затраты в период его эксплуатации за счет оптимизации выполнения полетов.

#### **Список использованных источников**

1. Мягков Д. Ю., Могилянец Р. И. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния лесного хозяйства // Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2013. – №2 Лесопромышленный комплекс. Транспортно-технологические вопросы. – С. 89–92.
2. Костин П. И. Применение беспилотных летательных аппаратов в лесном // Вестник науки и образования. 2022. №1-2 (121). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatom-v-lesnom-hozyaystve> – Дата обращения: 22.01.2026.
3. Моисеев В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: моногр. Казань: Школа, 2015. – 444 с.
4. Инструкция по организации и ведению лесопатологического мониторинга в лесах Республики Беларусь. – Минск: Комитет лесного хозяйства при Совете министров РБ, 2002. 23.
5. Богданов А. П. Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесном деле: учебное пособие / А.П. Богданов, С.В. Третьяков; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2021. – 129 с
6. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan Professional Edition, версия 0.9.0 [Электронный ресурс] – <http://poleos.ru/up/one/one87.pdf> – Дата обращения: 22.01.2026.
7. ArcGIS Resources [Электронный ресурс] – <https://resources.arcgis.com/ru/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm> – Дата обращения: 22.01.2026.

УДК 004.056:02

## **МЕТОДЫ АНОНИМИЗАЦИИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ БИБЛИОТЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*Юнчик К. Г.*

библиотекарь Белорусской сельскохозяйственной библиотеки  
им. И. С. Лупиновича Национальной академии наук Беларуси

На современном этапе технологического прогресса, в узкой и специализированной области библиотечно-информационной сферы особое значение приобретает вопрос защиты персональных данных пользователей. Современные библиотеки активно внедряют и используют в своей деятельности интеллектуальные сервисы: элек-

тронные каталоги, удалённый доступ к ресурсам, рекомендательные системы, аналитико-поисковые инструменты. Эти технологии предполагают обработку значительного объема данных, часть из которых относится к персональным данным, что требует применения надёжных методов обеспечения конфиденциальности и анонимности.

Персональные данные пользователей библиотек включают сведения, позволяющие прямо или косвенно идентифицировать человека. К ним относятся регистрационные данные, контактная информация, история обращений к ресурсам, а также цифровые следы, формируемые при использовании электронных технологий и ресурсов [1]. При использовании алгоритмов машинного обучения такие данные становятся особенно уязвимыми, так как модели способны выявлять скрытые зависимости и восстанавливать индивидуальные профили пользователей, подвергая их личные данные возможному раскрытию третьими лицами.

Одним из ключевых направлений обеспечения информационной безопасности пользователей библиотек сегодня является анонимизация персональных данных. Под анонимизацией понимается совокупность технических и организационных мер, направленных на исключение возможности идентификации субъекта данных без утраты информационной ценности массива в целом. В современных исследованиях всё чаще подчёркивается, что классические методы обезличивания требуют дополнения алгоритмами машинного обучения, способными автоматически обрабатывать большие объёмы различной по своей структуре информации [2].

Традиционные подходы к анонимизации персональных данных основываются на удалении или замене прямых идентификаторов, а также на обобщении квазиидентификаторов. Однако развитие методов аналитической обработки данных показало, что подобных мер часто недостаточно для защиты персональной информации. Современные данные указывают на необходимость комплексного подхода, учитывающего как структуру данных, так и особенности их дальнейшего использования в приложениях и системах.

Машинное обучение позволяет автоматизировать процессы идентификации персональных данных в массивах электронной информации. Особенно перспективным является применение методов обработки естественного языка, которые способны распознавать персональные сведения в неструктурированных текстах живой коммуникации.

кации, таких как обращения пользователей, комментарии или журналы событий. Использование языковых моделей позволяет снизить влияние человеческого фактора и повысить точность сокрытия данных [3].

Отдельного внимания заслуживает концепция дифференциальной приватности, которая обеспечивает математически обоснованную защиту персональных данных при анализе и публикации агрегированной информации [4]. Данный подход активно развивается в машинном обучении и рассматривается как один из наиболее перспективных направлений для библиотечных систем.

Анализ научных публикаций и практический опыт библиотек показывает, что в библиотечной сфере наиболее распространённым является сценарий, при котором используются анонимизированные данные для аналитических, поисковых и рекомендательных сервисов. Основным практическим опытом в данном ключе является обработка статистики посещаемости электронных ресурсов и запросов пользователей [5]. В таких случаях персональные идентификаторы не требуются, однако важно исключить возможность восстановления индивидуального профиля пользователя.

Применение алгоритмов машинного обучения позволяет автоматически выявлять и удалять персональные данные из информационных массивов перед их дальнейшим анализом. В исследованиях отмечается, что языковые модели демонстрируют высокую эффективность при распознавании имён, адресов и контактных данных даже в специализированных текстах. Для библиотек это открывает возможность безопасного использования данных читателей без нарушения требований конфиденциальности.

В то же время анализ литературы показывает, что полная анонимизация может приводить к снижению качества работы интеллектуальных систем [6]. В связи с этим всё чаще применяется компромиссный подход, основанный на псевдонимизации и ограничении доступа к чувствительным данным. Такой подход позволяет сохранять аналитическую ценность информации при этом снижая риски утечки персональных данных.

Проведённый анализ показывает, что методы машинного обучения играют важную роль в развитии современных подходов к анонимизации персональных данных пользователей библиотек. Их применение позволяет автоматизировать процессы анонимизации, повысить точность защиты данных и создать условия для безопасного внедрения интеллектуальных сервисов.

Для библиотек, включая специализированные научные учреждения, наиболее оптимальным является комплексный подход, сочетающий алгоритмы обработки естественного языка, псевдонимизацию и методы дифференциальной приватности. Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на адаптацию уже существующих моделей к отраслевой специфике библиотек и разработку рекомендаций по практическому внедрению таких решений в их деятельность.

#### Список использованных источников

1. Воробьева, Н. С. Защита персональных данных читателей в цифровой среде / Н. С. Воробьева // Научные коммуникации. Профессиональная этика : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Омск, 06–08 ноября 2019 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2019. – С. 26–29.
2. Методы анонимизации персональных данных / М. А. Полтавцева, В. В. Платонов, А. Ф. Супрун, П. В. Семьянов // Системный анализ в проектировании и управлении : Сборник научных трудов XXVIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 27–29 июня 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. – С. 136–145.
3. Киреев, С. А. Искусственный интеллект в обработке естественного языка: основные задачи, методы и применение / С. А. Киреев, А. В. Костура // Профессиональная коммуникация: язык, культура, перевод : сборник статей V внутривузовской молодежной научной конференции, Курск, 12 ноября 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 134–140.
4. Архипова, А. Б. Методы обеспечения приватности в больших данных: аспекты информационной безопасности / А. Б. Архипова, И. В. Исаков, Р. В. Ершов // Современное образование: интеграция образования, науки, бизнеса и власти : Материалы международной научно-методической конференции. В 2-х частях, Томск, 27–28 января 2022 года. Том Часть 2. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2022. – С. 52–56.
5. Литвинова, Н. Н. Персональные данные пользователей библиотек в условиях доступа к лицензионным электронным ресурсам / Н. Н. Литвинова // Наука и научная информация. – 2022. – Т. 5, № 1. – С. 11–19.
6. Новиков, П. А. Совершенствования механизма защиты специальной категории персональных данных / П. А. Новиков // Право и политика. – 2025. – № 2. – С. 65–77.

# Секция ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 537.87, 535.5

## ГЕНЕРАЦИЯ СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ СФЕРОИДАЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ В ПРИБЛИЖЕНИИ ВЕНТЦЕЛЯ-КРАМЕРСА-БРИЛЛЮЭНА

*Головин Е. Д., Шамына А. А., Капшай В. Н.*

ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель

**Введение.** Генерация суммарной частоты (ГСЧ) – нелинейное оптическое явление, при котором в ходе взаимодействия двух волн с оптически нелинейной средой возникает новая волна. При этом частота генерируемого излучения равна сумме частот падающих электромагнитных волн. Данный процесс можно наблюдать не только в кристаллах, но и в тонком оптически нелинейном слое на поверхности наноразмерных диэлектрических частиц. Для описания суммарной частоты можно использовать модели Рэлея-Ганса-Дебая (РГД) и Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна (ВКБ). Различия этих моделей заключаются в следующем: в модели ВКБ учитывается разница в показателях преломления частицы и окружающей её среды. В настоящей работе получены выражения, описывающие генерируемое поле суммарной частоты в поверхностном слое сфероидальной частицы в рамках модели ВКБ, и проведено сравнение результатов с выражениями, полученными в приближении на основе модели РГД.

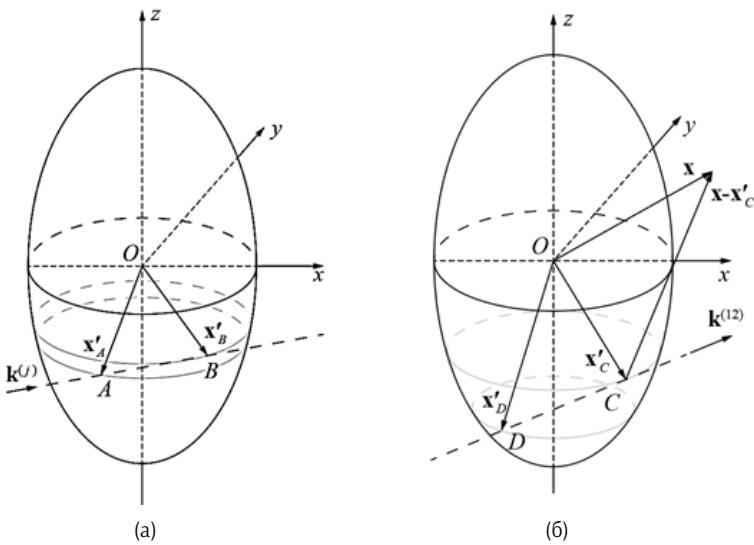
**Постановка задачи.** Поместим начало декартовой системы координат в центр сфероидальной частицы, совместив её ось симметрии с осью  $Oz$ . Обозначим полуось эллипсоида, расположенную вдоль оси симметрии частицы, символом  $a_z$ , а перпендикулярную ей полуось – символом  $a_x$ . Введём параметр  $\rho = a_z / a_x$ , описывающий форму эллипсоида. Частица покрыта тонким оптически нелинейным слоем толщиной  $d_0$  ( $d_0 \ll a_x, d_0 \ll a_z$ ).

Пусть на такую частицу падают две плоские электромагнитные волны под углами  $\theta_1$  и  $\theta_2$  к оси  $Oz$  с циклическими частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  и волновыми векторами  $\mathbf{k}^{(1)}$  и  $\mathbf{k}^{(2)}$  соответственно. Модули волновых векторов обозначим символами  $k_1$  и  $k_2$ . Введём величины  $\eta_1$  и  $\eta_2$  для обозначения отношения показателя преломления частицы к показателю преломления окружающей её среды на частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2$  соответственно. В этом случае поверхностном слое генерируется новая волна с суммарной частотой  $\omega_{12}$  и волновым вектором  $\mathbf{k}^{(12)}(\mathbf{x})$ , зависящим от направления наблюдения. Далее для удобства этот вектор будем обозначать символом  $\mathbf{k}^{(12)}$ . Его модуль обозначим символом  $k_{12}$ , а соответствующее отношение показателей преломления –  $\eta_{12}$ . Получим на основе приближения ВКБ выражения для вектора напряжённости электрического поля генерируемого излучения.

**Фазы падающей и генерируемой волн.** Для расчёта генерируемого поля необходимо знать фазу падающих и генерируемой волн в произвольной точке на поверхности частицы. Поскольку выражения для падающих волн аналогичны, запишем их один раз, обозначая номер волны индексом  $j$  ( $j = 1, 2$ ). Рассмотрим произвольный луч, лежащий в плоскости, параллельной плоскости  $xOz$ , и пересекающий частицу в точках  $A$  и  $B$  (рисунок 1,а). Пользуясь приближением ВКБ, пренебрежём преломлением электромагнитных волн на границах раздела сред [1]. Фазы в точках  $A$  и  $B$  равны  $\varphi_A^{(j)}(\mathbf{x}'_A) = \mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}'_A$  и  $\varphi_B^{(j)}(\mathbf{x}'_B) = \mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}'_B + \Delta\varphi^{(j)}$  соответственно. Здесь  $\Delta\varphi^{(j)}$  – дополнительный фазовый сдвиг, обусловленный прохождением волной участка  $AB$  внутри частицы с показателем преломления, отличным от показателя преломления окружающей среды. Выражения для сдвига фаз можно записать в виде:

$$\Delta\varphi^{(j)}(\mathbf{x}'_B) = (\eta_j - 1)k_j L_j(\mathbf{x}'_B), \quad (1)$$

где  $L_j(\mathbf{x}'_B)$  – длина отрезка  $AB$  внутри частицы, определяемая из системы канонических уравнений прямой, с направляющим вектором  $\mathbf{k}^{(j)}$ , и сфероида.



**Рисунок 1** – Схемы распространения волн через объём сфероидальной частицы:  
а – схема для падающей волны; б – схема для генерируемой волны

Обобщённое выражение для фазы падающей волны имеет вид:

$$\phi^{(j)}(\mathbf{x}') = \mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}' + p_j(\mathbf{x}') (\eta_j - 1) k_j L_j(\mathbf{x}'), \quad (2)$$

где  $p_j(\mathbf{x}')$  – коэффициент, который принимает значение 0, если фаза определяется в точке А, и 1, если фаза определяется в точке В рассматриваемой линии распространения волны.

Фаза генерируемой волны, приходящей к удалённому наблюдателю, определяется аналогично. Рассмотрим произвольный луч генерируемой волны (рисунок 1,б). Фаза волны, пришедшей из точки С к наблюдателю, равна  $\phi_C^{(12)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}'_C) = k_{12} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'_C|$ , из точки D –  $\phi_D^{(12)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}'_D) = k_{12} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'_D| + \Delta\phi^{(12)}$ . Здесь  $\mathbf{x}$  – вектор, определяющий положение наблюдателя относительно начала координат, а векторами  $\mathbf{x}'_C$  и  $\mathbf{x}'_D$  определено положение элементов поверхности частицы (точек С и D соответственно) относительно начала координат. Фазовый сдвиг для генерируемого излучения в точке D можно записать в виде:

$$\Delta\phi^{(12)}(\mathbf{x}'_D) = (\eta_{12} - 1) k_{12} L_{12}(\mathbf{x}'_D), \quad (3)$$

С учётом приближения дальней зоны [2] обобщённое выражение для фазы генерируемой волны в точке  $\mathbf{x}$  принимает вид:

$$\Phi^{(12)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = k_{12} |\mathbf{x}| - \mathbf{k}^{(12)} \mathbf{x}' + p_{12}(\mathbf{x}, \mathbf{x}')(\eta_{12} - 1)k_{12}L_{12}(\mathbf{x}'), \quad (4)$$

где  $p_{12}(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$  – коэффициент, который принимает значение 0, если фаза определяется в точке  $C$ , и 1, если фаза определяется в точке  $D$ . Волновой вектор генерируемой волны можно выразить через радиус вектор:  $\mathbf{k}^{(12)} = k_{12}\mathbf{e}_r$ .

**Выражение для вектора напряжённости поля суммарной частоты.** Векторы напряжённости полей падающих волн с учётом фазы (2) записываются в виде:

$$\mathbf{E}^{(j)}(\mathbf{x}') = \frac{2}{\eta_j + 1} \mathbf{e}^{(j)} E_j \exp(i\mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}' + ip_j(\mathbf{x}')(\eta_j - 1)k_j L_j(\mathbf{x}')), \quad (5)$$

где  $\mathbf{e}^{(j)}$  – вектор поляризации падающих волн,  $E_j$  – амплитуда напряжённости. Для удобства в (5) опущена временная часть.

В дипольном приближении генерируемое излучение обусловлено нелинейной поляризацией [3]. Используя (4) и (5), можно получить выражение для компонент вектора напряжённости электрического поля суммарной частоты:

$$E_i^{(12)}(\mathbf{x}) = \mu_{12} \frac{(\omega_{12})^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{12}r)}{r} E_1 E_2 d_0 (\delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m}) X_{mjk}^{(12)} e_j^{(1)} e_k^{(2)}, \quad (6)$$

где  $X_{mjk}^{(12)}$  – эффективная восприимчивость:

$$X_{mjk}^{(12)} = \left( \frac{2}{\eta_1 + 1} \right) \left( \frac{2}{\eta_2 + 1} \right) \int_s \chi_{mjk}^{(2)} \exp[i\mathbf{q}\mathbf{x}' + ip_{12}(\mathbf{x}, \mathbf{x}')(\eta_{12} - 1)k_{12}L_{12}(\mathbf{x}, \mathbf{x}')] \times \exp[ip_1(\mathbf{x}')(\eta_1 - 1)k_1 L_1(\mathbf{x}') + ip_2(\mathbf{x}')(\eta_2 - 1)k_2 L_2(\mathbf{x}')] dS_{x'}. \quad (7)$$

Здесь – тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка [4]:

$$\begin{aligned} \chi_{mjk}^{(2)} = & \chi_1^{(2)} n_m n_j n_k + \chi_2^{(2)} n_m \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} n_j \delta_{km} + \chi_4^{(2)} n_k \delta_{mj} + \\ & + \chi_5^{(2)} n_i n_m \varepsilon_{ljk} + \chi_6^{(2)} n_i n_k \varepsilon_{mjl} + \chi_7^{(2)} n_i n_j \varepsilon_{mlk}, \end{aligned} \quad (8)$$

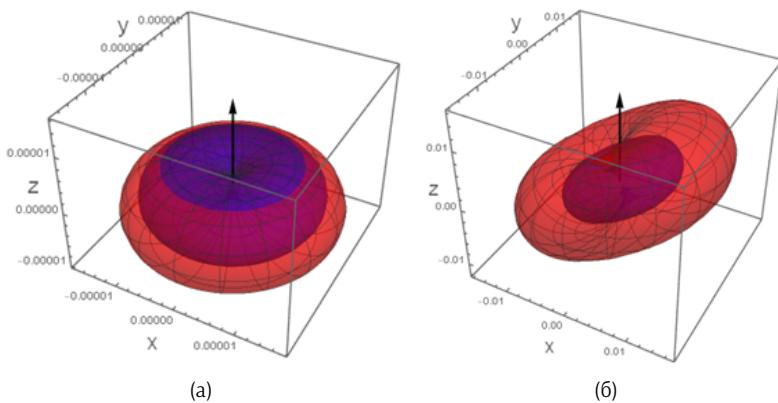
Для анализа плотности мощности генерируемого излучения введём величину  $s^{(12)}(\theta, \varphi)$ , пропорциональную модулю вектора Умова-Пойтинга:

$$s^{(12)}(\theta, \varphi) = |(1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \mathbf{f}^{(12)}(\theta, \varphi)|^2, \quad (9)$$

$$f_i^{(12)} = X_{ijk}^{(12)} e_j^{(1)} e_k^{(2)}. \quad (10)$$

В выражении (10) выполняется суммирование по повторяющимся индексам.

**Графический анализ и сравнение моделей.** Для визуального сравнения нами на рисунке 2 построены трёхмерные диаграммы направленности для плотности мощности генерируемого излучения, рассчитанные на основе моделей ВКБ (непрозрачная поверхность) и РГД (полупрозрачна поверхность). Параметры моделирования:  $\rho = 2$ ,  $\theta = 0,5$ ,  $\eta_1 = 1,3$ ,  $\eta_2 = 1,3$ ,  $\eta_{12} = 1,3$ . Здесь  $\theta$  – угол раскрытия (угол между векторами падающих волн). На рисунке а представлены графики для ненулевых значений некиральных компонент тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости ( $\chi_2^{(2)} \neq 0$ ,  $\chi_{1,3-7}^{(2)} = 0$ ), на рисунке б – для ненулевых киральных ( $\chi_5^{(2)} = \chi_6^{(2)} = \chi_7^{(2)} \neq 0$ ,  $\chi_{1-4}^{(2)} = 0$ ).



**Рисунок 2 –** Диаграммы направленности излучения суммарной частоты, генерируемого в оптически нелинейном слое сфероидальной частицы, рассчитанные на основе моделей РГД и ВКБ

Диаграммы направленности, соответствующие обеим моделям, имеют схожую форму. Различие заключается в величине максимальной плотности мощности: для модели ВКБ она оказывается меньше, чем для РГД, причём для киральных составляющих тензора диэлектрической восприимчивости – существенно. Это расхождение объясняется влиянием разницы показателей преломления частицы и среды на результат интерференции генерируемых волн в приближении ВКБ.

**Заключение.** В работе представлены результаты моделирования генерации суммарной частоты в поверхностном оптически нелинейном слое диэлектрической сфероидальной частицы с использованием модели ВКБ. Произведено сравнение с результатами, полученными в рамках модели РГД, которое показало сходство формы диаграмм направленности генерируемого излучения для обеих моделей при различии максимальных значений плотности мощности излучения суммарной частоты. Полученные результаты согласуются с выводами аналогичных исследований для частиц сферической формы [5].

#### *Список использованных источников*

1. Size dependence of second-harmonic generation at the surface of microspheres / S. Viarbitskaya [et al.] // Physical Review A. – 2010. – Vol. 81, № 5. – P. 053850.
2. Шамына, А. А. Генерация суммарной частоты от тонкого сферического слоя. I. Аналитическое решение / А. А. Шамына, В. Н. Капшай // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 124, № 6. – С. 795–803.
3. Капшай, В. Н. Генерация суммарной частоты от тонкого сферического слоя. II. Анализ решения / В. Н. Капшай, А. А. Шамына // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 125, № 1. – С. 71–78.
4. Шамына, А. А. Генерация суммарной частоты от тонкого цилиндрического слоя / А. А. Шамына, В. Н. Капшай // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 124, № 1. – С. 105–121.
5. Капшай, В.Н. Генерация волн суммарной частоты в поверхностном слое сферической частицы / В. Н. Капшай, Е. Д. Головин, А. А. Шамына // Проблемы физики, математики и техники. Сер.: Физика. – 2022. – № 3 (52). – С. 22–27.

УДК 536.7:621.311

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ**

*Стефаненко Н. В.*

УО «Национальный детский технопарк»

**Введение.** Ввод Белорусской АЭС, как источника базовой, но низкоманевренной генерации, создал в энергосистеме страны системную потребность в развитии маневренных мощностей и систем аккумулирования электроэнергии. Это необходимо для компенсации суточной неравномерности нагрузок и обеспечения надёжности. Данная задача соответствует государственным приоритетам в области энергоэффективности и устойчивости, закреплённым в Директиве № 3 и Комплексном плане развития электроэнергетики до 2030 года [1, 2]. Потребность в аккумулировании может значительно возрасти в случае ввода третьего блока на Белорусской АЭС [3].

**Материалы и методы.** В данном исследовании был проведён анализ известных систем накопления электроэнергии, их особенностей и перспектив. Подробно рассмотрены системы накопления на сжатом воздухе – воздушно-аккумулирующие станции (ВАС), их виды и специфика. Также выполнена сравнительная оценка существующих накопителей энергии. На основе действующих ВАС [4] установлено, что подобные системы обладают коэффициентом полезного действия (КПД) в диапазоне от 50% до 70% и хорошо подходят для длительной отдачи электроэнергии в периоды высокого спроса на неё. На основе изученной информации из источников [3–6] была составлена классификация систем хранения на сжатом воздухе (рисунок 1).



Рисунок 1 – Классификация систем хранения на сжатом воздухе [3–6]

В рамках работы была смоделирована и создана методом 3D-печати экспериментальная модель воздушной турбины (рисунок 2), на базе которой проводились эксперименты и фиксировались следующие параметры: частота вращения, напряжение и сила тока.

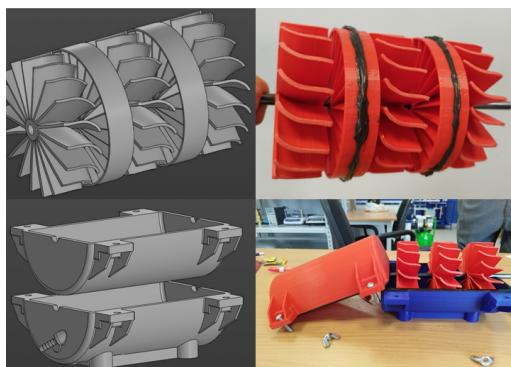
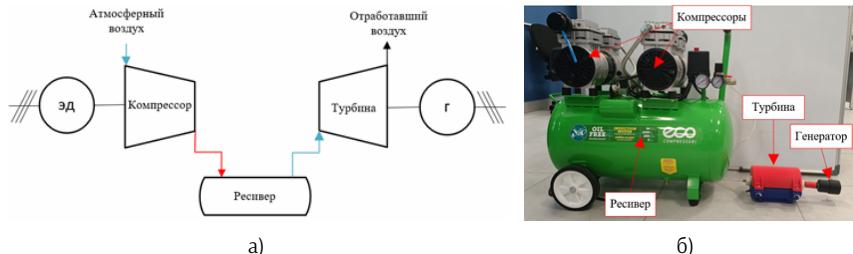


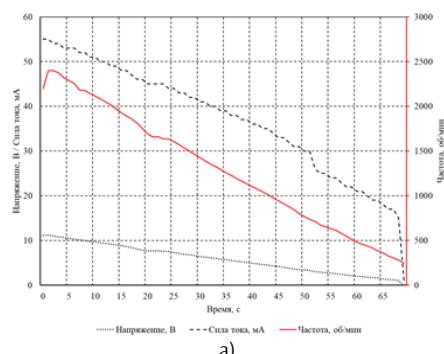
Рисунок 2 – Экспериментальная модель воздушной турбины  
[Источник – собственная разработка автора]

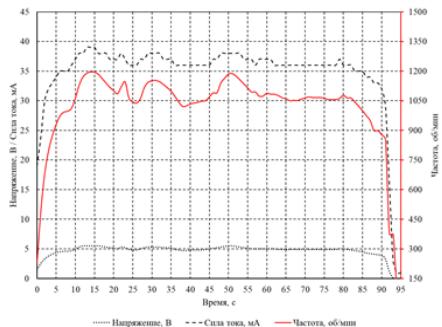
Для накопления воздуха использовался воздушный компрессор марки ECO AE-50-OF1. Схема установки и фотография исследуемого стенда представлены на рисунке 3 и относится к диабатическому типу ВАС – тепло, получаемое в процессе сжатия воздуха, не аккумулируется, а отводится в окружающую среду. Подобные типы ВАС имеют КПД не более 55% [6].



**Рисунок 3** – Принципиальная схема (а) и фото испытательного стенда (б)  
диабатической ВАС: ЭД – электродвигатель; Г – генератор.  
[Источник – собственная разработка автора]

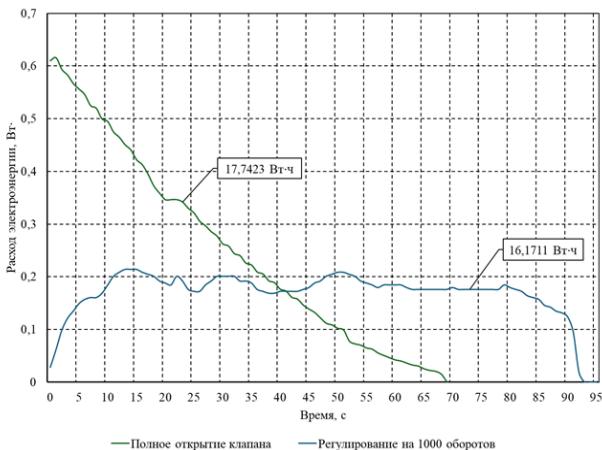
**Результаты и обсуждение.** В результате получены следующие данные: напряжение на генераторе напрямую зависит от частоты оборотов вала; при полном открытии клапана подачи воздуха на турбине и при попытке регулирования степени его открытия для изменения частоты оборотов выходные параметры значительно различались (рисунок 4). Попытка регулирования привела к снижению суммарной выработанной электроэнергии на 9%, однако сопровождалась увеличением длительности рабочего цикла системы приблизительно на 14 с (рисунок 5). Энергопотребление компрессора в процессе наполнения ресивера до избыточного давления 5 бар составило 30,97 Вт·ч.





6

**Рисунок 4** – Изменение показателей электрогенератора (частоты, силы тока и напряжения) при полном открытии клапана (а), и частичном регулировании (б)  
[Источник – собственная разработка автора]



**Рисунок 5** – Расход электроэнергии в зависимости от типа разряда ресивера  
[Источник – собственная разработка автора]

На основе полученных данных определён КПД разработанной установки, который составил 57,28% при полном открытии и 52,21 % при регулировании.

**Заключение.** Исследование, проведенное на экспериментальном стенде, позволило убедиться в довольно высоком КПД систем накопления с учетом полного рассеивания тепловой энергии при сжатии. Для повышения эффективности подобные системы хранения энергии необходимо сочетать с тепловыми накопителями или

с дополнительными теплоисточниками, работающие на местных видах топлива. Например, в Республике Беларусь необходимо рассмотреть использование дополнительного подогрева воздуха при сжигании древесных пеллет.

Внедрение ВАС станет полигоном для освоения компрессорных и турбинных технологий. Полученный опыт ляжет в основу реверс-инжиниринга, что позволит наладить ремонт и производство критически важных газовых турбин внутри страны, преодолев текущую импортозависимость.

#### *Список используемых источников*

1. О мерах по укреплению общественной безопасности и дисциплины: Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 // Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/documents/direktiva-3-ot-14-ijunja-2007-g-1399>. – Дата доступа: 19.12.2025.
2. Об утверждении комплексного плана развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции и межотраслевого комплекса мер по увеличению потребления электроэнергии до 2030 года: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 1 марта 2016 г. № 169 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21600169>. – Дата доступа: 19.12.2025.
3. Государственное предприятие «Белорусская АЭС» [Электронный ресурс] : [сайт]. – Минск, 2010–2025. – Режим доступа: <https://beaes.by/ru/novosti.html>. – Дата доступа: 19.12.2025.
4. A review on compressed air energy storage: Basic principles, past milestones and recent developments / M. Budt [et al.] // Processes. – 2023. – Vol. 11, № 11. – P. 3061.
5. Status and Development Perspectives of the Compressed Air Energy Storage (CAES) Technologies—A Literature Review / M. Jankowski [et al.] // Energies. – 2024. – Vol. 17, № 9. – P. 2064.
6. Overview of Compressed Air Energy Storage and Technology Development / J. Wang [et al.] // Energies. – 2017. – Vol. 10, № 7. – P. 991.

Научное издание

**I Республиканская конференция  
молодых ученых**

**БУДУЩЕЕ ЧЕРЕЗ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Сборник материалов

*В авторской редакции*

Ответственный за выпуск *А. Д. Подсосонная*  
Компьютерная верстка *С. В. Хваленя*

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 8,95. Уч.-изд. л. 7,53.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.